



**UNIVERSIDADE TÉCNICA DE LISBOA  
INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO**

**AVALIAÇÃO DE PERDAS EM SISTEMAS DE  
DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA: O CASO DE  
ESTUDO DA ZMC 320 DA EPAL**

**Ana Claudia Gratiz Loureiro Jacob**  
(Licenciada em Engenharia Civil)

Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em Hidráulica e Recursos Hídricos

**Orientadora Científica**

Doutora Helena Margarida Machado da Silva Ramos Ferreira

**Co-Orientadora Científica**

Doutora Dídia Isabel Cameira Covas

**Júri**

**Presidente:** Doutora Helena Margarida Machado da Silva Ramos Ferreira

**Vogais:** Doutora Maria Helena Veríssimo Colaço Alegre

Doutor Manuel Maria Pacheco Figueiredo

Doutor António Jorge Silva Guerreiro Monteiro

Doutora Dídia Isabel Cameira Covas

**Lisboa, Março de 2006**



## RESUMO

O presente trabalho tem por objectivo a avaliação de perdas de água em sistemas de distribuição, centrando-se no caso de estudo da Zona de Medição e Controlo de São Domingos de Benfica (ZMC 320) da rede de Lisboa. Para este efeito, acompanhou-se uma campanha de detecção de fugas, efectuou-se uma caracterização sócio-demográfica e habitacional da ZMC, quantificaram-se as parcelas de consumo e de perdas de água e, finalmente, avaliou-se o desempenho hidráulico do sistema.

O estudo inicia-se com a revisão literária de metodologias de identificação, quantificação e controlo de perdas reais e aparentes em sistemas de distribuição de água, e de indicadores de desempenho utilizados neste âmbito. Efectua-se um enquadramento da nomenclatura e abordagens utilizadas pela *International Water Association* (IWA).

Apresenta-se a descrição detalhada de uma Campanha de Detecção de Fugas (CDF), com base no acompanhamento dos trabalhos da equipa de unidade de detecção de fugas da EPAL – Empresa Portuguesa das Águas Livres, S.A..

Efectua-se a caracterização sócio-demográfica e habitacional da ZMC em estudo, assim como dos respectivos consumos, utilizando os dados recolhidos durante uma CDF. Para a caracterização dos consumos, são utilizados dados do Censo 2001, medições de caudal, dados de consumo facturado, e informações recolhidas em visitas realizadas ao local.

A avaliação de perdas é efectuada com base em duas abordagens distintas: (i) uma abordagem *top-down* que consiste no cálculo do balanço hídrico anual e na quantificação das diversas parcelas de perdas de água; e (ii) uma abordagem *bottom-up* que consiste numa análise do caudal mínimo nocturno e em simulações hidráulicas dinâmicas do funcionamento do sistema. São determinados, também, os indicadores de desempenho relacionados com as perdas de água.

O desempenho hidráulico da ZMC em estudo (durante a CDF) é avaliado em termos de pressão, flutuação de pressão e velocidade. Os resultados são apresentados em forma de diagramas de sistema, diagramas de simulação dinâmica e representações espaciais das variáveis e dos respectivos desempenhos.

**Palavras-Chave:** avaliação de perdas, perdas reais e aparentes, caracterização de consumos, balanço hídrico, indicadores de desempenho e campanha de detecção de fugas.



## ABSTRACT

The present research work aims at leakage assessment in water distribution systems, focusing on the case study of São Domingos de Benfica District Metering Area (DMA 320) of Lisbon water distribution network. For this purpose, a leak detection campaign has been closely followed, the consumption characterization has been carried out, real and apparent losses have been calculated and, finally, the performance of the system has been assessed.

This research starts with a literature review of different methodologies currently used for the identification, assessment and control of real and apparent losses in water distribution systems, as well as, of performance indicators used for water losses. It is also presented the nomenclature used and performance indicators suggested by the International Water Association (IWA).

The description of a Leak Detection Campaign (LDC) carried out by a team of EPAL – Empresa Portuguesa das Águas Livres, S.A. is presented.

The DMA has been characterised social-demographically as well as in terms of consumptions, using flow data collected in the LDC, data from Censos 2002, consumption data and additional information collected from local visits.

Leakage assessment is carried out by means of two different approaches: (i) the *top-down* approach that consists of the calculation of the annual water balance; and (ii) the *bottom-up* approach based on the minimum night flow analysis and the dynamic hydraulic simulation of the system. IWA leakage performance indicators are also calculated.

The hydraulic performance of the DMA (during the LDC) is assessed in terms of three hydraulic parameters: pressure, pressure variation and velocity. Results are presented in system diagrams, dynamic simulation diagrams and in spatial contour plots of each variable and respective performance.

**Keywords:** leakage assessment, real and apparent losses, consumption characterization, water balance, performance indicators and leak detection campaign.



## AGRADECIMENTOS

Para a realização deste trabalho, muito contribuiu o apoio e o estímulo de várias pessoas e instituições a quem a autora deseja manifestar o seu agradecimento.

À Prof.<sup>a</sup> *Helena Ramos*, professora com Agregação do Instituto Superior Técnico e sua orientadora científica, e à Prof.<sup>a</sup> *Dídia Covas*, professora auxiliar da mesma instituição e sua co-orientadora científica, pela amizade, respeito e confiança depositada, pelos importantes incentivos manifestados, pela orientação e cedência de componentes bibliográficos, e pelas importantes sugestões manifestadas na revisão desta dissertação, além da disponibilidade que sempre demonstraram durante todo o trabalho.

À EPAL – Empresa Portuguesa das Águas Livres, S.A. pela disponibilização de dados de um caso real. Agradece-se em especial ao Eng. *Barnabé Pisco*, e a todo o corpo técnico da Unidade de Detecção de Fugas da EPAL, S.A., pelo tratamento dispensado e acompanhamento aos trabalhos de campo.

A todos os Professores e colaboradores da Secção de Hidráulica e Recursos Hídricos e Ambientais, do Departamento de Engenharia Civil do IST, pelo respeito, incentivo e amizade cultivada durante todo este período, em particular ao Prof. *Gonçalves Henriques* pela sua disponibilidade no esclarecimento de questões relacionadas com a estatística.

Ao *Rodrigo*, meu marido, por todas as horas dispendidas, privações passadas e apoio efectivo prestado, sem o qual não teria sido possível a realização deste trabalho, fica a mensagem de que valeu a pena!

À minha mãe, *Diomaria*, ao meu irmão, *Ademir*, e às minhas sobrinhas, *Larissa* e *Letícia*, o meu pedido de desculpas pela ausência imposta durante a realização deste trabalho.

Aos meus amigos brasileiros, *Adriana*, *Eduardo*, *Julieta*, *Júnior* e *Júlio César*, que muito incentivaram o início desta empreitada e, em especial aos meus cunhados *Rachel* e *Ricardo*, que me ajudaram a viabilizar a realização deste sonho.

Aos meus amigos portugueses, *Eduarda*, *João Pedro* e *Rui*, pelo carinho e amizade que foram imprescindíveis para minimizar a ausência da minha família e dos meus amigos brasileiros, fica um até breve!

Ao meu primeiro amigo iraniano, *Reza*, pela amizade e compreensão que sempre demonstrou, e pelo incentivo manifestado principalmente na fase final da elaboração deste trabalho.

A todos os colegas do IST, em especial à *Joana*, à *Vera João*, ao *Alexandre* e ao *Ricardo Oliveira*, pela amizade, disponibilidade e incentivo nas alturas mais difíceis desta etapa.

E a todos aqueles que, embora não referidos, contribuíram de alguma forma para o desenvolvimento deste trabalho.

# ÍNDICE DE TEXTO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>3</b>
1.1	IMPORTÂNCIA DO TEMA .....	3
1.2	OBJECTIVOS .....	4
1.3	CONTEÚDO DO TRABALHO .....	5
<b>2</b>	<b>SÍNTSE DE CONHECIMENTOS.....</b>	<b>7</b>
2.1	INTRODUÇÃO .....	7
2.2	PERDAS DE ÁGUA .....	7
2.2.1	Introdução .....	7
2.2.2	Perdas Reais .....	8
2.2.2.1	<i>Definição e Abordagens de Cálculo.....</i>	8
2.2.2.2	<i>Perdas Reais Inevitáveis Médias (PRIM).....</i>	11
2.2.2.3	<i>Perdas Reais Correntes Médias (PRCM).....</i>	14
2.2.2.4	<i>Índice Infra-estrutural de Fugas (IIF) .....</i>	14
2.2.2.5	<i>Nível Económico de Perdas Reais (NEPr) .....</i>	15
2.2.3	Perdas Aparentes.....	16
2.3	CONTROLO DE PERDAS .....	16
2.3.1	Introdução .....	16
2.3.2	Controlo de perdas Reais .....	17
2.3.2.1	<i>Ações Propostas para o Controlo de Perdas Reais.....</i>	17
2.3.2.2	<i>Controlo de Pressão.....</i>	17
2.3.2.3	<i>Controlo Activo de Fugas.....</i>	22
2.3.2.4	<i>Velocidade e Qualidade das Reparações .....</i>	23
2.3.3	Controlo de perdas Aparentes.....	23
2.3.3.1	<i>Componentes de Perdas Aparentes .....</i>	23
2.3.3.2	<i>Problemas Relacionados com os Contadores de Água .....</i>	24
2.4	BALANÇO HÍDRICO.....	26
2.4.1	Introdução .....	26
2.4.2	Componentes do Balanço Hídrico .....	26
2.4.3	Metodologia de Cálculo .....	28
2.4.4	Fiabilidade e Exactidão dos Dados .....	29
2.5	INDICADORES DE DESEMPENHO.....	31
2.5.1	Introdução .....	31
2.5.2	Estrutura dos Indicadores.....	31

2.5.3	Indicadores de Perdas de Água .....	33
2.5.3.1	<i>Introdução</i> .....	33
2.5.3.2	<i>Indicador de Recursos Hídricos</i> .....	34
2.5.3.3	<i>Indicadores Operacionais</i> .....	35
2.5.3.4	<i>Indicadores Financeiros</i> .....	36
2.5.4	Avaliação das Incertezas .....	36
<b>3</b>	<b>CAMPANHA DE DETECÇÃO DE FUGAS.....</b>	<b>39</b>
3.1	INTRODUÇÃO .....	39
3.2	CARACTERIZAÇÃO DA REDE DA EPAL .....	39
3.3	EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NA CAMPANHA DE DETECÇÃO DE FUGAS .....	41
3.3.1	Introdução.....	41
3.3.2	Medidor de Caudal e Pressão ( <i>Datalogger</i> ).....	41
3.3.3	Sistema <i>Permalog</i> ® .....	42
3.3.3.1	<i>Descrição do Sistema</i> .....	42
3.3.3.2	<i>Registadores Permalog</i> ® .....	42
3.3.3.3	<i>Patrulhador Permalog</i> ® .....	43
3.3.4	Sistema AQUAPHON EW .....	44
3.3.5	Sistema MICROCORR® DIGITAL .....	46
3.4	DESCRIÇÃO DA CAMPANHA DE DETECÇÃO DE FUGAS DA EPAL .....	48
3.4.1	Introdução.....	48
3.4.2	Primeira Semana da Campanha.....	49
3.4.3	Segunda Semana da Campanha.....	51
3.4.3.1	<i>Leitura dos Permalogs</i> ® .....	51
3.4.3.2	<i>Utilização do Sistema AQUAFON</i> .....	52
3.4.3.3	<i>Utilização do MICROCORR DIGITAL</i> .....	53
3.4.3.4	<i>Considerações Gerais</i> .....	54
3.4.4	Terceira Semana da Campanha .....	54
3.5	CRIAÇÃO DE BASE DE DADOS .....	55
3.5.1	Introdução.....	55
3.5.2	CampZ .....	55
<b>4</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO DOS CONSUMOS .....</b>	<b>61</b>
4.1	INTRODUÇÃO .....	61
4.2	CARACTERIZAÇÃO SÓCIO-DEMOGRÁFICA E HABITACIONAL DA ÁREA .....	61
4.2.1	Introdução.....	61
4.2.2	Metodologia .....	61
4.2.3	Descrição da Área .....	63
4.2.3.1	<i>Informações Gerais</i> .....	63

4.2.3.2	<i>Zona Norte</i> .....	64
4.2.3.3	<i>Zona Sul</i> .....	68
4.3	AQUISIÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS DE CAUDAL E PRESSÃO.....	70
4.3.1	Introdução .....	70
4.3.2	Medições de Caudal .....	71
4.3.3	Grandes Consumidores .....	73
4.3.4	Análise dos Dados .....	74
4.3.5	Tratamento Estatístico dos Dados.....	77
4.3.5.1	<i>Introdução</i> .....	77
4.3.5.2	<i>Dias Úteis da Semana</i> .....	78
4.3.5.3	<i>Sábados, Domingos e Feriados</i> .....	79
4.3.5.4	<i>Estatísticas Complementares</i> .....	80
4.3.6	Perfis Padronizados de Consumo .....	83
4.4	ANÁLISE CONJUNTA DOS RESULTADOS.....	86
4.4.1	Introdução .....	86
4.4.2	Análise Final .....	86
4.5	CONCLUSÕES.....	88
<b>5</b>	<b>AVALIAÇÃO DE PERDAS .....</b>	<b>91</b>
5.1	INTRODUÇÃO .....	91
5.2	APRESENTAÇÃO DOS DADOS DISPONÍVEIS .....	91
5.2.1	Nota Introdutória.....	91
5.2.2	Base Cadastral.....	92
5.2.3	Medições de Caudal e Pressão .....	92
5.2.4	Dados de Consumo Facturado .....	93
5.3	SIMULAÇÃO HIDRÁULICA .....	93
5.3.1	Modelo de Simulador Hidráulico.....	93
5.3.1.1	<i>Simulação de Perdas Reais</i> .....	94
5.3.2	Parâmetros Utilizados nas Simulações .....	95
5.3.2.1	<i>Representação da Rede de Distribuição</i> .....	95
5.3.2.2	<i>Valores Médios de Consumo e Carga Hidráulica</i> .....	97
5.3.2.3	<i>Padrões Temporais</i> .....	97
5.3.3	Metodologia Proposta para Avaliação de Perdas com base na Simulação Hidráulica.....	100
5.3.4	Aplicação da Metodologia à ZMC 320 antes das Reparações.....	104
5.3.4.1	<i>Estimativa das Componentes do Consumo Mínimo Nocturno (Passo 1)</i> .....	104
5.3.4.2	<i>Calibração das Curvas Diárias das Componentes do Consumo (Passos 2-6)</i> .....	107
5.3.5	Aplicação da Metodologia à ZMC 320 depois das Reparações .....	110
5.3.5.1	<i>Estimativa das Componentes do Consumo Mínimo Nocturno (Passo 1)</i> .....	110

5.3.5.2	<i>Calibração das Curvas Diárias das Componentes do Consumo (Passos 2-6).....</i>	111
5.4	BALANÇO HÍDRICO ANUAL.....	113
5.4.1	Aplicação da Metodologia apresentada pela IWA .....	113
5.4.2	Resultados .....	115
5.4.2.1	<i>Antes das Reparações.....</i>	115
5.4.2.2	<i>Depois das Reparações.....</i>	116
5.5	AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS .....	116
5.5.1	Comparação entre os Resultados da Abordagem <i>Bottom-up</i> .....	116
5.5.2	Comparação entre os Resultados da Abordagem <i>Top-down</i> .....	119
5.5.3	Comparação entre os Resultados das duas Abordagens.....	119
5.6	INDICADORES DE DESEMPENHO .....	121
5.7	RECOMENDAÇÕES PRÁTICAS .....	123
5.8	CONCLUSÕES .....	125
5.8.1	Síntese .....	125
5.8.2	Recomendações para a Entidade Gestora.....	126
<b>6</b>	<b>AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO HIDRÁULICO .....</b>	<b>129</b>
6.1	INTRODUÇÃO .....	129
6.2	METODOLOGIA .....	129
6.2.1	Introdução.....	129
6.2.2	Componentes do Método .....	129
6.2.2.1	<i>Propriedade ou Variável de Estado da Rede.....</i>	130
6.2.2.2	<i>Curvas de Penalidade.....</i>	130
6.2.2.3	<i>Função de Generalização.....</i>	131
6.2.3	Formas de Apresentação .....	131
6.3	DESEMPENHO HIDRÁULICO .....	133
6.3.1	Introdução.....	133
6.3.2	Parâmetros de Simulação .....	133
6.3.2.1	<i>Pressão na Rede .....</i>	133
6.3.2.2	<i>Velocidade de Escoamento .....</i>	136
6.3.3	Resultados .....	139
6.3.3.1	<i>Diagramas de Simulação Dinâmica .....</i>	139
6.3.3.2	<i>Diagramas de Sistema .....</i>	144
6.4	CONCLUSÕES .....	147
<b>7</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>149</b>
7.1	SÍNTESE E CONCLUSÕES GERAIS.....	149
7.2	RECOMENDAÇÕES PARA ESTUDOS FUTUROS .....	151

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS ..... 153**

**ANEXOS**

<b>ANEXO 1</b>	<b>INDICADORES DE DESEMPENHO DA IWA .....</b>	<b>161</b>
<b>ANEXO 2</b>	<b>REGISTOS DE CAUDAL E PRESSÃO NA ENTRADA DA ZMC 320 DURANTE A CAMPANHA DE DETECÇÃO DE FUGAS.....</b>	<b>169</b>
<b>ANEXO 3</b>	<b>REGISTOS DE CONSUMO DO JARDIM ZOOLÓGICO DURANTE A 5<sup>a</sup> SEMANA DA CAMPANHA DE DETECÇÃO DE FUGAS .....</b>	<b>187</b>
<b>ANEXO 4</b>	<b>AGRUPAMENTO DAS CURVAS DE CONSUMO POR DIA DA SEMANA .....</b>	<b>191</b>
<b>ANEXO 5</b>	<b>AGRUPAMENTO DAS CURVAS DE CONSUMO POR SEMANA DE CAMPANHA.....</b>	<b>195</b>
<b>ANEXO 6</b>	<b>PARCELAS DO CONSUMO DIÁRIO NA ZMC 320 .....</b>	<b>199</b>

**PEÇAS DESENHADAS**

<b>DESENHO 1</b>	<b>REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA DA ZONA DE MEDIÇÃO E CONTROLO DE SÃO DOMINGOS DE BENFICA – ZMC 320</b>
------------------	--



# ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Perfil típico de caudais diários, tipos de fugas e consumo dos clientes numa ZMC (adaptado de Morrison, 2004).....	10
Figura 2.2 – Caudal mínimo nocturno típico numa ZMC, WRC, 1994 (adaptado de Morrison, 2004).....	10
Figura 2.3 – Nível Económico de Perdas Reais (adaptado de Alegre <i>et. al.</i> , 2005).....	15
Figura 2.4 – Quatro métodos básicos de controlo de perdas reais (adaptado de Fanner, 2004).....	17
Figura 2.5 – Relação entre frequência de rotura de condutas e a pressão média de serviço (adaptado de Lambert, 2000).....	19
Figura 2.6 – Coeficiente de vazão de um orifício com 1 mm de diâmetro numa conduta de cobre de 15 mm vs. Número de Reynolds (adaptado de Lambert, 2000).....	21
Figura 2.7 – Relação entre a taxa de pressão e a taxa de fugas em função de $Nl$ , (adaptado de Lambert, 2000).....	21
Figura 2.8 – Metodologia de controlo de perdas aparentes (adaptado de Rizo <i>et al.</i> , 2004) .....	24
Figura 2.9 – Componentes do balanço hídrico e locais de controlo de caudal (Alegre <i>et al.</i> , 2004).....	26
Figura 3.1 – Rede de Distribuição de Lisboa identificada por ZMC e ZA. ....	40
Figura 3.2 – Caixa do medidor na entrada da ZMC equipado com <i>datalogger</i> para aquisição dos dados de caudal e pressão. ....	41
Figura 3.3 – Registadores <i>Permalog</i> (à esquerda) e Patrulhador <i>Permalog</i> (à direita).....	42
Figura 3.4 – Conjunto dos equipamentos AQUAFON EW. ....	45
Figura 3.5 – Exemplo de utilização da vareta de teste. ....	45
Figura 3.6 – Exemplo de utilização da sonda <i>geofone</i> . ....	46
Figura 3.7 – (a) Unidade central (a meio e em baixo), estações remotas e sensores digitais (nas extremidades), (b) Roda de medição de distância. ....	47
Figura 3.8 – Esquema de localização da fuga.....	48
Figura 3.9 – Exemplo de cronograma de execução das campanhas de detecção de fugas....	49
Figura 3.10 – Colocação dos registadores <i>Permalog</i> (a) em caixa de válvulas e (b) em compartimentos de válvulas do tipo capacete. ....	50
Figura 3.11 – Sistema de cadastro disponível nas carrinhas. ....	51
Figura 3.12 – Resultados dos 35 <i>Permalogs</i> utilizados na monitorização das fugas na ZMC 339 – Olaias. ....	52

Figura 3.13 – Utilização do AQUAFHON (a) com vareta de teste, (b) com microfone de solo.....	53
Figura 3.14 – Utilização do MICROCORR DIGITAL (a) instalação das estações remotas, (b) determinação da distância entre as estações, (c) introdução dos dados na unidade central, (d) apreciação dos resultados de uma tricorrelação.....	54
Figura 3.15 – Menu principal do CampZ.....	55
Figura 3.16 – Inserção de nova ZMC. ....	56
Figura 3.17 – Escolha de uma ZMC cadastrada. ....	56
Figura 3.18 – Resumo da última CDF de cada ZMC.....	57
Figura 3.19 – Características da ZMC. ....	57
Figura 3.20 – Escolha de uma CDF dentro da ZMC. ....	58
Figura 3.21 – Dados e resultados da CDF. ....	59
Figura 4.1 – Enquadramento da ZMC 320 na Freguesia de São Domingos de Benfica. ....	63
Figura 4.2 – Imagens da zona norte: (a) Estrada de Benfica junto ao Lg. Manuel Emídio Silva, (b) Esquina da Estrada de Benfica com a R. São Domingos de Benfica, (c) R. Bairro Novo, (d) R. Costa Mota e (e) R. Conde Almoster próximo à passagem pedonal aérea.....	65
Figura 4.3 – Estatística baseada no Censo 2001, referente aos Edifícios por (a) época de construção, (b) tipo de utilização, (c) número de pisos e (d) tipo da estrutura, para as regiões norte e sul e para a ZMC 320 (fonte: Instituto Nacional de Estatística – Portugal). ....	66
Figura 4.4 – Estatística baseada no Censo 2001, referente às condições de infra-estrutura dos alojamentos para as regiões norte e sul e para a ZMC 320 (fonte: Instituto Nacional de Estatística – Portugal).....	66
Figura 4.5 – Estatística baseada no Censo 2001, referente à população por (a) faixa etária, (b) nível de instrução, (c) sector da actividade económica e (d) actividade económica, para as regiões norte e sul, e para a ZMC 320 (fonte: Instituto Nacional de Estatística – Portugal).....	67
Figura 4.6 – Imagens da zona sul: Vista da passagem pedonal aérea (a) para o lado esquerdo, (b) para o lado direito, (c) Instituto Militar Pupilos do Exército, (d) Palácio Marqueses de Fronteira e Alorna, (e) R. Flor da Serra – Calhau, Largo São Domingos de Benfica (f) para a esquerda e (g) para a direita. ....	69
Figura 4.7 – Medição de caudal e pressão na entrada da ZMC 320, durante a (a) 1 <sup>a</sup> semana, (b) 2 <sup>a</sup> semana, (c) 3 <sup>a</sup> semana, (d) 4 <sup>a</sup> semana, (e) 5 <sup>a</sup> semana, (f) 6 <sup>a</sup> semana, (g) 7 <sup>a</sup> semana, e (h) 8 <sup>a</sup> semana, da CDF.....	72
Figura 4.8 – Medição de caudal à entrada do Jardim Zoológico, durante a 5 <sup>a</sup> semana da CDF.....	73

Figura 4.9 – Curvas de consumo agrupadas (a) por dia da semana (segunda-feira), e por semana da campanha (b) 7 <sup>a</sup> semana e (c) 5 <sup>a</sup> semana.....	76
Figura 4.10 – Curvas de consumos adimensionalizados médios de cada dia útil da semana.....	78
Figura 4.11 – Curvas de consumo do Jardim Zoológico durante a 5 <sup>a</sup> semana da campanha.	79
Figura 4.12 – Curvas de consumos adimensionalizados médios dos sábados, domingos e feriados e dos dias úteis.....	80
Figura 4.13 – Consumos médios, máximos e mínimos para cada dia da semana, média dos dias úteis e média semanal.....	81
Figura 4.14 – Perfil padronizado de consumo dos (a) sábados, (b) domingos e feriados e (c) dias úteis, com intervalo de confiança de 90%, relativo às oito semanas de campanha.....	85
Figura 4.15 – Perfis padronizados de consumo (a) sábados, (b) domingos e feriados, (c) dias úteis.....	86
Figura 5.1 – Base Cadastral da ZMC 320.....	92
Figura 5.2 – Topologia do sistema de distribuição de água da ZMC 320.....	96
Figura 5.3 – Padrões temporais de consumo na ZMC 320: (a) antes e (b) depois das reparações.....	98
Figura 5.4 – Padrões temporais da pressão à entrada da ZMC 320: (a) antes e (b) depois das reparações.....	99
Figura 5.5 – Padrão de sazonalidade dos consumos de água na ZMC 320.....	99
Figura 5.6 – Diagrama da metodologia proposta para a determinação das curvas diárias de consumo e perdas.....	103
Figura 5.7 – Distribuição do <i>caudal mínimo nocturno absoluto</i> na ZMC 320 – antes das reparações.....	105
Figura 5.8 – Avaliação do <i>caudal médio nocturno mínimo</i> na ZMC 320 – antes das reparações.....	107
Figura 5.9 – Padrão de consumo diário (calibrado) na ZMC 320 – antes das reparações....	108
Figura 5.10 – Padrão de consumo diário facturado na ZMC 320 – antes das reparações....	108
Figura 5.11 – Balanço do consumo de água diário na ZMC 320 – antes das reparações....	109
Figura 5.12 – Distribuição do <i>caudal mínimo nocturno absoluto</i> na ZMC 320 – depois das reparações.....	110
Figura 5.13 – Avaliação do <i>caudal médio nocturno mínimo</i> na ZMC 320 – depois das reparações.....	111
Figura 5.14 – Padrão de consumo diário (calibrado) na ZMC 320 – depois das reparações.	112
Figura 5.15 – Padrão de consumo diário facturado na ZMC 320 – depois das reparações..	112

Figura 5.16 – Balanço do consumo de água diário na ZMC 320 – depois das reparações...	113
Figura 5.17 – Parcelas do consumo de água diário na ZMC 320: (a) antes das reparações, (b) depois das reparações e (c) variação entre antes e depois das reparações. ....	118
Figura 5.18 – Comparação de dados internacionais do indicador de desempenho operacional (a) básico ( <i>Op27</i> ) e (b) detalhado ( <i>Op29</i> ) para perdas reais, adaptado de Farley e Trow (2003). ....	122
Figura 6.1 – Exemplo de (a) um gráfico de sistema e (b) um gráfico de simulação dinâmica referente ao desempenho da flutuação de pressão numa rede de distribuição de água. ....	132
Figura 6.2 – Exemplo de (a) um <i>diagrama de sistema</i> e (b) um <i>diagrama de simulação dinâmica</i> , da flutuação de pressão de uma rede de distribuição de água, com distribuição em percentis de 25%. ....	132
Figura 6.3 – Curvas de penalidade para: (a) pressão (global), (b) pressão mínima, (c) pressão máxima e (d) flutuação de pressão.....	135
Figura 6.4 – Curvas de penalidade para: (a) velocidade, (b) velocidade mínima e (c) velocidade máxima. ....	138
Figura 6.5 – <i>Diagrama de simulação dinâmica</i> para: (a) pressão, (b) pressão mínima, (c) pressão máxima e (d) flutuação de pressão.....	140
Figura 6.6 – Representação espacial do desempenho da pressão para a hora de (a) menor e (b) maior consumo. ....	141
Figura 6.7 – Isolinhas de pressão para a hora de (a) menor e de (b) maior consumo.....	141
Figura 6.8 – <i>Diagrama de Simulação Dinâmica</i> para: (a) velocidade, (b) velocidade mínima e (c) velocidade máxima. ....	142
Figura 6.9 – Representação espacial do desempenho da velocidade para a hora de (a) menor e (b) maior consumo, e da (c) velocidade máxima para hora de maior consumo. ....	143
Figura 6.10 – Representação espacial das velocidades para a hora de (a) menor e de (b) maior consumo.....	144
Figura 6.11 – <i>Diagrama de Sistema</i> para: (a) pressão, (b) pressão mínima, (c) pressão máxima e (d) flutuação de pressão.....	145
Figura 6.12 – <i>Diagrama de Sistema</i> para: (a) velocidade, (b) velocidade mínima e (c) velocidade máxima. ....	146
Figura A2.1 – Registos de caudal e pressão em (a) 18/09/2004 e (b) 19/09/2004. ....	169
Figura A2.2 – Registos de caudal e pressão em (a) 20/09/2004, (b) 21/09/2004 e (c) 22/09/2004. ....	170
Figura A2.3 – Registos de caudal e pressão em (a) 23/09/2004, (b) 24/09/2004 e (c) 25/09/2004. ....	171

Figura A2.4 – Registos de caudal e pressão em (a) 26/09/2004, (b) 27/09/2004 e (c) 28/09/2004.....	172
Figura A2.5 – Registos de caudal e pressão em (a) 29/09/2004, (b) 30/09/2004 e (c) 01/10/2004.....	173
Figura A2.6 – Registos de caudal e pressão em (a) 02/10/2004, (b) 03/10/2004 e (c) 04/10/2004.....	174
Figura A2.7 – Registos de caudal e pressão em (a) 05/10/2004, (b) 06/10/2004 e (c) 07/10/2004.....	175
Figura A2.8 – Registos de caudal e pressão em (a) 08/10/2004, (b) 09/10/2004 e (c) 10/10/2004.....	176
Figura A2.9 – Registos de caudal e pressão em (a) 11/10/2004, (b) 12/10/2004 e (c) 13/10/2004.....	177
Figura A2.10 – Registos de caudal e pressão em (a) 14/10/2004, (b) 15/10/2004 e (c) 18/10/2004.....	178
Figura A2.11 – Registos de caudal e pressão em (a) 19/10/2004, (b) 20/10/2004 e (c) 21/10/2004.....	179
Figura A2.12 – Registos de caudal e pressão em (a) 22/10/2004, (b) 23/10/2004 e (c) 24/10/2004.....	180
Figura A2.13 – Registos de caudal e pressão em (a) 25/10/2004, (b) 26/10/2004 e (c) 27/10/2004.....	181
Figura A2.14 – Registos de caudal e pressão em (a) 28/10/2004, (b) 29/10/2004 e (c) 01/11/2004.....	182
Figura A2.15 – Registos de caudal e pressão em (a) 02/11/2004, (b) 03/11/2004 e (c) 04/11/2004.....	183
Figura A2.16 – Registos de caudal e pressão em (a) 05/11/2004, (b) 08/11/2004 e (c) 09/11/2004.....	184
Figura A2.17 – Registos de caudal e pressão em (a) 10/11/2004, (b) 11/11/2004 e (c) 12/11/2004.....	185
Figura A3.1 – Registos de caudal em (a) 16/10/2004 e (b) 17/10/2004.....	187
Figura A3.2 – Registos de caudal em (a) 18/10/2004, (b) 19/10/2004 e (c) 20/10/2004.....	188
Figura A3.3 – Registos de caudal em (a) 21/10/2004 e (b) 22/10/2004.....	189
Figura A4.1 – Curvas de consumo diário dos (a) sábados e (b) domingos.....	191
Figura A4.2 – Curvas de consumo diário das (a) segundas-feiras e (b) terças-feiras.....	192
Figura A4.3 – Curvas de consumo diário das (a) quartas-feiras e (b) quintas-feiras.....	193
Figura A4.4 – Curvas de consumo diário das sextas-feiras.....	194
Figura A5.1 – Curvas de consumo diário da (a) 1 <sup>a</sup> semana e (b) 2 <sup>a</sup> semana.....	195

Figura A5.2 – Curvas de consumo diário da (a) 3 <sup>a</sup> semana e (b) 4 <sup>a</sup> semana.....	196
Figura A5.3 – Curvas de consumo diário da (a) 5 <sup>a</sup> semana e (b) 6 <sup>a</sup> semana.....	197
Figura A5.4 – Curvas de consumo diário da (a) 7 <sup>a</sup> semana e (b) 8 <sup>a</sup> semana.....	198

# ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 – Parâmetros necessários para o cálculo de perdas reais inevitáveis médias (PRIM) para os diferentes componentes do sistema (Lambert <i>et al.</i> , 1999) .....	12
Quadro 2.2 – Valores dos parâmetros usados no cálculo de perdas reais inevitáveis médias (PRIM) para os diferentes componentes do sistema (Lambert <i>et al.</i> , 1999).....	12
Quadro 2.3 – Valores dos componentes de perdas reais inevitáveis médias (PRIM) para os diferentes componentes do sistema (Lambert <i>et al.</i> , 1999).....	13
Quadro 2.4 – Componentes do Balanço Hídrico Padrão em m <sup>3</sup> /ano (Alegre <i>et al.</i> , 2004)....	27
Quadro 2.5 – Banda de exactidão dos dados (adaptado de LNEC e IRAR, 2005) .....	30
Quadro 2.6 – Bandas de fiabilidade da fonte de informação dos dados (LNEC e IRAR, 2005).....	30
Quadro 2.7 – Estrutura dos indicadores de desempenho da IWA (adaptado de Alegre <i>et al.</i> , 2004).....	32
Quadro 2.8 – Indicadores de desempenho relativos a perdas de água e a água não facturada – importância relativa, códigos e unidades recomendadas (Alegre <i>et al.</i> , 2004).....	34
Quadro 3.1 – Caracterização das Zonas de Abastecimento.....	40
Quadro 3.2 – Características dos Registadores de Ruído <i>Permalog</i> .....	43
Quadro 4.1 – Características da área de estudo baseadas no Censo 2001.....	64
Quadro 4.2 – Indicadores baseados nos dados do Censo 2001. ....	68
Quadro 4.3 – Consumos médios, máximos e mínimos para cada dia da semana, média dos dias úteis e média semanal.....	81
Quadro 4.4 – Factores de carga máximos para cada dia da semana, dias úteis e toda a semana. ....	82
Quadro 5.1 – Cálculo do <i>caudal mínimo nocturno base</i> na ZMC 320 – antes das reparações. ....	105
Quadro 5.2 – Distribuição do <i>caudal médio nocturno mínimo</i> na ZMC 320 – antes das reparações. ....	106
Quadro 5.3 – Cálculo do <i>caudal nocturno base</i> na ZMC 320 – depois das reparações.....	110
Quadro 5.4 – Distribuição do <i>caudal médio nocturno mínimo</i> na ZMC 320 – depois das reparações. ....	111
Quadro 5.5 – Balanço Hídrico 2004 da ZMC 320 (m <sup>3</sup> /ano) – antes das reparações.....	115
Quadro 5.6 – Balanço Hídrico 2004 da ZMC 320 (m <sup>3</sup> /ano) – depois das reparações.....	116

Quadro 5.7 – Parcelas de consumo da ZMC 320 obtidas pela abordagem <i>bottom-up</i> – antes e depois das reparações.....	117
Quadro 5.8 – Parcelas de consumo da ZMC 320 obtidas pela abordagem <i>top-down</i> – antes e depois das reparações.....	119
Quadro 5.9 – Parcelas de consumo da ZMC 320 obtidas pela abordagem <i>bottom-up</i> extrapoladas para o período de um ano – antes e depois das reparações.....	120
Quadro 5.10 – Indicadores de desempenho de perdas de água na ZMC 320 – antes e depois das reparações.....	121
Quadro A1.1 – Indicadores de recursos hídricos .....	161
Quadro A1.2 – Indicadores de recursos humanos.....	161
Quadro A1.3 – Indicadores Infra-estruturais .....	162
Quadro A1.4 – Indicadores operacionais.....	163
Quadro A1.5 – Indicadores de qualidade de serviço. ....	165
Quadro A1.6 – Indicadores de económico-financeiros.....	166
Quadro A6.1 – Parcelas do consumo diário na ZMC 320 – antes das reparações, em m <sup>3</sup> /h.	199
Quadro A6.2 – Parcelas do consumo diário na ZMC 320 – depois das reparações, em m <sup>3</sup> /h.....	200

# SIMBOLOGIA

<b>SÍMBOLO</b>	<b>GRANDEZA</b>	<b>DIMENSÕES</b>
$A$	: área do orifício	$[L^2]$
$C$	: coeficiente do orifício	$[M^{-\beta} L^{3+\beta} T^{2\beta-1}]$
$C_d$	: coeficiente de vazão do orifício	$[-]$
$c$	: coeficiente fixo de fugas	$[M^{-\beta} L^{2+\beta} T^{2\beta-1}]$
$D_s$	: distância entre os sensores	$[L]$
$Fi46$	: indicador de água não facturada em termos de volume	$[-]$
$Fi47$	: indicador de água não facturada em termos de custo	$[-]$
$g$	: aceleração da gravidade	$[L T^{-2}]$
$H, H_0, H_1$	: carga hidráulica sobre o eixo do orifício	$[L]$
$K_{fi}$	: coeficiente de fuga no nó i	$[M^{-\beta} L^{3+\beta} T^{2\beta-1}]$
$L_{ji}$	: comprimento de cada conduta j ligada ao nó i	$[L]$
$L_m$	: comprimento médio das condutas principais do sistema	$[L]$
$L_p$	: comprimento total dos ramais entre o limite da propriedade e o contador dos clientes	$[L]$
$L'_p$	: comprimento médio dos ramais, entre a conduta principal e o contador do cliente	$[L]$
$M_i$	: número de condutas ligadas ao nó i	$[-]$
$NI$	: expoente da variável pressão	$[-]$
$N_c$	: número de ramais de serviço na zona	$[-]$
$n$	: dimensão ou número de registos da amostra	$[-]$
$Op23$	: indicador de perdas de água por ramal	$[L^3 T^{-1}]$
$Op25$	: indicador de perdas aparentes	$[-]$
$Op27$	: indicador de perdas reais por ramal	$[L^3 T^{-1}]$

$Op29$	: índice infra-estrutural de fugas	[ - ]
$Op39$	: indicador de água não medida	[ - ]
$P_f$	: posição da fuga	[ L ]
$p$	: pressão média de operação à entrada dos contadores	[ M L <sup>-1</sup> T <sup>-2</sup> ]
$p_0$	: pressão na saída do orifício	[ M L <sup>-1</sup> T <sup>-2</sup> ]
$p_1$	: pressão na entrada do orifício	[ M L <sup>-1</sup> T <sup>-2</sup> ]
$p_i$	: pressão no nó i	[ M L <sup>-1</sup> T <sup>-2</sup> ]
$Q_F, Q_{F_0}, Q_{F_1}$	: caudal de fuga através de um orifício	[ L <sup>3</sup> T <sup>-1</sup> ]
$q$	: caudal através do orifício	[ L <sup>3</sup> T <sup>-1</sup> ]
$q_{fi}$	: caudal de fuga no nó i	[ L <sup>3</sup> T <sup>-1</sup> ]
$T_d$	: tempo de atraso calculado em relação a um ponto localizado a igual distância dos dois extremos da conduta	[ T ]
$V_{ps}$	: velocidade de propagação do som na tubagem	[ L T <sup>-1</sup> ]
$WRI$	: ineficiência na utilização dos recursos hídricos	[ - ]
$\beta$	: expoente da pressão	[ - ]

## ACRÓNIMOS

<i>APU</i>	: Área Predominantemente Urbana
<i>AR</i>	: Aço Revestido
<i>BA</i>	: Betão Armado
<i>BABE</i>	: Background and Bursts Estimates
<i>CDF</i>	: Campanha de Detecção de Fugas
<i>CEHIDRO</i>	: Centro de Estudos de Hidrosistemas
<i>CMNA</i>	: Caudal Mínimo Nocturno Absoluto
<i>CMNM</i>	: Caudal Médio Nocturno Mínimo
<i>CREL</i>	: Cintura Rodoviária Externa de Lisboa
<i>CRIL</i>	: Cintura Rodoviária Interna de Lisboa
<i>DC</i>	: Corrente Contínua
<i>DGOTDU</i>	: Direcção Geral do Ordenamento do Território e Desenvolvimento Urbano
<i>DR</i>	: Decreto Regulamentar
<i>ELL</i>	: Economic Level of Real Losses
<i>EPA</i>	: U. S. Environmental Protection Agency
<i>EPAL</i>	: Empresa Portuguesa das Águas Livres, S.A.
<i>FC</i>	: Fibrocimento
<i>FF</i>	: Ferro Fundido
<i>F</i>	: Fuga
<i>GIS</i>	: Geographical Information System
<i>GPS</i>	: Global Positioning System
<i>ID</i>	: Indicador de Desempenho
<i>IIF</i>	: Índice Infra-estrutural de Fugas

<i>INAG</i>	: Instituto da Água
<i>INE</i>	: Instituto Nacional de Estatística - Portugal
<i>IRAR</i>	: Instituto Regulador de Águas e Resíduos
<i>ITPR</i>	: Indicador Técnico de Perdas Reais
<i>IWA</i>	: International Water Association
<i>LNEC</i>	: Laboratório Nacional de Engenharia Civil
<i>NEPa</i>	: Nível Económico de Perdas Aparentes
<i>NEPr</i>	: Nível Económico de Perdas Reais
<i>NF</i>	: Não Fuga
<i>PEAD</i>	: Polietileno de Alta Densidade
<i>PAI</i>	: Perdas Aparentes Inevitáveis
<i>PMNZ</i>	: Pressão Média Nocturna na Zona
<i>PRCM</i>	: Perdas Reais Correntes Médias
<i>PRIM</i>	: Perdas Reais Inevitáveis Médias
<i>RNF</i>	: Reservatórios de Nível Fixo
<i>RNV</i>	: Reservatórios de Nível Variável
<i>VRP</i>	: Válvulas Redutoras de Pressão
<i>WRC</i>	: Water Research Commission
<i>ZA</i>	: Zonas de Abastecimento
<i>ZMC</i>	: Zona de Medição e Controlo

*“Todas as vitórias ocultam  
uma abdicação.”*

*Simone de Beauvoir*



# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 IMPORTÂNCIA DO TEMA

A importância da água como elemento natural indispensável à vida é reconhecida desde a existência do Homem sobre a Terra. Ao longo dos tempos, os rios marcaram de forma determinante a evolução das grandes civilizações, cuja cultura e engenho aparecem muito ligados ao uso da água. Não obstante, só em meados do século XX a humanidade tomou verdadeira consciência do valor deste elemento vital como factor básico do desenvolvimento económico e social, em consequência das pressões crescentes exercidas pelo *crescimento demográfico*, pelo *desenvolvimento industrial* e pela *progressiva concentração urbana*, sobre a quantidade e a qualidade da água disponível. A visão infra-estrutural na oferta da água veio, assim, dar lugar à noção de utilização dos recursos hídricos, com soluções alternativas susceptíveis de análise comparativa e de avaliação económico-financeira (Leitão, 2005).

O Instituto da Água (INAG), como organismo responsável pelo desenvolvimento e aplicação das políticas nacionais no domínio dos recursos hídricos e do saneamento básico, promove o desenvolvimento do Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água, que define um conjunto de medidas que permitem melhorar a utilização da água sendo uma das medidas prioritárias aplicáveis ao sector *urbano*, a redução de *perdas de água* nos sistemas de abastecimento.

As *perdas de água* constituem uma das principais fontes de ineficiência das entidades gestoras de abastecimento de água. Analisando outros sectores produtivos, verifica-se que são muito poucos os que se permitem perder, no processo de transporte e distribuição, parcelas tão significativas do produto produzido.

Ineficiências elevadas quanto às *perdas de água* não beneficiam nem os consumidores nem as entidades gestoras, reduzindo a qualidade do serviço e contribuindo para aumentar o custo da água que é efectivamente facturada. Assim, promover a redução de perdas é, sem dúvida, uma actividade relevante no âmbito da estratégia regulamentar. A entidade reguladora dos serviços de águas e resíduos tem como principal preocupação a protecção dos interesses dos utilizadores, através da promoção da qualidade do serviço prestado pelas entidades gestoras e da garantia do equilíbrio dos tarifários praticados, tendo por base os princípios de bem essencial, indispensável, universal, equidade, fiabilidade e custo-eficácia. Deve, no entanto, ter-se em conta a salvaguarda da viabilidade económica e dos legítimos interesses das entidades gestoras, garantindo a adequada remuneração dos capitais investidos, independentemente do seu estatuto público ou privado, municipal ou multi-municipal. Deve ainda salvaguardar o restante tecido empresarial do sector, não regulado, de apoio aos operadores, bem como os aspectos ambientais (Alegre *et al.*, 2005).

Independentemente da sua natureza (privada, pública ou mista) ou do seu âmbito geográfico, admite-se que as entidades gestoras de sistemas de abastecimento de água partilham princípios e objectivos de gestão comuns, que se podem resumir no essencial: “*a maior satisfação do maior número de consumidores e de entidades envolvidas, com o melhor uso dos recursos disponíveis*” (Lobato de Faria e Alegre, 1996).

Portugal regista valores elevados de perdas que condicionam a implementação de regimes económicos e financeiros adequados nos serviços de águas, sendo o potencial de acção, na maioria dos sistemas, ainda muito grande. Para além da valia ambiental, social e de saúde pública, o controlo de perdas permite ganhos económicos significativos, o que deve ser um incentivo para a actuação e investimentos das entidades gestoras nesta área. A definição e a implementação de uma estratégia activa de controlo de perdas são aspectos essenciais para o desenvolvimento do sector (IRAR), e consiste na principal motivação para o desenvolvimento deste trabalho.

## **1.2 OBJECTIVOS**

O objectivo principal deste estudo consiste no estabelecimento e aplicação de metodologias que permitam avaliar, da melhor forma possível, as várias parcelas do consumo de água numa zona de medição e controlo, com vista à quantificação das parcelas de perdas reais e aparentes. Para este efeito definiram os seguintes objectivos específicos:

- (i) acompanhamento de uma campanha de detecção de fugas por forma a conhecer qual a prática actual da entidade gestora, quais as técnicas e equipamentos utilizados para a detecção e a localização de fugas, e quais as dificuldades práticas encontradas na instalação dos equipamentos, medições, localização das fugas e reparações efectuadas.
- (ii) caracterização sócio-demográfica e habitacional da zona em estudo e análise dos dados de consumo recolhidos durante uma campanha de detecção de fugas.
- (iii) aplicação do balanço hídrico anual para a avaliação de perdas reais e aparentes sem recurso a simulações.
- (iv) estabelecimento de uma metodologia para a avaliação das perdas com base na análise de consumos mínimos nocturnos e na simulação hidráulica dinâmica do sistema.
- (v) aplicação da metodologia proposta em (iv) para a avaliação das perdas reais e aparentes e a estimativa do ganho conseguido com a campanha de detecção de fugas.
- (vi) cálculo e análise dos principais indicadores de desempenho relacionados com as perdas, desenvolvidos pelo grupo de trabalho IWA (Alegre *et al.*, 2000).

- (vii) avaliação do desempenho hidráulico do sistema em termos de pressões e velocidades, com vista ao diagnóstico do sistema e à sua correlação com os resultados da avaliação de perdas.
- (viii) retirar ensinamentos do estudo desenvolvido e efectuar recomendações práticas à entidade gestora no que se refere ao controlo de perdas.

### 1.3 CONTEÚDO DO TRABALHO

A presente dissertação está estruturada em sete capítulos, a que se encontram associados seis anexos. Ao presente capítulo introdutório (Capítulo 1), sucede-se o Capítulo 2, onde se efectua uma revisão bibliográfica dos temas fundamentais, de modo a: (i) situar a temática de perdas de água em sistemas de abastecimento em relação à definição, à quantificação e às metodologias adoptadas na sua detecção, localização e controlo; (ii) enquadrar a terminologia adoptada pela comunidade científica, bem como o modelo de balanço hídrico anual utilizado; (iii) relacionar os indicadores de desempenho utilizados no âmbito da gestão das companhias de água.

No Capítulo 3 descreve-se o procedimento actualmente seguido pela EPAL – Empresa Portuguesa das Águas Livres, S.A. no controlo de perdas e fugas de água na rede de distribuição de Lisboa, que resultou do acompanhamento de uma campanha de detecção de fugas realizada na Zona de Medição e Controlo das Olaias. Este capítulo tem como objectivo relacionar as técnicas e equipamentos utilizados em Portugal, no âmbito do controlo de perdas.

No Capítulo 4 efectua-se uma caracterização dos consumos de água na Zona de Medição e Controlo de São Domingos de Benfica, que integra o Sistema de Distribuição de Água de Lisboa. Esta caracterização baseou-se numa metodologia de análise proposta por Alegre (1994), que conjuga informações no domínio da engenharia hidráulica, da estatística e das ciências sociais.

No Capítulo 5 efectua-se a avaliação de perdas na Zona de Medição e Controlo de São Domingos de Benfica, antes e depois da realização de uma campanha de detecção de fugas, com o objectivo de estimar as várias parcelas que contribuem para as perdas de água no sistema e quantificar a redução de perdas conseguida pela realização da campanha. Para quantificar as parcelas de consumo foram utilizadas duas abordagens distintas de acordo com Fanner (2004): a abordagem *top-down* – que consiste no cálculo do balanço hídrico anual da ZMC e na quantificação das parcelas de perdas de água (i.e., perdas reais e aparentes); e a abordagem *bottom-up* – que, através de uma análise do caudal mínimo nocturno, e o recurso a simulações hidráulicas dinâmicas do funcionamento do sistema durante 24 horas, permite estimar as perdas reais ao longo do dia. Este capítulo apresenta ainda uma avaliação do desempenho do sistema, no que se refere às perdas reais e aparentes, através do cálculo de indicadores de desempenho propostos por Alegre *et al.* (2004).

No Capítulo 6 avalia-se o desempenho hidráulico e operacional do sistema de distribuição de água da ZMC 320. São calculados os desempenhos de pressão, de flutuação de pressão e de velocidade para cada elemento da rede (nó ou trecho), com base numa curva de penalidades, e posteriormente transformados em valores globais do sistema pela aplicação de uma função generalizadora. São gerados *diagramas de sistema* (i.e., que representam o comportamento do sistema para uma gama de factores de carga associados ao consumo) e *diagramas de simulação dinâmica* (i.e., que representam o comportamento diário do sistema). A avaliação inclui a representação espacial das variáveis analisadas (pressão, flutuação de pressão e velocidade) assim como dos seus respectivos desempenhos hidráulicos.

Por fim, apresenta-se no Capítulo 7 a síntese e as conclusões gerais do estudo, bem como a indicação de novas áreas de desenvolvimento e as recomendações para trabalhos futuros.

## 2 SÍNTESE DE CONHECIMENTOS

### 2.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo apresenta-se uma síntese de conhecimentos efectuada no domínio de perdas de água em sistemas de abastecimento. Este tema tem sido largamente estudado por especialistas de todo o mundo, face à sua importância de carácter *económico-financeiro, técnico, ambiental, de saúde pública e social*.

Apresenta-se uma revisão geral dos conhecimentos relativos à definição e quantificação de perdas de água em sistemas de produção, transporte e distribuição, bem como às metodologias adoptadas na sua detecção, localização e controlo.

O estabelecimento de metodologias e a implementação de políticas de controlo de perdas requer o uso de uma linguagem comum a todas as entidades envolvidas no processo. Neste contexto, apresenta-se a terminologia adoptada pela comunidade científica neste domínio, bem como o modelo de balanço hídrico utilizado pelos especialistas internacionais.

Apresentam-se, ainda, os principais indicadores de desempenho associados às perdas de água. Estes indicadores permitem efectuar uma análise comparativa com o mesmo sistema em datas anteriores, com outros sistemas sob a responsabilidade da mesma entidade gestora, com sistemas de outras entidades gestoras (nacionais ou internacionais) e com valores extraídos da bibliografia existente.

### 2.2 PERDAS DE ÁGUA

#### 2.2.1 Introdução

A problemática de perdas de água em sistemas de abastecimento pode ser analisada sob cinco dimensões (pontos de vista) distintas que passam a descrever (LNEC e IRAR, 2005):

- (i) **a dimensão económico-financeira** – que se refere às perdas, como a água que não é facturada nem utilizada para outros fins autorizados, mas que é captada, tratada e transportada;
- (ii) **a dimensão técnica** – que se refere às perdas físicas de água (fugas e roturas), ou seja, à água que sai inadvertidamente do sistema devido à falta de estanqueidade das juntas ou a fugas de outra natureza; na prática, não existem redes totalmente estanques, porém, considera-se que uma rede bem construída e mantida tem poucas perdas físicas;

- (iii) **a dimensão ambiental** – pela qual o interesse recai sobre a parcela de água que é perdida por fugas e extravasamentos, com maior importância em regiões onde se verifica a escassez de água para consumo humano;
- (iv) **a dimensão de saúde pública** – que se preocupa com a falda de estanqueidade do sistema, analisando as fugas como pontos potenciais de contaminação da água, principalmente quando o sistema está sujeito a pressões baixas ou negativas, não devendo ser negligenciada mesmo quando vai de encontro à dimensão económico-financeira;
- (v) **a dimensão social** – que encara as perdas como um dos factores de ineficiência das entidades gestoras, que podem reduzir a qualidade da água, mas sobretudo, quando estas se traduzem em aumentos nos tarifários, onde a sociedade é mais sensível.

As perdas de água dividem-se em perdas reais (físicas) e perdas aparentes (não físicas) e podem ser consideradas para a totalidade do sistema de abastecimento, ou calculadas em relação a subsistemas (e.g., o sistema de adução, o sistema de distribuição, ou uma zona de medição e controlo).

Segundo Farley (2001), as fugas (perdas reais) são a principal componente de perdas de água em países desenvolvidos, enquanto que, nos países em vias de desenvolvimento, as ligações ilícitas e os erros de medição dos contadores (perdas aparentes) são frequentemente os factores com mais peso nas perdas de água.

## 2.2.2 Perdas Reais

### 2.2.2.1 Definição e Abordagens de Cálculo

De acordo com as recomendações da *International Water Association* (IWA), as perdas reais correspondem ao volume anual perdido no sistema de adução e distribuição através de fugas, roturas e extravasamentos que ocorrem na captação, adução, tratamento, reserva e distribuição (incluindo os ramais de serviço), até ao ponto de medição dos clientes (Fanner, 2004).

Apesar das perdas físicas localizadas a jusante do contador do cliente se encontrarem excluídas do cálculo de perdas reais, são muitas vezes significativas, principalmente quando o consumo é pago por estimativa, e são igualmente merecedoras de atenção no contexto dos objectivos da gestão dos consumos (Alegre *et al.*, 2004).

Farley (2001) refere-se às perdas reais como o somatório de (i) fugas nas condutas adutoras e na rede de distribuição, que podem ser causadas por má estanqueidade das juntas ou por ocorrência de roturas em condutas, acessórios ou ramais, e (ii) fugas nas paredes dos reservatórios ou perdas por extravasamentos causados por avarias em válvulas de controlo. Enumera ainda diversos factores que podem influenciar o volume de perdas reais num determinado sistema de abastecimento de água:

- (i) a percentagem de tempo em que a rede está sob pressão;
- (ii) a pressão média de serviço quando a rede está sob pressão;
- (iii) o número de ramais de serviço e a posição do contador domiciliário no ramal (estes podem ser considerados pontos fracos na maioria dos sistemas de distribuição, e apesar das fugas em ramais e contadores corresponderem a um pequeno caudal, estão normalmente associadas a longos períodos de duração);
- (iv) o comprimento total das condutas;
- (v) as condições da infra-estrutura (i.e., o tipo de material e a idade das condutas e, a frequência de ocorrência de roturas);
- (vi) o tipo de solo e as condições de assentamento das condutas.

As perdas reais podem ser avaliadas por três abordagens diferentes (Fanner, 2004): (i) a abordagem *top-down* – balanço hídrico anual aplicado a globalidade da rede ou a subzonas de medição e controlo; (ii) a abordagem *bottom-up* – análise de caudais nocturnos e utilização de simulações hidráulicas dinâmicas do sistema; ou (iii) a análise dos componentes do sistema. O ideal é a combinação de dois ou mais destes métodos.

### **Abordagem *Top-down***

A abordagem *top-down* consiste na determinação de perdas reais através do cálculo do balanço hídrico aplicado a rede ou a uma zona da rede, ou seja, a diferença entre o volume de água que entra no sistema e os volumes de consumo autorizado e perdas aparentes. Esta abordagem não dá nenhuma informação relativa às componentes de perdas reais (e.g., perdas nas condutas, nos ramais, nos reservatórios), o que pode ser complementado por uma análise dos componentes do sistema.

### **Abordagem *Bottom-up***

A abordagem *bottom-up* consiste na determinação de perdas reais com base na análise dos caudais nocturnos medidos à entrada de pequenos sectores ou zonas do sistema de distribuição, nomeadamente nas Zonas de Medição e Controlo (ZMC). As perdas reais são estimadas subtraindo o consumo nocturno autorizado (avaliado e medido) ao consumo mínimo nocturno, e submetendo este resultado às variações diárias de pressão da ZMC a fim de obter uma extrapolação para uma curva diária de perdas reais (Figura 2.1 e Figura 2.2).

Esta abordagem, quando aplicada à totalidade de um sistema de distribuição de água, permite a identificação das zonas com mais perdas e, portanto, mais carenciadas de um controlo efectivo de perdas. Além disso, por ser uma análise independente da *top-down* no que se refere a determinação do volume de perdas reais, pode ser usada para validar os resultados obtidos com base no balanço hídrico (Fanner, 2004).

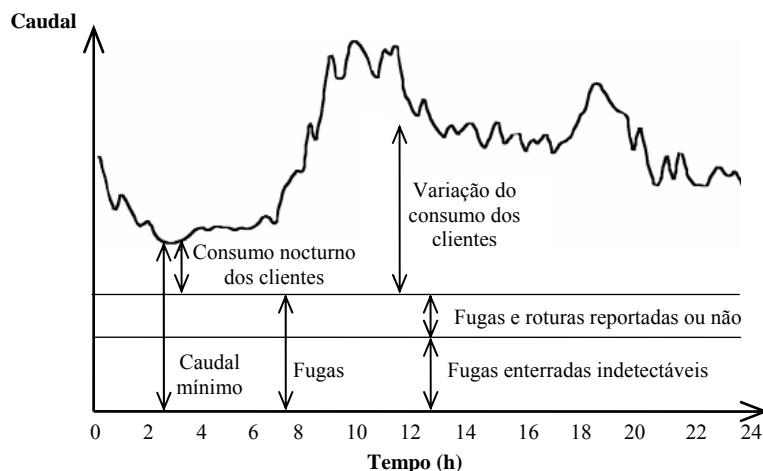


Figura 2.1 – Perfil típico de caudais diáridos, tipos de fugas e consumo dos clientes numa ZMC (adaptado de Morrison, 2004).

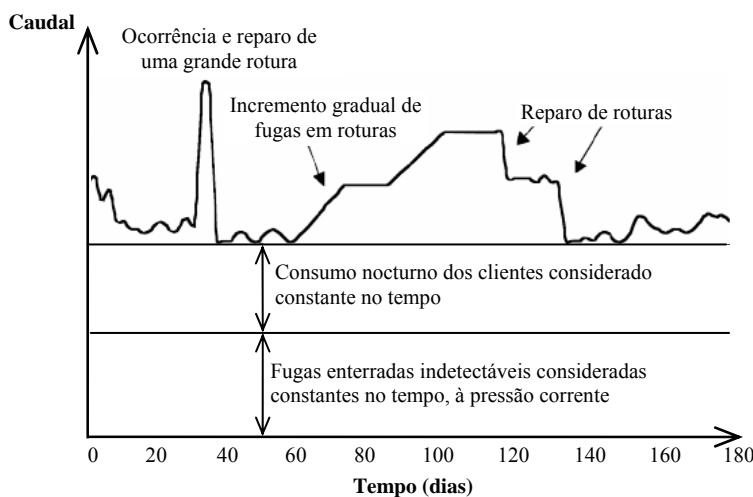


Figura 2.2 – Caudal mínimo nocturno típico numa ZMC, WRC, 1994 (adaptado de Morrison, 2004).

## Análise dos Componentes do Sistema

As fugas podem ocorrer em diferentes componentes do sistema de distribuição (i.e., condutas principais, reservatórios e ramais domiciliários). Esta análise tem em conta três características básicas, o número, o caudal médio e o tempo de ocorrência, de diferentes tipos de fugas (i.e., fugas não detectáveis ou de base, roturas e fugas reportadas, roturas e fugas não reportadas mas passíveis de identificação através de controlo activo de fugas e extravasamentos e fugas em reservatórios), nos vários componentes do sistema. Para efectuar esta análise são necessários também dados da infra-estrutura base tais como: o comprimento das condutas; o número de ramais; o comprimento médio dos ramais; a pressão média de serviço do sistema; a relação pressão / caudal de fuga; entre outros parâmetros dos componentes de base já referidos (número de roturas reportadas e não reportadas, e seus tempos médios de reparação baseados na política da entidade gestora dos serviços).

Segundo Fanner (2004), um modelo de análise de componentes bem calibrado pode ser usado na avaliação de soluções alternativas para o controlo de perdas reais.

Os parâmetros medidos ou estimados, usados no cálculo de perdas reais em qualquer dos métodos apresentados, estão sempre sujeitos a erros e incertezas de maior ou menor relevância. Assim sendo, os volumes de perdas reais apresentam uma incerteza, que resulta da propagação e acumulação dos erros associados aos diversos parâmetros intervenientes.

### **2.2.2.2 Perdas Reais Inevitáveis Médias (PRIM)**

As Perdas Reais Inevitáveis Médias (PRIM, ou na terminologia anglo-saxónica, *Unavoidable Annual Real Losses*) representam o menor volume de perdas reais tecnicamente alcançável num sistema de abastecimento de água bem controlado (i.e., um sistema com boas condições de infra-estrutura, com uma metodologia de controlo activo de perdas avançada e uma reparação rápida e eficiente das fugas e roturas encontradas). Estas perdas são influenciadas pelo (i) comprimento das condutas, (ii) número de ramais de serviço, (iii) localização dos contadores domiciliários, (iv) continuidade do abastecimento, e (v) pressão de serviço. Lambert *et al.* (1999) apresentam uma série de dados internacionais de referência, que mostram a variação das PRIM entre 32 e 153 l/ramal/dia (em condutas em pressão), dentro de um limite aceitável de erro para perdas reais aproximadamente igual a 20%.

Os valores específicos de PRIM para sistemas bem controlados e com uma boa condição de infra-estrutura podem ser avaliados por uma metodologia proposta pelo grupo de trabalho da IWA e apresentada em Lambert *et al.* (1999). A metodologia baseia-se na técnica BABE (*Background and Bursts Estimates*), que propõe uma fórmula simplificada para o cálculo das componentes de perdas reais, sendo actualmente, usada com sucesso em diversos sistemas de distribuição a nível internacional (Lambert e McKenzie, 2002).

Com a finalidade de modelar e calcular as perdas reais para cada segmento da infra-estrutura, consideram-se as mesmas divididas em três categorias: (i) perdas de base que ocorrem através de fugas indetectáveis com os equipamentos de detecção disponíveis – tipicamente caracterizadas por caudais baixos e de longa duração, resultando em grandes volumes de água perdida; (ii) perdas por fugas e roturas reportadas – tipicamente caracterizadas por caudais elevados e curta duração, resultando em volumes moderados; e (iii) perdas por fugas e roturas não reportadas – tipicamente caracterizadas por caudais médios e volumes dependentes da política de controlo activo de fugas seguida pela entidade gestora (*cf.* Quadro 2.1).

Os parâmetros necessários ao cálculo de perdas reais inevitáveis médias (PRIM) nas diferentes secções da infra-estrutura foram determinados por Lambert *et al.* (1999), com base na análise estatística de dados internacionais publicados, relativos a 27 sistemas de abastecimento, ligados a diferentes origens de água e localizados em 20 países diferentes. Estes resultados estão apresentados no Quadro 2.2.

Quadro 2.1 – Parâmetros necessários para o cálculo de perdas reais inevitáveis médias (PRIM) para os diferentes componentes do sistema (Lambert *et al.*, 1999).

Componentes da infra-estrutura	Perdas de base (fugas indetectáveis)	Perdas em fugas e roturas reportadas	Perdas em fugas e roturas não reportadas
Condutas Principais	Comprimento Pressão Taxa mínima de perdas/km*	Número/ano Pressão Caudal médio* Duração média	Número/ano Pressão Caudal médio* Duração média
Ramais de serviço (da conduta principal até ao limite da rua)	Número Pressão Taxa mínima de perdas/ramal*	Número/ano Pressão Caudal médio* Duração média	Número/ano Pressão Caudal médio* Duração média
Ramais de serviço (do limite da rua até ao contador dos clientes)	Comprimento Pressão Taxa mínima de perdas/km*	Número/ano Pressão Caudal médio* Duração média	Número/ano Pressão Caudal médio* Duração média

\*para uma pressão média.

Quadro 2.2 – Valores dos parâmetros usados no cálculo de perdas reais inevitáveis médias (PRIM) para os diferentes componentes do sistema (Lambert *et al.*, 1999).

Componentes da infra-estrutura	Perdas de base (fugas indetectáveis)	Perdas em fugas e roturas reportadas	Perdas em fugas e roturas não reportadas
Condutas Principais	20 litros/km/h*	0.124 roturas/km/ano a 12 m <sup>3</sup> /h* por 3 dias de duração	0.006 roturas/km/ano a 6 m <sup>3</sup> /h* por 50 dias de duração
Ramais de serviço (da conduta principal até ao limite da rua)	1.25 litros/ramal/h*	2.25/1000 ramal/ano a 1.6 m <sup>3</sup> /h* por 8 dias de duração	0.75/1000 ramal/ano a 1.6 m <sup>3</sup> /h* por 100 dias de duração
Ramais de serviço (do limite da rua até ao contador dos clientes), para comp. médio. de 15 m.	0.50 litros/ramal/h*	1.5/1000 ramal/ano a 1.6 m <sup>3</sup> /h* por 9 dias de duração	0.50/1000 ramal/ano a 1.6 m <sup>3</sup> /h* por 101 dias de duração

\*todos os caudais estão calculados para a pressão de 50 m.

Os sistemas de abastecimento com boas condições infra-estruturais não apresentam a mesma frequência de ocorrência de roturas, nem o mesmo caudal médio perdido. No entanto, as fugas enterradas, não detectáveis (de base), dominam os valores calculados para as PRIM, e análises de sensibilidade mostram que diferenças nos parâmetros (*cf.* Quadro 2.2) usados no cálculo dos componentes das fugas e roturas exercem pouca influência nos resultados finais das PRIM (Lambert *et al.*, 1999).

O Quadro 2.3 apresenta os resultados da multiplicação dos parâmetros do Quadro 2.2, por componente do sistema e por tipo de fuga, com base numa pressão média de operação de 50 m, e recorrendo a conversões convenientes de unidades.

Quadro 2.3 – Valores dos componentes de perdas reais inevitáveis médias (PRIM) para os diferentes componentes do sistema (Lambert *et al.*, 1999).

Componentes da infra-estrutura	Perdas de base (fugas indetectáveis)	Perdas em fugas e roturas reportadas	Perdas em fugas e roturas não reportadas	PRIM Total	Unidades
Condutas Principais	9.6	5.8	2.6	18	litros/km conduta/ dia/m de pressão
Ramais de serviço (da conduta principal até ao limite da rua)	0.60	0.04	0.16	0.80	litros/ramal/ dia/m de pressão
Ramais de serviço (do limite da rua até ao contador dos clientes)	16.0	1.9	7.1	25	litros/km conduta/dia/m de pressão

São várias as combinações possíveis para apresentação dos coeficientes listados no Quadro 2.3 e uma das formas mais básicas é descrita pela Equação (2.1), que quantifica as perdas reais inevitáveis médias em litros/dia, quando o sistema está sob pressão:

$$PRIM = (18 \cdot L_m + 0.80 \cdot N_c + 25 \cdot L_p) \cdot p \quad (2.1)$$

em que

- $L_m$  : comprimento médio das condutas principais do sistema (km);
- $N_c$  : número de ramais de serviço na zona (-);
- $L_p$  : comprimento total dos ramais entre o limite da propriedade e o contador dos clientes (km);
- $p$  : pressão média de operação à entrada dos contadores (m).

Alegre *et al.* (2004), com vista a facilitar a determinação dos parâmetros usados no cálculo da PRIM, apresentam uma nova definição do parâmetro  $L_p$ , que passa a representar o comprimento médio dos ramais em m, e será designado por  $L'_p$ . Esta alteração implica na utilização da Equação (2.2) para o cálculo de perdas reais inevitáveis médias, em l/ramal/dia:

$$PRIM = \left( 18 \cdot \frac{L_m}{N_c} + 0.70 + 0.025 \cdot L'_p \right) \cdot p \quad (2.2)$$

onde

- $L'_p$  : comprimento médio dos ramais, entre a conduta principal e o contador do cliente (m);
- $N_c/L_m$  : densidade de ramais de serviço ( $\text{km}^{-1}$ ).

Ambas as formas aparecem na literatura especializada, estando discriminadas e comentadas em Lambert e McKenzie (2002).

As Equações (2.1) e (2.2) são fórmulas práticas e de fácil utilização para avaliar o limite inferior de perdas reais que pode ser tecnicamente obtido para um determinado sistema, para uma determinada pressão de serviço. Lambert (2003) recomenda a Equação (2.1) como a mais fiável na estimativa de perdas reais inevitáveis médias em sistemas de abastecimento (i) bem monitorizados e com boas condições infra-estruturais, (ii) com mais de 5000 ramais de serviço, (iii) com densidade de ramais superior a 20 por quilómetro e (iv) com pressão média de serviço superior a 25 m.

### **2.2.2.3 Perdas Reais Correntes Médias (PRCM)**

As Perdas Reais Correntes Médias (PRCM, ou na terminologia anglo-saxónica, *Current Annual Real Losses*) são as perdas reais que efectivamente ocorrem no sistema durante o período em análise. São normalmente apresentadas em m<sup>3</sup>/ano, ou m<sup>3</sup>/dia em sistemas sob pressão.

Quando expressas por unidade de pressão, frequentemente em l/ramal/dia passam a representar o Indicador Técnico de Perdas Reais (ITPR, ou na terminologia anglo-saxónica, *Technical Indicator for Real Losses*).

O ITPR corresponde a uma medida de desempenho básica tradicional com grande aplicabilidade, no entanto, com resultados variáveis com: (i) a pressão de serviço; (ii) a localização dos contadores dos clientes; e (iii) a densidade de ramais de serviço do sistema.

### **2.2.2.4 Índice Infra-estrutural de Fugas (IIF)**

O Índice Infra-estrutural de Fugas (IIF, ou na terminologia anglo-saxónica, *Infrastructure Losses Index*) é dado pela relação entre o indicador técnico de perdas reais e as perdas reais inevitáveis médias calculadas para a pressão de serviço, admitindo continuidade do abastecimento do sistema

$$IIF = \frac{ITPR}{PRIM} \quad (2.3)$$

Este é um indicador de desempenho adimensional que avalia, efectivamente, como uma entidade gestora está a efectuar o controlo de perdas reais, sob o regime corrente de pressões no sistema. Espera-se que o IIF atinja valores superiores à unidade, e quanto mais próximo deste limite, menor são as perdas reais do sistema.

McKenzie e Lambert (2004) salientam a importância de que um bom resultado deste parâmetro não implica que as pressões estejam a ser efectivamente bem geridas. Normalmente, é possível reduzir as perdas reais com um controlo efectivo de pressões, o que não se reflecte na alteração do valor do IIF. Este indicador de desempenho beneficia, de certa forma, os sistemas de abastecimento que funcionam com pressões elevadas, em detrimento daqueles onde se implementaram medidas efectivas de controlo e gestão de pressões.

No entanto, a receptividade das entidades gestoras de sistemas de abastecimento de água em todo o mundo, ao adoptarem o IIF como o seu indicador de desempenho de referência para as perdas reais, evidencia a sua importância real para a indústria da água. Tanto a teoria como a prática de muitas entidades gestoras em vários países mostram que o IIF pode ser usado com confiança para comparações internacionais, nacionais ou mesmo internas, em sistemas de distribuição com mais de 5000 ramais de serviço, com pressão média de serviço superior a 25 m e com mais de 20 ramais por quilómetro (McKenzie e Lambert, 2004).

### 2.2.2.5 Nível Económico de Perdas Reais (NEPr)

Em todos os sistemas de distribuição de água há um nível (volume) de perdas abaixo do qual não se justifica aumentar o investimento para redução de perdas reais de água. Abaixo deste nível, o volume de água poupado com uma determinada actividade de controlo de perdas é inferior ao custo adicional dispendido para a execução desta actividade (Trow e Farley, 2003).

Este ponto é conhecido como o Nível Económico de Perdas Reais (NEPr, ou na terminologia anglo-saxónica, *Economic Level of Real Losses*), sendo atingido quando se estabelece um equilíbrio entre o custo do volume de água perdido (em perdas reais) e o custo das actividades responsáveis pela minimização destas perdas. A Figura 2.3 apresenta graficamente, de forma simplificada, o conceito de nível económico de perdas em termos de custos totais (o custo da água mais o custo do controlo activo de perdas) versus nível de perdas. O nível económico de perdas encontra-se no ponto em que as duas curvas de custos têm declives simétricos.

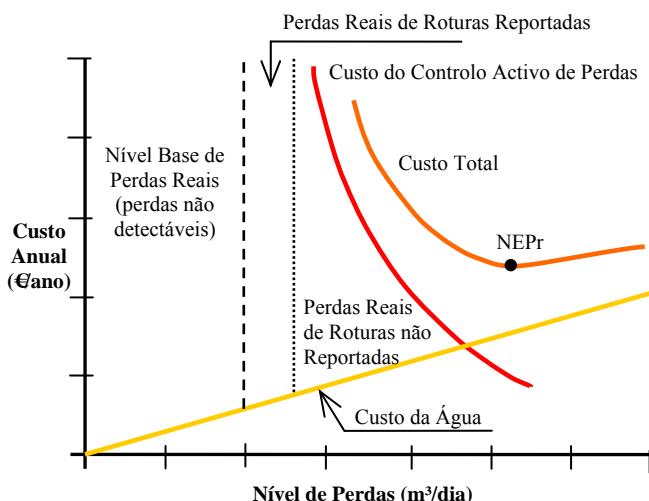


Figura 2.3 – Nível Económico de Perdas Reais (adaptado de Alegre *et. al.*, 2005).

A definição do NEPr requer uma análise de custo marginal assim como a recolha de dados históricos suficientes que permitam que este indicador seja definido com fiabilidade para cada zona de abastecimento (Trow e Farley, 2003). É igualmente importante analisar como a água é avaliada pela entidade gestora (i.e., a política de custos adoptada), o que pode variar de uma região para outra, ou até mesmo, dentro de diferentes áreas da mesma região.

### 2.2.3 Perdas Aparentes

As perdas aparentes (ou perdas não físicas de água) são constituídas pelos consumos não autorizados (i.e., furto a uso ilícito) e pelos erros medição dos contadores. Farley (2001) apresenta uma lista das componentes que contribuem para o aumento de perdas aparentes de água em sistemas de distribuição:

- (i) **sobreavaliação da produção** – causada pela inexistência ou uso inadequado de medidores de caudal, ou por programas de calibração inadequados para os volumes medidos;
- (ii) **subavaliação do consumo** – causada por contadores sobredimensionados, contadores pouco fiáveis ou de má qualidade, contadores avariados, política inadequada de manutenção e substituição dos contadores, política inadequada de leitura dos contadores, subavaliação de origens de abastecimento ou do uso de serviço;
- (iii) **furto de água** – causado por ligações ilícitas, destruição ou desvio (i.e., *bypass*) dos contadores;
- (iv) **desperdício dos utentes** – motivado por uma política inadequada de medição dos consumos dos clientes, política de preços fixos ou fontes subsidiadas, tradições culturais e sociais e política inadequada de educação da comunidade.

O cálculo do volume de perdas aparentes é baseado em testes estruturados por amostragem, ou estimados por um procedimento local robusto, que deve ser definido com a finalidade de ajustar os resultados. Lambert (2001) reporta alguns valores de perdas aparentes como percentagem do volume de água entrada no sistema (e.g., Malásia, 9%; Coreia, 9.2% em 1998, prevendo 3% em 2011; e Austrália, 1% a 3%). Contudo, melhor que estimar as perdas aparentes como uma percentagem do volume de água entrada no sistema baseado em resultados de outras entidades gestoras, deve-se avaliar e controlar as diversas componentes de perdas aparentes para o sistema em causa.

## 2.3 CONTROLO DE PERDAS

### 2.3.1 Introdução

O sucesso de uma estratégia de controlo de perdas passa, em primeiro lugar, pela compreensão de todas as componentes de perdas de água (e.g., fugas, ligações ilícitas) e dos seus significados relativos. Só assim, podem ser desenvolvidos planos de acção para responderem e solucionarem a cada uma das causas de perdas (Farley, 2001).

Tipicamente, as metodologias de controlo de perdas consideram apenas a dimensão económica desprezando ou considerando os outros pontos de vista (e.g., ambiental, social) como secundários e directamente relacionados.

Em termos técnicos, o controlo de perdas reais é mais complexo do que o de perdas aparentes. No que se refere às perdas aparentes, o que está em causa é apenas uma análise económico-financeira do problema, uma vez que não estão associados riscos de contaminação da água (problema de saúde pública) ou perdas efectivas de água (problemas ambientais). Em contrapartida, as perdas reais requerem não só uma análise de custo/benefício do problema, como também uma avaliação associada à qualidade da água e ao desperdício de um recurso natural tão precioso como é a água.

### 2.3.2 Controlo de perdas Reais

#### 2.3.2.1 Acções Propostas para o Controlo de Perdas Reais

A diferença entre as Perdas Reais Inevitáveis Médias (PRIM) e o Perdas Reais Correntes Médias (PRCM) representa o volume de perdas reais potencialmente recuperável, que pode ser significativamente reduzido através da implementação de quatro acções propostas pelo grupo de trabalho da IWA (Figura 2.4): (i) o controlo da pressão; (ii) o controlo activo de fugas (e.g., campanhas de detecção); (iii) a velocidade e qualidade das reparações; e (iv) a gestão dos recursos e da infra-estrutura (selecção, instalação, manutenção, reconstrução e substituição).

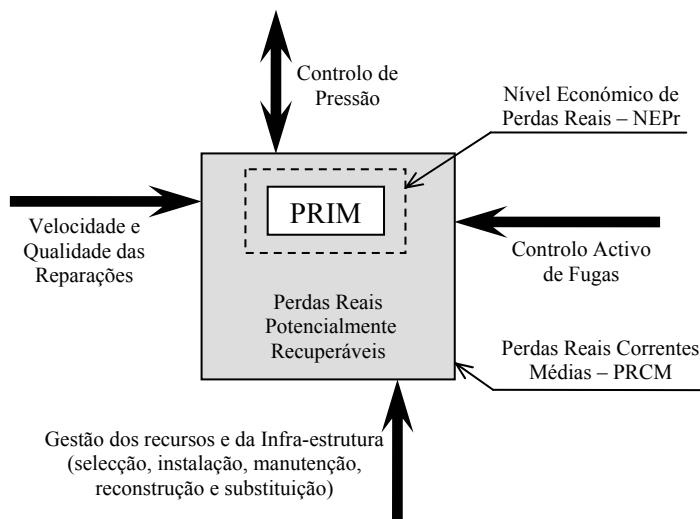


Figura 2.4 – Quatro métodos básicos de controlo de perdas reais (adaptado de Fanner, 2004).

#### 2.3.2.2 Controlo de Pressão

Embora a pressão seja um parâmetro de fácil monitorização numa rede de distribuição, os estudos estatísticos de fugas não apresentam nenhuma referência à pressão média de funcionamento do sistema, excepto no Japão, onde a relação entre a pressão e o caudal das fugas é reconhecida explicitamente. Possivelmente, essa falta de estatísticas sobre a relação pressão / caudal de fuga leva a que muitas entidades gestoras ignorem efectivamente as pressões de operação ao definirem a estratégia de controlo de perdas para o seu sistema (Lambert, 2000).

Thornton (2003) considera de grande importância a sensibilização das entidades gestoras para o controlo da pressão em sistemas de distribuição de água como uma prática corrente com vista a:

- (i) **assegurar a ocorrência dos padrões mínimos de pressão;**
- (ii) **identificar e minimizar as oscilações de pressão** – que resulta na redução da frequência de novas fugas e aumenta a vida útil da infra-estrutura;
- (iii) **reduzir as pressões excessivas** – que resulta na redução dos caudais de fuga dos componentes do consumo, da frequência de ocorrência de novas fugas e da sua taxa natural de crescimento, aumentando, consequentemente, a vida útil da infra-estrutura.

A uniformização e o controlo da pressão podem ser conseguidos (Covas, 1998): (i) pela optimização de esquemas de bombagem; (ii) pela utilização de grupos com velocidade de rotação variável; (iii) pela instalação de válvulas redutoras de pressão; ou (iv) pela subdivisão da rede em zonas definidas por patamares de pressão de acordo com a sua topografia, sendo esta última a mais utilizada. A grande vantagem do uso de válvulas redutoras de pressão relativamente aos outros métodos é a de se limitar a pressão máxima a jusante não obrigando necessariamente à perda total de energia, podendo funcionar com uma pressão pré-especificada.

O controlo das pressões é consequentemente um dos princípios básicos de uma política de controlo eficaz de fugas (Araujo *et al.*, 2004b). Lambert (2000) salienta que entidades gestoras que usam, ou pretendem usar o controlo de pressão, como parte da sua estratégia de controlo de perdas, deverão considerar os seguintes aspectos: (i) a importância de manter as pressões consistentes e com variações mínimas, (ii) a relação entre a pressão máxima e a taxa de ocorrência de novas fugas, (iii) a relação entre a pressão e o caudal das fugas existentes, (iv) a avaliação dos efeitos do controlo da pressão na frequência de ocorrência de fugas, no caudal de fuga e no consumo, e (v) a influência de padrões mínimos de serviço, e da topografia.

### **Importância de Pressões Consistentes**

A ocorrência de mudanças bruscas de pressão repetidas vezes aumentam a frequência do aparecimento de novas roturas e reduzem a vida útil média da infra-estrutura de abastecimento de água. Isto pode ser demonstrado calculando as frequências de novas roturas nas condutas (por 100 quilómetros de conduta/ano) e nos ramais de serviço (por 1000 ramais/ano), e comparando-as com valores de referência de outros sistemas. Numa situação extrema, onde sejam comparados um sistema com abastecimento intermitente com um sistema com abastecimento contínuo, ambos à mesma pressão média de serviço, o primeiro sistema pode apresentar uma frequência de ocorrência de roturas dez vezes (ou mais) superior aos valores esperados para o segundo (Lambert, 2000). Evitar acentuadas oscilações de pressão frequentes pode ser considerado o objectivo mais importante numa

política de gestão da pressão. Sempre que possível se deve optar por associar reservatórios às estações elevatórias do que instalar sobrepressoras que bombeiam directamente para a rede de distribuição.

### **Relação entre a Pressão Máxima e a Frequência de Ocorrência de Novas Fugas**

Não existe nenhuma relação explícita entre a pressão máxima e a frequência de ocorrência de novas fugas. Contudo, evidências mostram que pressões elevadas em sistemas sujeitos ao abastecimento contínuo resultam em frequências de ocorrência de fugas e roturas mais elevadas e, consequentemente, em custos de reparações superiores.

A Figura 2.5 apresenta a variação da frequência de ocorrência de roturas em função da pressão média de serviço em condutas principais em zonas de medição e controlo e para sistemas de abastecimento de grande dimensão (Reino Unido). Os resultados mostram que, em sistemas com abastecimento contínuo, a frequência de roturas nas condutas principais aumenta rapidamente quando a pressão excede os 35 ou 40 m tendo uma variação exponencial com a pressão.

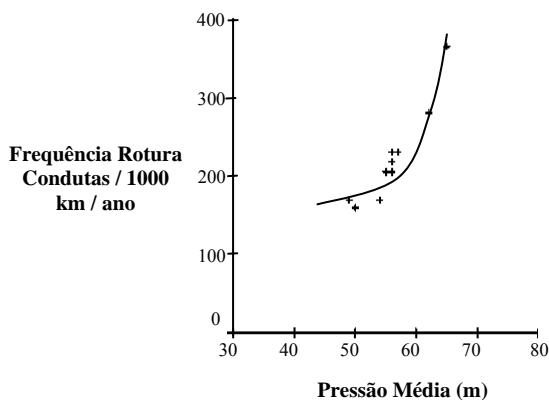


Figura 2.5 – Relação entre frequência de rotura de condutas e a pressão média de serviço (adaptado de Lambert, 2000).

De seguida mostram-se, respectivamente, os resultados de três análises apresentadas por Lambert (2000) e uma outra apresentada por Araujo (2005), que reforçam a importância de se controlar os níveis de pressão nos sistemas de abastecimento como forma de controlar o caudal perdido pelas fugas e roturas:

- (i) uma redução de 40% na pressão de um sector da rede de abastecimento de uma cidade Australiana reduziu em 55% a frequência de ocorrência de novas roturas em condutas principais e ramais;
- (ii) quando a pressão média no sistema de distribuição de *Ecowater* (*Auckland*, Nova Zelândia) foi reduzida de 71 para 54 m, a frequência de ocorrência de novas fugas em condutas principais da rede atingiu o valor mais baixo em oito anos;

- (iii) em oito sectores com 140 km de condutas no Brasil, que foram submetidos a um controlo de pressão, a frequência de ocorrência de novas fugas em condutas principais e em ramais de serviço foi reduzida de 155 para 95 por mês.
- (iv) a ZMC da Laje no Conselho de Oeiras – Portugal (com uma população equivalente de 1500 habitantes), após ser submetida a uma redução da pressão à entrada de 80 para 55 m, apresentou uma redução média de 42% nos caudais de fuga, (i.e., de uma média de  $1.16 \text{ m}^3/\text{h}$  para  $0.67 \text{ m}^3/\text{h}$ ) e uma redução na frequência de ocorrência de novas roturas de doze para uma por ano.

### Relação entre a Pressão e o Caudal de Fuga

Com base no princípio da conservação da energia obtém-se a lei de vazão através de um orifício de pequenas dimensões com saída para atmosfera, que estabelece a relação do caudal (ou velocidade), com a raiz quadrada da pressão:

$$Q_F = C_d \cdot A \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H} \quad (2.4)$$

onde

- $Q_F$  : caudal de fuga através de um orifício ( $\text{m}^3/\text{s}$ );
- $C_d$  : coeficiente de vazão do orifício (-);
- $A$  : área do orifício ( $\text{m}^2$ );
- $g$  : aceleração da gravidade ( $\text{m/s}^2$ );
- $H$  : carga hidráulica sobre o eixo do orifício (m).

Neste contexto, muitos engenheiros assumem, incorrectamente, que os caudais de fuga em sistemas da distribuição variam com a raiz quadrada da pressão e, por conseguinte, são pouco sensíveis às mudanças de pressão no sistema. Por outro lado, o pressuposto de que o coeficiente de vazão é constante para um orifício de dimensão fixa não é necessariamente válido: o coeficiente de vazão  $C_d$  varia com o tipo de escoamento (i.e., regime laminar ou turbulento), dependendo assim do número de Reynolds.

Lambert (2000) apresenta uma série de resultados de ensaios numa conduta de cobre com 15 mm de diâmetro com um orifício lateral de 1 mm, que mostram a relação entre o coeficiente de vazão e o número de Reynolds. Esta série particular de resultados mostra um rápido crescimento do  $C_d$  até 0.80, para um incremento do  $R_e$ , dentro da faixa de escoamento laminar (i.e.,  $R_e < 3000$ , obtido a partir de um caudal de fuga  $Q_F < 10 \text{ l/hora}$ ), evidenciando que os caudais perdidos por fugas pequenas podem ser muito sensíveis às mudanças de pressão por causa das mudanças no  $C_d$ . Na faixa do escoamento turbulento (i.e.,  $R_e > 8000$  com  $Q_F > 30 \text{ l/hora}$ ) o  $C_d$  permanece constante e aproximadamente igual a 0.75, enquanto que na zona de transição do escoamento (i.e.,  $10 < Q_F < 30 \text{ l/hora}$ ),  $C_d$  varia entre 0.70 e 0.85, conforme ilustrado na Figura 2.6.

Segundo Lambert (2000), outra razão questionável quanto à relação quadrática entre o caudal de fuga e a pressão é o facto do coeficiente de vazão também depender da área do

orifício, e para alguns tipos de condutas e muito em particular para as condutas plásticas, esta área pode variar com a pressão (Lambert, 2000).

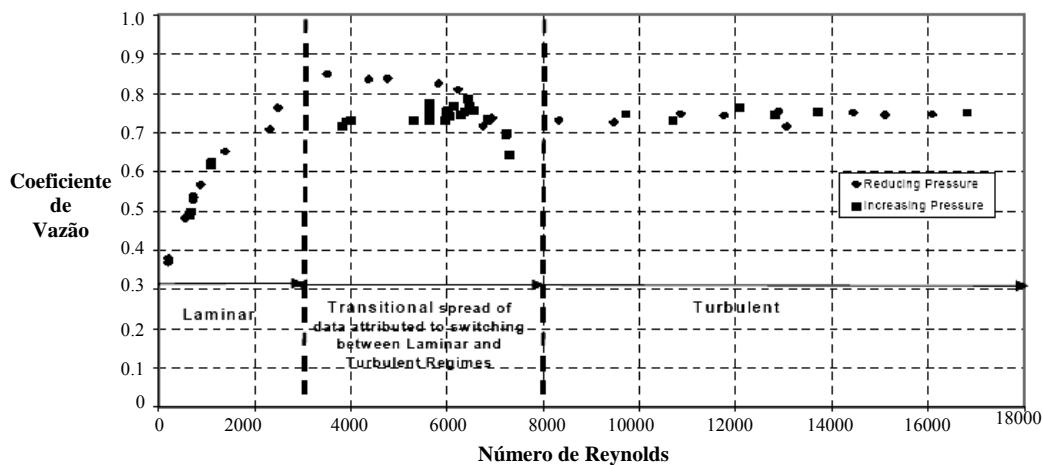


Figura 2.6 – Coeficiente de vazão de um orifício com 1 mm de diâmetro numa conduta de cobre de 15 mm vs. Número de Reynolds (adaptado de Lambert, 2000).

Para definir a relação da pressão com o caudal de fuga, quer para testes de laboratório ou para fugas em sistemas de distribuição, Lambert (2000) recomenda o uso da seguinte equação:

$$\frac{Q_{F_I}}{Q_{F_0}} = \left( \frac{H_I}{H_0} \right)^{NI} \quad (2.5)$$

sendo

$NI$  : expoente da pressão (-);

$0$  e  $I$  : índices que referem-se a duas situações distintas de operação dependendo das características da fuga e do número de Reynolds.

A Figura 2.7 apresenta a relação entre a taxa do caudal de fugas e a taxa de pressão para  $NI$  variando entre 0.50 e 2.50, conforme a Equação (2.5).

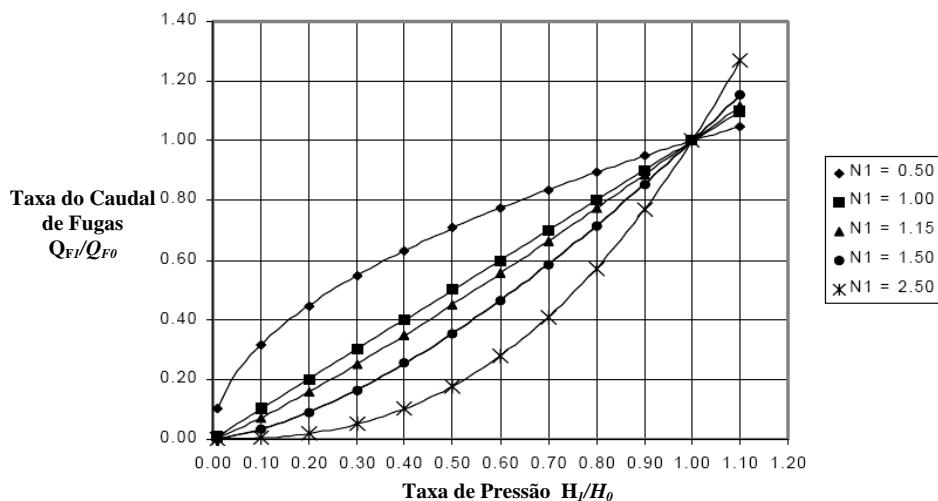


Figura 2.7 – Relação entre a taxa de pressão e a taxa de fugas em função de  $NI$ , (adaptado de Lambert, 2000).

Em geral, fugas de grandes dimensões (roturas) em tubagens de metal correspondem a um expoente  $N1$  próximo de 0.5, enquanto pequenas fugas em juntas e acessórios da rede e grandes fugas em condutas flexíveis, usualmente apresentam um expoente  $N1$  de 1.5 ou superior. Consequentemente, apesar do expoente  $N1$  poder variar de 0.5 a 2.5 para fugas isoladas, a relação média da pressão/ caudal de fuga, para grandes sistemas de distribuição constituídos por condutas com diferentes materiais, idades e diâmetros, assume-se normalmente linear, ou seja, com  $N1 = 1$  (Thornton, 2004).

### **Efeitos do Controlo da Pressão no Consumo e na Facturação**

O controlo das pressões em sistemas de distribuição terá sempre influência nos caudais de consumo.

A presença ou a ausência de reservatórios de armazenamento domiciliários no topo de edifícios (tipicamente utilizados no Reino Unido) influencia a relação entre a pressão, e os componentes do consumo e as fugas nas tubagens dos consumidores. As componentes do consumo também podem ser descritos usando a aproximação do exponente  $N1$  (e.g., os volumes consumidos por máquinas de lavar são fixos, e portanto, independentes da pressão com  $N1 = 0$ ; o caudal de uma torneira varia com a raiz quadrada da pressão, ou seja, com  $N1 = 0.5$ ).

#### **2.3.2.3 Controlo Activo de Fugas**

Segundo Alegre *et al.* (2004), o controlo activo de fugas é uma estratégia de controlo de perdas, de natureza periódica ou contínua, através da qual se procede à monitorização da rede, permitindo a detecção e a reparação de eventuais fugas e roturas não reportadas. Este procedimento não inclui as reparações de roturas reportadas (i.e., aquelas comunicadas ao sector competente da entidade gestora, quer pelo próprio pessoal, quer por terceiros), nem as resultantes da observação visual de fugas ou da verificação de queixas de clientes relativas à interrupção ou à redução de pressão no abastecimento.

No início do Século XX, técnicos e engenheiros realizavam inspecções regulares casa a casa à procura de evidências de fugas, cujo método se baseava na escuta directa com uma vareta de madeira, que em contacto com a conduta ou os acessórios da rede, permitia ouvir os sons provocados pelas fugas de água. Esta técnica, além de pouco eficiente, exigia muito tempo e detectava um número excessivo de fugas falsas (Pilcher, 2003).

Ao longo dos anos, com o aparecimento de novas técnicas e equipamentos de medição, com base na delimitação de zonas de medição e controlo, na utilização de microfones de solo, de *loggers* acústicos, de *loggers* de caudal e pressão, de correladores digitais de ruídos, na injecção de gás traçador, permitiu a modernização do processo de controlo activo de fugas, tornando-se cada vez mais eficiente e eficaz a redução de perdas reais em sistemas de distribuição de água.

Apresenta-se no Capítulo 3 uma descrição pormenorizada do controlo activo de fugas, actualmente utilizada pela EPAL, na Cidade de Lisboa, através de uma Campanha de Detecção de Fugas (CDF).

#### **2.3.2.4 Velocidade e Qualidade das Reparações**

Com o avanço das técnicas de detecção de fugas nos últimos anos, o tempo necessário para localizar as fugas tem sido gradualmente reduzido. Neste contexto, é de extrema importância que sejam realizadas adequadamente as reparações, tão rapidamente quanto possível, a fim de se minimizarem os custos associados às perdas de água e as perturbações causadas aos consumidores (Pilcher, 2003).

É importante para um sector de controlo de perdas estabelecer e avaliar, periodicamente, metas específicas para a velocidade e qualidade dos trabalhos de reparações de fugas detectadas. Torna-se importante uma gestão integrada de forma a avaliar os benefícios económicos associados à redução do tempo necessário para reparar uma fuga, que induzirá certamente a redução do volume de água perdido. No entanto tem-se verificado que a partir de um determinado nível mínimo de fugas, o aumento dos custos das reparações poderá não compensar o ganho conseguido com a redução de perdas de água, embora esta análise deva ser cada vez mais cuidadosa e vista a longo prazo.

### **2.3.3 Controlo de perdas Aparentes**

#### **2.3.3.1 Componentes de Perdas Aparentes**

Rizzo *et al.* (2004) referem as quatro componentes principais de perdas aparentes propostas pelo Grupo de Trabalho de Perdas de Água da IWA: (i) a subavaliação dos contadores (i.e., erro de exactidão ou contadores sobredimensionados); (ii) os erros de leitura dos contadores (i.e., erros na transferência de dados entre o contador e o sistema de facturação); (iii) os erros nos dados de consumo medidos (e.g., necessidade de análise dos dados recolhidos antes do seu uso na facturação ou no balanço hídrico; e (iv) o consumo não autorizado (i.e., o furto de água e o consumo ilícito).

A Figura 2.8 apresenta as referidas quatro componentes de perdas aparentes assim como as Perdas Aparentes Correntes (i.e., o volume de perdas aparentes que efectivamente ocorrem no sistema analisado), representadas pelo rectângulo maior, as Perdas Aparentes Inevitáveis (PAI, ou na terminologia anglo-saxónica, *Unavoidable Apparent Losses*), representadas pelo rectângulo menor, o Nível Económico de Perdas Aparentes (NEPa, abaixo do qual o custo com as acções de controlo de perdas aparentes passa a não ser compensado pelo ganho com a redução de perdas), representado pelo rectângulo intermédio.

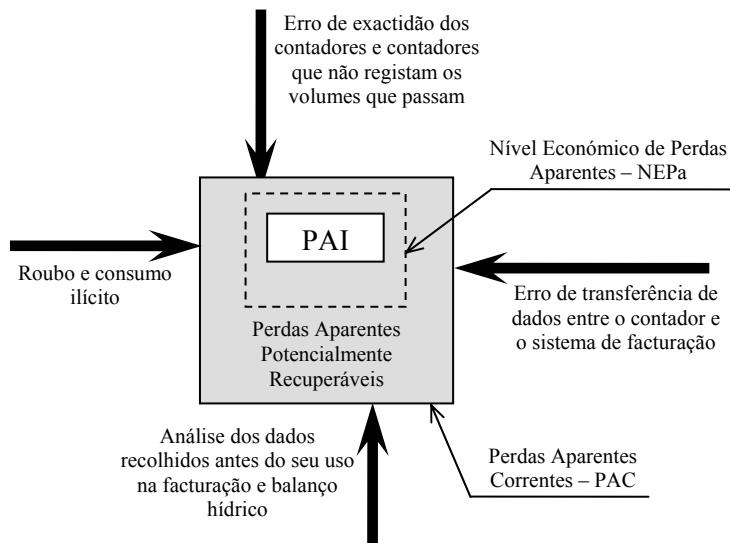


Figura 2.8 – Metodologia de controlo de perdas aparentes (adaptado de Rizo *et al.*, 2004).

Actualmente, existem diversas técnicas e ferramentas que permitem monitorizar e combater mais eficientemente as perdas aparentes, salientando-se: (i) programas de cálculo específicos, que permitem quantificar e analisar as componentes de perdas de água aparentes face a determinação dos valores de caudal medidos (e.g., balanço hídrico); e (ii) os contadores de leitura automática, que apesar do erro de medição associado ao contador, permitem minimizar, e mesmo eliminar, os erros de leitura, transferência e análise de dados.

### 2.3.3.2 Problemas Relacionados com os Contadores de Água

Muitos problemas ocorridos em sistemas de abastecimento de água são causados pelo mau funcionamento ou pela medição por defeito dos contadores dos clientes. Segundo Rizzo *et al.* (2004), os defeitos nos contadores dependem do *layout* de instalação, da idade e histórico de utilização, dos efeitos causados pelo sistema de condutas, da classe e tipo do contador e do tamanho do equipamento.

**Layout de instalação** – Quanto a este aspecto destacam-se a posição e as incorrecções na instalação que afectam significativamente o desempenho de um contador. Quanto à posição de instalação, horizontal ou verticalmente, devem sempre atender às especificações do aparelho. Em relação à aproximação do caudal ao contador, devem ser tidas em conta as recomendações dos fabricantes sobre o comprimento mínimo de trecho recto imediatamente a montante do contador (cerca de dez vezes o diâmetro da conduta) de forma a garantir um nível de turbulência aceitável neste trecho do ramal.

**Idade do contador e histórico de utilização** – A idade do contador aliada à qualidade da água do sistema influenciam o seu desempenho (e.g., uma água particularmente agressiva, reduzirá a vida útil do equipamento). Em alguns casos extremos, a acumulação de sedimentos pode interferir no funcionamento e medição do contador, alterando os registos de caudal.

**Efeitos do sistema de condutas** – O funcionamento de um contador depende da relação entre o caudal que o atravessa e o seu caudal de dimensionamento (i.e., quanto mais próximo do caudal de referência melhor o seu desempenho e menores as incertezas nas medições). No entanto, ressalta-se que a exactidão do contador é muito mais afectada para caudais inferiores, do que para caudais superiores ao caudal de referência. Neste contexto, o tipo de sistema de condutas dentro dos edifícios interferem no desempenho do contador, nomeadamente (i) sistemas ventilados (i.e., que contam com um tanque aberto ou cisterna, que beneficia a medição de caudais inferiores ao de projecto), e (ii) sistema não ventilados (i.e., sem a presença de cisternas, onde se parte do princípio que todos os dispositivos e torneiras recebem água com a mesma pressão à entrada).

**Classe e tipo dos contadores** – Os contadores estão divididos em quatro classes (classes “A” a “D”) em função de um caudal nominal. A classe “D” oferece maior exactidão nas medições, ou seja, começa a registar caudais mais baixos, e consequentemente, reporta maior rigor na medição do caudal. Quanto ao tipo, destacam-se: (i) os contadores volumétricos – que utilizam um mecanismo câmara-pistão e são geralmente mais eficientes para caudais baixos, mas que têm a desvantagem de se deteriorarem mais rapidamente com o tempo e (ii) os contadores do tipo turbina – que utilizam um molinete, para medir a velocidade da água e consequentemente o caudal e o volume consumido. Um sistema de distribuição mal projectado pode permitir a acumulação de bolhas de ar, que, ao passarem num contador do tipo volumétrico, impõem velocidades de rotação elevadas, resultando em medições elevadas de caudal.

**Tamanho** – Tendo presente a possível necessidade de mudanças futuras de consumo e tendo em conta as perdas potenciais através dos contadores, é uma prática corrente a utilização de contadores sobre dimensionados. Nestas condições, os contadores trabalham frequentemente no limite inferior da sua escala de desempenho, tendendo a registar caudais totais significativamente inferiores aos reais.

Rizzo *et al.* (2004) sugerem que as entidades gestoras desenvolvam uma estratégia de detecção dos problemas ocorridos nos contadores, através da implementação de políticas de instalação, recolocação e selecção dos mesmos, conjuntamente com a gestão das redes de distribuição.

Actualmente, existem no mercado novos contadores (e.g., automáticos, com telemetria) que oferecem mais fiabilidade nas medições e transmissão dos dados, resultando numa redução significativa de perdas aparentes. No entanto, a decisão de adoptar novas tecnologias, o que implica a substituição de contadores existentes, deve ser sempre justificada por estudos económico-financeiros, que incluem uma análise de custo / benefício. Os ensaios de novas tecnologias, aplicáveis a áreas piloto, são uma alternativa para se avaliar os benefícios associados (Rizzo *et al.*, 2004).

## 2.4 BALANÇO HÍDRICO

### 2.4.1 Introdução

A análise do balanço hídrico é fundamental para a avaliação de perdas de água num sistema de abastecimento. Contudo, a implementação de uma política de controlo activo de perdas requer o uso de uma linguagem comum a todas as entidades envolvidas no processo. Neste contexto, apresentam-se as definições e as terminologias recomendadas pelo Grupo de Trabalho sobre Perdas de Água da IWA (Alegre *et al.*, 2004).

Para além da padronização de toda a terminologia utilizada, o referido grupo de trabalho propôs um Balanço Hídrico Padrão, que tem sido adoptado pela maioria dos especialistas internacionais e apresentado em diversos documentos sobre do tema (Hirner e Lambert, 2000; Liemberger e McKenzie, 2003; Alegre *et al.*, 2004).

### 2.4.2 Componentes do Balanço Hídrico

Na Figura 2.9 ilustram-se as principais entradas e saídas de água num sistema típico de abastecimento, desde a captação da água bruta até ao consumo de água pelos clientes. Alguns sistemas de abastecimento serão certamente mais simples, não tendo todas as componentes representadas.

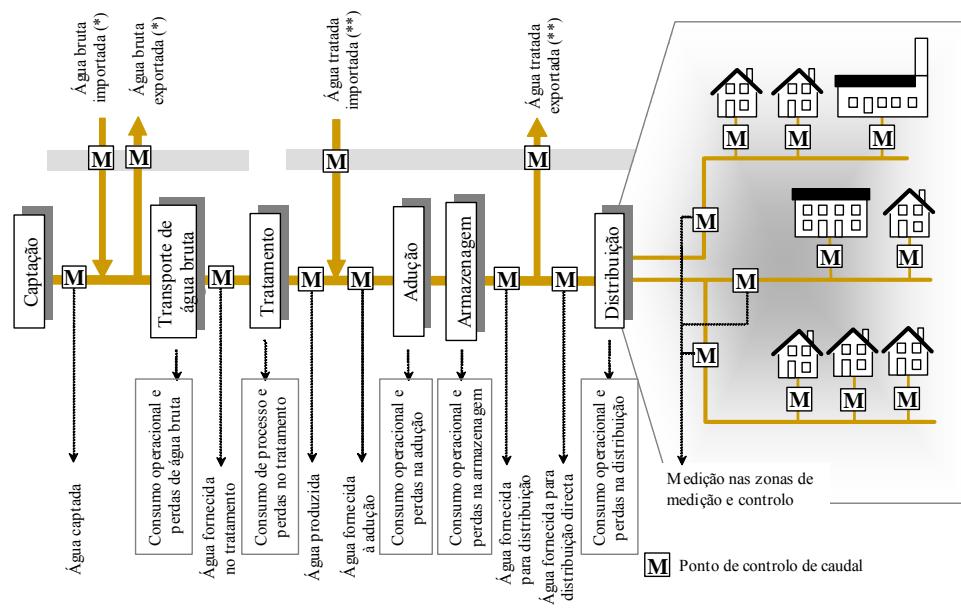


Figura 2.9 – Componentes do balanço hídrico e locais de controlo de caudal (Alegre *et al.*, 2004).

O cálculo do balanço hídrico requer estimativas dos volumes de água em cada ponto de controlo de caudal, conforme representado na Figura 2.9. Sempre que possível deve recorrer-se a medidores de caudal devidamente calibrados, no entanto, quando isso não for possível, será necessário efectuar estimativas baseadas em dados disponíveis ou aplicar outras técnicas satisfatoriamente fiáveis (Alegre *et al.*, 2004).

O balanço hídrico é, tradicionalmente, calculado para um período de 12 meses, pelo que representa a média anual de todos os seus componentes.

No Quadro 2.4 apresenta-se a terminologia recomendada por Alegre *et al.* (2004) e utilizada no presente estudo, para os componentes de cálculo do balanço hídrico de uma ou mais zonas de um sistema de abastecimento de água (e.g., sistemas de adução ou redes de distribuição).

Quadro 2.4 – Componentes do Balanço Hídrico Padrão em m<sup>3</sup>/ano (Alegre *et al.*, 2004).

A	B	C	D	E
Água entrada no sistema	Consumo autorizado	Consumo autorizado facturado	Consumo facturado medido	Água facturada
			Consumo facturado não medido	
		Consumo autorizado não facturado	Consumo não facturado medido	
			Consumo não facturado não medido	
	Perdas de água	Perdas aparentes	Consumo não autorizado	
			Erros de medição	
		Perdas reais	Perdas reais nas condutas de água bruta e no tratamento (quando aplicável)	
			Fugas nas condutas de adução e/ou distribuição	
			Fugas e extravasamentos nos reservatórios de adução e/ou distribuição	
			Fugas nos ramais (a montante do ponto de medição)	

Nota: O consumo de água por clientes registados que a pagam indirectamente através de impostos locais ou nacionais é considerado como consumo autorizado facturado para efeitos do cálculo do balanço hídrico.

Seguem as definições relativas às principais componentes do balanço hídrico apresentadas na Figura 2.9 e no Quadro 2.4 (Alegre *et al.*, 2004).

**Água captada** – Volume de água obtido a partir de captações de água bruta para entrada em estações de tratamento de água (ou directamente em sistemas de adução e de distribuição), durante o período de referência.

**Água bruta** – Importada ou exportada: volume de água bruta transferido de e para outros sistemas de adução e distribuição (as transferências podem ocorrer em qualquer ponto entre a captação e a estação de tratamento), durante o período de referência.

**Água fornecida ao tratamento** – Volume de água bruta que aflui às instalações de tratamento, durante o período de referência.

**Água fornecida à adução** – volume de água tratada que aflui ao sistema de adução, durante o período de referência.

**Água fornecida para distribuição** – Volume de água tratada que aflui ao sistema de distribuição, durante o período de referência.

**Água produzida** – Volume de água tratada que é fornecida às condutas de adução ou directamente ao sistema de distribuição, durante o período de referência. O volume de água sem tratamento prévio que é distribuído aos consumidores também deve ser contabilizado como água produzida.

**Água tratada, importada ou exportada** – Volume de água tratada transferido de e para o sistema (as transferências podem ocorrer em qualquer ponto a jusante do tratamento), durante o período de referência. Caso exista, o volume de água sem tratamento prévio que é captado e distribuído aos consumidores também deve ser contabilizado como “água tratada” no contexto do balanço hídrico.

**Água fornecida para distribuição directa** – Diferença entre a água fornecida para distribuição e a água tratada exportada (sempre que não seja possível separar a adução da distribuição, a água fornecida para distribuição directa corresponde à diferença entre a água fornecida à adução e a água tratada exportada).

**Água entrada no sistema** – Volume introduzido na parte do sistema de abastecimento de água referente ao balanço hídrico, durante o período de referência.

**Consumo autorizado** – Volume de água, medido ou não medido, fornecido a consumidores registados, à própria entidade gestora e a outros que estejam implícita ou explicitamente autorizados a fazê-lo para usos domésticos, comerciais e industriais, durante o período de referência. Inclui a água exportada. O consumo autorizado pode incluir combate a incêndios, lavagem de condutas e colectores de esgoto, lavagem de ruas, rega de espaços verdes municipais, alimentação de fontes e fontanários, protecção contra congelação, fornecimento de água para obras. Este consumo pode ser facturado ou não facturado, medido ou não medido, de acordo com a prática local. O consumo autorizado inclui as fugas de água e o desperdício, por parte de clientes registados, que não são medidos.

**Perdas de água** – Diferença entre a água entrada no sistema e o consumo autorizado. As perdas de água podem ser consideradas para todo o sistema, ou calculadas em relação a sub-sistemas como sejam a rede de água não tratada, o sistema de adução ou o de distribuição. Em cada caso as componentes do cálculo são consideradas em conformidade com a situação. As perdas de água dividem-se em perdas reais e perdas aparentes.

**Perdas reais** – Perdas físicas de água do sistema em pressão, até ao contador do cliente, durante o período de referência. O volume de perdas através de todos os tipos de fissuras, roturas e extravasamentos depende da frequência, do caudal e da duração média de cada fuga.

**Perdas aparentes** – Contabiliza todos os tipos de imprecisões associadas às medições da água produzida e da água consumida, e ainda o consumo não autorizado (por furto ou uso ilícito).

**Água não facturada** – Diferença entre a água entrada no sistema e o consumo autorizado facturado. A água não facturada inclui não só as perdas reais e aparentes, mas também o consumo autorizado não facturado.

#### 2.4.3 Metodologia de Cálculo

A metodologia recomendada pelo Grupo de Trabalho da IWA para determinação do balanço hídrico é bastante simples e pode ser resumida em nove passos de cálculo apresentados a seguir. A referência das *Colunas* (“A” a “E”) nos passos de cálculo do balanço hídrico refere-se ao Quadro 2.4.

**Passo 1** – Determinar o volume de água entrada no sistema e introduzi-lo na Coluna A;

**Passo 2** – Determinar o *consumo facturado medido* e o *consumo facturado não medido* na Coluna D; introduzir o total destes como *consumo autorizado facturado* (Coluna C) e como *água facturada* (Coluna E);

**Passo 3** – Calcular o volume de *água não facturada* (Coluna E) subtraindo a *água facturada* (Coluna E) à *água entrada no sistema* (Coluna A);

**Passo 4** – Definir o *consumo não facturado medido* e o *consumo não facturado não medido* na Coluna D; registar o total em *consumo autorizado não facturado* na Coluna C;

**Passo 5** – Somar os volumes correspondentes ao *consumo autorizado facturado* e ao *consumo autorizado não facturado* da Coluna C, e introduzir o resultado como *consumo autorizado* na Coluna B;

**Passo 6** – Calcular as *perdas de água* (Coluna B) como a diferença entre a *água entrada no sistema* (Coluna A) e o *consumo autorizado* (Coluna B);

**Passo 7** – Avaliar as parcelas do *uso não autorizado* e dos *erros de medição* (Coluna D), usando os melhores métodos disponíveis, somá-las e registar o resultado em *perdas aparentes* (Coluna C);

**Passo 8** – Calcular as *perdas reais* (Coluna C) subtraindo as *perdas aparentes* (Coluna C) às *perdas de água* (Coluna C);

**Passo 9** – Avaliar as parcelas de *perdas reais* (Coluna D) usando os melhores métodos disponíveis (análise de caudais nocturnos, cálculo dos componentes do sistema com base na de frequência, caudal e duração das fugas e roturas, uso de simulação hidráulica), somá-las e comparar com o resultado de *perdas reais* (Coluna C).

Alegre *et al.* (2004) referem a dificuldade, evidenciada pela experiência, em efectuar o cálculo completo do balanço hídrico com uma exactidão razoável, quando para uma parte significativa dos clientes não são efectuadas leituras dos contadores. Nesses casos, o *consumo autorizado* deve ser (i) deduzido a partir de medições em amostras com um número suficiente de ligações individuais e de subcategorias representativas do ponto vista estatístico, ou (ii) avaliado a partir de medição de caudais totais em áreas discretas com uniformidade de utilizadores-tipo, de várias categorias e subcategorias. No último método, subtraem-se à *água entrada no sistema* as *perdas por fugas*, sendo estas determinadas por análise de sub-componentes dos consumos nocturnos e ajustadas de forma apropriada para as variações diurnas de pressão.

#### 2.4.4 Fiabilidade e Exactidão dos Dados

Dada a dificuldade em avaliar todos os componentes do balanço hídrico anual com a exactidão desejável e sobre a mesma base temporal, os resultados são em geral aproximados. A fiabilidade deste cálculo tende a ser maior quando os volumes de entrada são adquiridos à

outras entidades e quando toda a água distribuída é medida por contadores domiciliários bem dimensionados, mantidos e calibrados.

Sendo assim, torna-se necessário avaliar, de forma crítica, a *exactidão* e a *fiabilidade* de cada componente do balanço hídrico.

Em conformidade com a terminologia metrológica, a *exactidão* é a aproximação entre o resultado da medição e o valor convencionalmente verdadeiro da grandeza medida. Neste caso, a exactidão representa o erro relativo de uma dada grandeza, referente ao conjunto de processos de aquisição e processamento dos dados, incluindo o erro decorrente de uma eventual extração entre medidas pontuais e o valor global fornecido. Dado que em geral não é viável conhecer com rigor o erro associado a cada dado, (i.e., conhece-se com facilidade apenas a sua ordem de grandeza), a IWA recomenda o uso de uma classificação em banda para a avaliação da exactidão dos dados, conforme apresentado no Quadro 2.5.

Quadro 2.5 – Banda de exactidão dos dados (adaptado de LNEC e IRAR, 2005)

Banda de exactidão dos dados	Erro associado ao dado fornecido
0 – 5%	Melhor ou igual a $\pm 5\%$
5 – 20%	Pior do que $\pm 5\%$ , mas melhor ou igual a $\pm 20\%$
20 – 50%	Pior do que $\pm 20\%$ , mas melhor ou igual a $\pm 50\%$
> 50%	Pior do que $\pm 50\%$

Dado que alguns dados de entrada no cálculo do balanço hídrico podem ter incertezas associadas muito elevadas, LNEC e IRAR (2005) recomendam a consideração de uma classe de exactidão suplementar de 100 a 300% (pior do que  $\pm 100\%$ , mas melhor ou igual a  $\pm 300\%$ ), face às recomendadas pela IWA (Quadro 2.5).

A avaliação da qualidade dos dados deve ser complementada com a indicação da *fiabilidade* da fonte de informação, que reflecte a confiança da fonte dos dados. LNEC e IRAR (2005) recomendam a utilização da classificação apresentada no Quadro 2.6.

Quadro 2.6 – Bandas de fiabilidade da fonte de informação dos dados (LNEC e IRAR, 2005)

Banda de fiabilidade da fonte de informação	Conceito associado
*	Dados baseados em estimativas ou extrações a partir de uma amostra limitada.
**	Genericamente como a seguinte, mas com algumas falhas não significativas nos dados, tais como parte da documentação estar em falta, os cálculos serem antigos, ou ter-se confiado em registos não confirmados, ou ainda terem-se incluído alguns dados por extração.
***	Dados baseados em medições exaustivas, registos fidedignos, procedimentos, investigação ou análises adequadamente documentadas e reconhecidas como o melhor método de cálculo.

## 2.5 INDICADORES DE DESEMPENHOS

### 2.5.1 Introdução

Um indicador de desempenho (ID) é uma medida quantitativa de um aspecto particular do desempenho ou do nível de serviço de uma entidade gestora. Cada indicador corresponde a um instrumento de apoio à monitorização da eficiência e da eficácia da entidade gestora, tornando directa e transparente a comparação entre os objectivos de gestão e os resultados obtidos, simplificando assim, uma situação que de outro modo seria muito complexa (Alegre *et al.*, 2004). A eficiência mede até que ponto os recursos disponíveis são utilizados de modo optimizado para a produção dos serviços, enquanto a eficácia mede até que ponto os objectivos de gestão, definidos específica e realisticamente, foram cumpridos.

Os indicadores de desempenho constituem um instrumento corrente e largamente utilizado em muitos sectores industriais e comerciais, particularmente como suporte das decisões económico-financeiras. Contudo, apenas recentemente começaram a ser utilizados no âmbito da indústria da água. Mesmo nos países tecnologicamente mais avançados, a utilização de um conjunto comum de indicadores de desempenho, utilizado a nível nacional, está longe de ser uma prática generalizada (Alegre *et al.*, 2004).

Os indicadores de desempenho são de interesse, não apenas das entidades gestoras, mas de diversas outras entidades no âmbito do abastecimento de água, nomeadamente, os consumidores ou utilizadores directos, indirectos e pró-activos<sup>1</sup>, a Administração Pública, as entidades reguladoras e as entidades financiadoras, além de outras entidades interessadas, tais como as agências internacionais, organizações humanitárias e políticas.

A IWA, através de um grupo de trabalho formado em Maio de 1997, criou um quadro de referência para os indicadores de desempenho, estruturado de forma a satisfazer as necessidades comuns dos principais tipos de utilizadores, com especial ênfase para as entidades gestoras de sistemas de abastecimento de água. As actividades deste grupo resultaram na publicação de Alegre *et al.* (2004), que inclui um software designado por *SIGMA Lite*, que permite efectuar o cálculo destes indicadores.

### 2.5.2 Estrutura dos Indicadores

Considerando as relações entre agentes envolvidos e recursos utilizados, foram identificados cinco objectivos de gestão, os quais nortearam o Grupo de Trabalho da IWA na estruturação do sistema de indicadores:

---

<sup>1</sup> **Directos** – com quem a entidade gestora mantém uma relação de fornecedor / cliente; **Indiretos** – que não estão em ligação directa com o sistema mas que podem ser afectados por ele ou pelo seu impacte no ambiente envolvente; **Pró-activos** – que incluem organizações não governamentais de defesa do consumidor e ambientais, bem como outros grupos da sociedade civil com interesse na matéria.

- (i) proporcionar aos consumidores um nível de serviço apropriado, cumprindo políticas nacionais e regionais, requisitos estatutários ou outras obrigações;
- (ii) obter uma elevada produtividade dos recursos humanos, proporcionando-lhes oportunidades de valorização profissional e de carreira, de acordo com as qualidades e as aptidões de cada indivíduo;
- (iii) maximizar a eficiência do uso dos recursos hídricos e ambientais;
- (iv) garantir uma elevada eficiência na aplicação dos recursos financeiros;
- (v) planejar, construir, operar e manter as infra-estruturas de forma eficiente e eficaz.

Com base nestes objectivos de gestão, foi proposta uma estrutura de indicadores de desempenho de modo a permitir a sua aplicação a qualquer entidade gestora (pública, privada ou mista), independentemente da sua organização interna (*cf. Quadro 2.7*).

Quadro 2.7 – Estrutura dos indicadores de desempenho da IWA (adaptado de Alegre *et al.*, 2004).

Código de Identificação	Descrição
<i>WR</i>	Indicadores de recursos hídricos
<i>Pe</i>	Indicadores de recursos humanos
<i>Ph</i>	Indicadores infra-estruturais
<i>Op</i>	Indicadores operacionais
<i>QS</i>	Indicadores de qualidade de serviço
<i>Fi</i>	Indicadores económico-financeiros

A implementação de um sistema completo de indicadores de desempenho proposto pela IWA pode tornar-se demasiado exigente para muitas entidades gestoras. Neste contexto, Alegre *et al.* (2004) recomendam uma implementação faseada desta metodologia, mesmo nos casos em que seja possível assegurar os recursos internos necessários de uma só vez. Como orientação na definição das prioridades das entidades envolvidas, o grupo de trabalho da IWA definiu quatro níveis de indicadores de desempenho, de acordo com a sua importância para a entidade.

**Nível 1 (N1)** – Inclui um primeiro conjunto com 28 indicadores de desempenho que avalia a eficiência e a eficácia da entidade gestora.

**Nível 2 (N2)** – Constitui um conjunto adicional de 63 indicadores de desempenho que permitem um conhecimento mais pormenorizado do que os indicadores do Nível 1, para utilizadores que necessitem de uma análise mais detalhada.

**Nível 3 (N3)** – Constitui um conjunto adicional (em relação ao Nível 2) com 67 indicadores de desempenho, de maior especificidade, mas ainda relevantes para a gestão de topo da entidade gestora.

**Complementares** – Incluem-se neste grupo outros indicadores que traduzem maior detalhe específico do que os indicadores do nível 3, ou que se destinam ao nível departamental (que sejam mais dependentes da entidade gestora). Estes indicadores não estão incluídos na lista de indicadores proposta pela IWA.

Durante o “*Workshop on Performance Indicators for Water and Sewage Services: an actual tool for better management and public regulation*”, organizado pela Hydrocontrol e realizado em Sardenha em 1 e 2 Julho de 1999, diversos especialistas internacionais analisaram detalhadamente a proposta de indicadores da IWA, tendo como objectivo avaliar o nível de importância médio de cada indicador para entidades gestoras, reguladoras e para os consumidores. No “*Workshop Performance indicators for water supply services*”, da IWA, realizado em Faro, em Novembro de 1999, este assunto foi novamente debatido e procedeu-se a uma afinação dos resultados anteriores.

Neste contexto, foi reconhecida a diversidade da natureza das entidades reguladoras, particularmente no que diz respeito ao controlo financeiro das entidades gestoras. Por esta razão não foi atribuída classificação de nível à generalidade dos indicadores económico-financeiros. No que diz respeito aos consumidores, o objectivo estabelecido foi seleccionar a informação relevante para o público em geral, incluindo aquela em que os utilizadores pro-activos (e.g., organizações não governamentais de defesa do consumidor e ambientais) possam estar interessados e tenham o direito de conhecer (Alegre *et al.*, 2004).

No Anexo 1, apresenta-se a lista completa dos indicadores de desempenho propostos pela IWA, incluindo a discriminação do nível de importância proposto para cada indicador, consoante os interesses de uma entidade gestora, de uma entidade reguladora, ou pela óptica dos consumidores.

## 2.5.3 Indicadores de Perdas de Água

### 2.5.3.1 Introdução

No âmbito do controlo de perdas em sistemas de distribuição de água, Alegre *et al.* (2004) destacam a utilização de 10 dos 158 indicadores de desempenho propostos pela IWA, os quais estão inseridos em três pontos de vista distintos: um indicador de recursos hídricos (*WR*); sete indicadores operacionais (*Op*); e dois indicadores económico-financeiros (*Fi*); conforme apresentado no Quadro 2.8.

Além destes indicadores de perdas, LNEC e IRAR (2005) sugerem a utilização de um indicador de medição de caudal, nomeadamente o indicador de água não medida (*Op39*), para complementar o diagnóstico e a definição de uma estratégia de combate às perdas de água (Quadro 2.8). O grau de confiança dos valores do balanço hídrico depende em grande parte deste indicador.

Quadro 2.8 – Indicadores de desempenho relativos a perdas de água e a água não facturada – importância relativa, códigos e unidades recomendadas (Alegre *et al.*, 2004).

Nível de Importância	Recursos Hídricos	Operacional	Financeiro
Nível 1 (N1)	Ineficiência de utilização dos recursos hídricos (%) (WR1)	Perdas de água por ramal ( $m^3/ramal/ano$ ) (Op23) ou Perdas de água por comprimento de conduta ( $m^3/km/dia$ ) (Op24)	Água não facturada por volume (%) (Fi46)
		Perdas reais por ramal ( $l/ramal/dia^*$ ) (Op27) ou Perdas reais por comprimento de conduta ( $l/km/dia^*$ ) (Op28)	
		Água não medida (%) (Op39)	
Nível 3 (N3)	-	Perdas aparentes por ramal ( $m^3/ramal/ano$ ) (Op25) ou Perdas aparentes por comprimento de conduta ( $m^3/km/dia$ ) (Op26)	Água não facturada por custo (%) (Fi47)
		Índice infra-estrutural de fugas (Op29)	

\* quando o sistema está em pressão.

Os indicadores Op24, Op26 e Op28 são usados em alternativa aos indicadores Op23, Op25 e Op27, respectivamente, em sistemas cuja densidade de ramais de serviço seja inferior a 20 unidades por quilómetro de rede (e.g., no caso de sistemas de adução).

Alegre *et al.* (2004) recomendam que estes indicadores não sejam calculados para períodos inferiores a um ano porque os valores obtidos poderiam induzir em erros de interpretação. Se por algum motivo o período de referência utilizado for inferior ao ano, as comparações internas (i.e., no seio de cada entidade gestora) devem ser feitas com prudência e devem ser evitadas comparações externas com outras entidades gestoras.

### 2.5.3.2 Indicador de Recursos Hídricos

**Ineficiência na utilização dos recursos hídricos (WR1)** – Perdas reais durante o período de referência / água entrada no sistema durante o mesmo período, expresso em percentagem.

O indicador WR1 está classificado como Nível 1 do ponto de vista da entidade gestora e segundo Alegre *et al.* (2004) não é recomendado para avaliar a eficiência da gestão dos

sistemas de adução e distribuição, considerando a forte influência que as percentagens de volume sofrem pelas diferenças de consumo.

### 2.5.3.3 Indicadores Operacionais

**Perdas de água por ramal (*Op23*)** – Perdas de água durante o período de referência / (duração do período de referência x número de ramais), expressas em  $\text{m}^3/\text{ramal/ano}$ . Representa um indicador operacional básico (*NI*).

**Perdas de água por comprimento de conduta (*Op24*)** – Perdas de água durante o período de referência / (duração do período de referência x comprimento de condutas), expressas em  $\text{m}^3/\text{km/ano}$ . Este indicador, também classificado com o Nível 1, é utilizado em substituição ao indicador *Op23* quando o sistema em análise apresenta uma densidade de ramais inferior a 20 unidades por km de conduta, no qual, normalmente se enquadram os sistemas de adução.

**Perdas aparentes por ramal (*Op25*)** – Perdas aparentes durante o período de referência / (duração do período de referência x número de ramais), expressas em  $\text{m}^3/\text{ramal/ano}$ . Está classificado como um indicador de desempenho pormenorizado (*N3*).

**Perdas aparentes por comprimento de conduta (*Op26*)** – Perdas aparentes durante o período de referência / (duração do período de referência x comprimento de condutas), expressas em  $\text{m}^3/\text{km/ano}$ . Está classificado como um indicador de desempenho pormenorizado (*N3*), sendo usado em substituição ao *Op25* em sistemas com baixa densidade de ramais.

**Perdas reais por ramal (*Op27*)** – Perdas reais durante o período de referência / (número de ramais x número de horas em que o sistema está em pressão durante o período de referência), expressas em  $\text{l}/\text{ramal/dia}$  em sistemas em pressão. Este é o melhor indicador operacional básico (*NI*) entre os indicadores tradicionais, mas apresenta algumas limitações pois não tem em conta a densidade e o comprimento dos ramais, nem a pressão média de serviço. Segundo McKenzie e Lambert (2004) essas deficiências foram ultrapassadas com o aparecimento do IIF.

**Perdas reais por comprimento de conduta (*Op28*)** – Perdas reais durante o período de referência / (comprimento de condutas x número de horas em que o sistema está em pressão durante o período de referência), expressas em  $\text{l}/\text{km/dia}$  em sistemas em pressão. Assim como o *Op24* e o *Op26* também se aplica a sistemas com baixa densidade de ramais (< 20 ramais por km).

**Índice infra-estrutural de fugas (*Op29*)** – Perdas reais (*Op27*) / perdas reais mínimas, quando o sistema está em pressão. Este indicador, que corresponde ao IIF referido em 2.2.2.4, representa um indicador mais específico. Segundo Liemberger e Farley (2004) representa o indicador mais representativo de perdas de água entre todos os indicadores. Em

geral, aproxima-se de 1.0 para sistemas com bom funcionamento e boa manutenção (i.e., com poucas perdas).

**Água não medida (*Op39*)** – (*Água entrada no sistema – consumo medido*) / *água entrada no sistema* durante o período de referência, expresso em percentagem. O consumo medido inclui o consumo medido facturado e o consumo medido não facturado, devendo ser excluídos os consumos estimados. É um indicador básico (*NI*).

#### **2.5.3.4 Indicadores Financeiros**

**Água não facturada em termos de volume (*Fi46*)** – *Água não facturada* / *água entrada no sistema*, durante o período de referência, expressa em percentagem. Corresponde a um indicador de Nível 1.

**Água não facturada em termos de custo (*Fi47*)** – *Valor dos componentes de água sem proveito* (i.e., consumo autorizado não facturado + perdas aparentes + perdas reais) / *custos correntes anuais*, durante o período de referência, expressa em percentagem. Normalmente, é útil calcular e analisar os três componentes da água sem proveito, separadamente. É um indicador mais complexo, classificado como Nível 3.

#### **2.5.4 Avaliação das Incertezas**

Os indicadores de desempenho devem sempre vir acompanhados das suas incertezas calculadas a partir das incertezas associadas às variáveis envolvidas no cálculo do referido indicador. O cálculo dos indicadores de desempenho resulta sempre de operações algébricas simples (i.e., soma, subtração, produto e divisão) entre essas variáveis. As incertezas dos dados propagam-se de acordo com as operações em causa, podendo, o erro absoluto ser representado por uma expressão genérica.

A Equação (2.6) apresenta a expressão genérica mais pessimista para o cálculo da propagação das incertezas, correspondendo ao majorante do erro:

$$|\Delta z| = \left| \frac{\partial f}{\partial w} \right| \cdot |\Delta w| + \left| \frac{\partial f}{\partial x} \right| \cdot |\Delta x| + \left| \frac{\partial f}{\partial y} \right| \cdot |\Delta y| + \dots \quad (2.6)$$

onde

- $z$  : indicador de desempenho;
- $w, x, y, \dots$  : variáveis envolvidas no cálculo do referido indicador de desempenho;
- $f(w,x,y,\dots)$  : função de cálculo do indicador de desempenho;
- $\Delta z$  : erro absoluto associado ao indicador de desempenho;
- $\Delta w, \Delta x, \Delta y$  : erro absoluto associado a cada variável da função de cálculo do indicador de desempenho.

No entanto, hoje em dia, tem-se em consideração o carácter aleatório dos erros, verificando-se que a probabilidade de todos os erros de todas as parcelas serem simultaneamente os

máximos considerados é muito pequena. Admite-se a hipótese simplificativa de que os erros se distribuem estatisticamente de acordo com uma lei normal, e verifica-se que a forma mais correcta de se estimar o valor do erro absoluto é através da soma geométrica das parcelas, que genericamente pode ser escrita pela Equação (2.7), e que é recomendada por LNEC e IRAR (2005):

$$|\Delta z| = \sqrt{\left| \frac{\partial f}{\partial w} \right|^2 \cdot (\Delta w)^2 + \left| \frac{\partial f}{\partial x} \right|^2 \cdot (\Delta x)^2 + \left| \frac{\partial f}{\partial y} \right|^2 \cdot (\Delta y)^2 + \dots} \quad (2.7)$$

O erro absoluto associado a cada variável resulta do produto entre o valor da respectiva variável e o seu erro relativo associado.



## 3 CAMPANHA DE DETECÇÃO DE FUGAS

### 3.1 INTRODUÇÃO

O presente Capítulo tem por objectivo descrever a metodologia adoptada pela EPAL – Empresa Portuguesa das Águas Livres, S.A. no controlo de perdas de água na rede de distribuição da cidade de Lisboa. Este controlo é desenvolvido pela Unidade de Detecção de Fugas da EPAL, S.A., sedeada na unidade dos Olivais e chefiada pelo Eng. Barnabé Pisco.

A metodologia seguida na Campanha de Detecção de Fugas (CDF) pode ser resumida em cinco etapas distintas:

- (i) **isolar uma Zona de Medição e Controlo (ZMC)** através do fecho de válvulas de seccionamento, deixando apenas uma secção de entrada de caudal;
- (ii) **efectuar medições de caudal e pressão na entrada da ZMC;**
- (iii) **detectar e reparar possíveis problemas de perda de água**, nomeadamente a existência de fugas;
- (iv) **repetir as medições de caudal e pressão na entrada da ZMC** após as reparações;
- (v) proceder a comparações entre as medições de caudal efectuadas antes e depois das reparações, e o volume facturado efectivo na zona, por forma a **estimar o volume de perdas da ZMC** monitorizada e a **redução de perdas de água gerada pela CDF**.

A descrição deste Capítulo teve por base o acompanhamento de uma campanha de detecção de fugas e medição de caudais realizada na ZMC 339 – Olaias, pela equipa do IST/CEHIDRO, na qual a autora deste trabalho se insere no âmbito de sua tese de Mestrado e de um projecto de investigação da FCT - POCI/ECM/58375/2004 que conta com a participação da EPAL/IST no controlo de perdas na rede de distribuição da EPAL.

### 3.2 CARACTERIZAÇÃO DA REDE DA EPAL

A rede de distribuição de água da EPAL, que abastece a cidade de Lisboa, tem cerca de 1400 km de condutas com diâmetros variando entre 50 e 1500 mm, em diversos materiais, cujos mais relevantes são: fibrocimento (FC), ferro fundido (FF), polietileno de alta densidade (PEAD), betão armado (BA) e aço revestido (AR).

A rede de distribuição de Lisboa está dividida em 127 Zonas de Medição e Controlo (ZMC), que se encontram distribuídas em cinco Zonas de Abastecimento (ZA): (i) 25 na Zona Baixa; (ii) 29 na Zona Média; (iii) 55 na Zona Alta; (iv) 15 na Zona Superior; e (v) 3 na Zona Especial, assim designada pela existência de dispositivos especiais, como válvulas redutoras

de pressão (VRP) e estações sobrepressoras, e, principalmente, na condição altimétrica da mesma (*cf.* Figura 3.1).



Figura 3.1 – Rede de Distribuição de Lisboa identificada por ZMC e ZA.

As características com base nas quais a rede de distribuição de água de Lisboa é dividida em ZA estão apresentadas no Quadro 3.1.

Quadro 3.1 – Caracterização das Zonas de Abastecimento.

Classificação	Características
(i) Zona Baixa	0 a 30 m
(ii) Zona Média	30 a 60 m
(iii) Zona Alta	60 a 90 m
(iv) Zona Superior	> 90 m
(v) Zona Especial	Existência de VRP e sobrepressores na rede

Denomina-se por Zona de Medição e Controlo (ZMC) uma determinada parcela da rede de distribuição de água que apresente uma única entrada de água, facilmente quantificada com a instalação de um medidor de caudal. Entre as 127 ZMC criadas na rede de distribuição da cidade de Lisboa, apenas 12 podem ser chamadas de ZMC naturais, uma vez que existem sempre durante o período de funcionamento normal do sistema; todas as outras são criadas temporariamente, ou seja, são isoladas com o auxílio do fechamento de uma ou mais válvulas de seccionamento, durante o período de campanha respectivo.

As ZMC apresentam comprimentos de rede que variam entre 2 e 16 km, e incluem, geralmente, condutas com função exclusiva de distribuição ( $DN < 300$  mm), não contemplando as condutas de grande diâmetro, cuja função principal é o transporte de caudais.

A nomenclatura atribuída às ZMC é numérica e composta por três algarismos, tendo em conta a ZA a que estas pertencem (e.g., uma ZMC que pertença à Zona Baixa terá a identificação começada pelo número 1, enquanto que outra pertencente à Zona Média, pelo

número 2, e assim por diante, sendo os dois últimos algarismos referentes ao número da ZMC dentro da ZA).

### 3.3 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NA CAMPANHA DE DETECÇÃO DE FUGAS

#### 3.3.1 Introdução

A campanha de detecção de fugas conta com vários equipamentos, entre os quais alguns são de uso obrigatório (e.g., medidor de caudal e pressão), e outros são utilizados consoante as necessidades encontradas na ZMC durante a campanha (e.g., tricorrelador).

Entre os equipamentos mais relevantes salientam-se: (i) *datalogger*, para aquisição dos dados de caudal e pressão na entrada da ZMC; (ii) sistema *Permalog*, para uma primeira apreciação da existência de fugas na zona; (iii) sistema de localização acústica de fugas, que permite validar os resultados apresentados pelo sistema *Permalog*; e (iv) sistema de correlação digital, que permite localizar com precisão a ocorrência de uma fuga. Os equipamentos citados estão descritos de seguida.

#### 3.3.2 Medidor de Caudal e Pressão (*Datalogger*)

À entrada de cada zona de medição e controlo é instalado um medidor de caudal e pressão (e.g., do tipo Cosmos II), que permite o acoplamento de um *datalogger*, sempre que seja necessária a aquisição de dados locais.

Para efectuar a medição de caudal e pressão, instala-se, junto ao referido contador, um *datalogger* digital (*cf.* Figura 3.2), com a programação da data e hora de entrada em funcionamento. O intervalo de tempo de amostragem do *datalogger* é de 2 minutos (i.e., frequência de 30 registos por hora), cujas unidades de medida são  $\text{m}^3/\text{h}$  e bar, respectivamente para os registos de caudal e pressão. No fim do período de medição, o *datalogger* é retirado, e os registos são posteriormente transferidos para um computador.

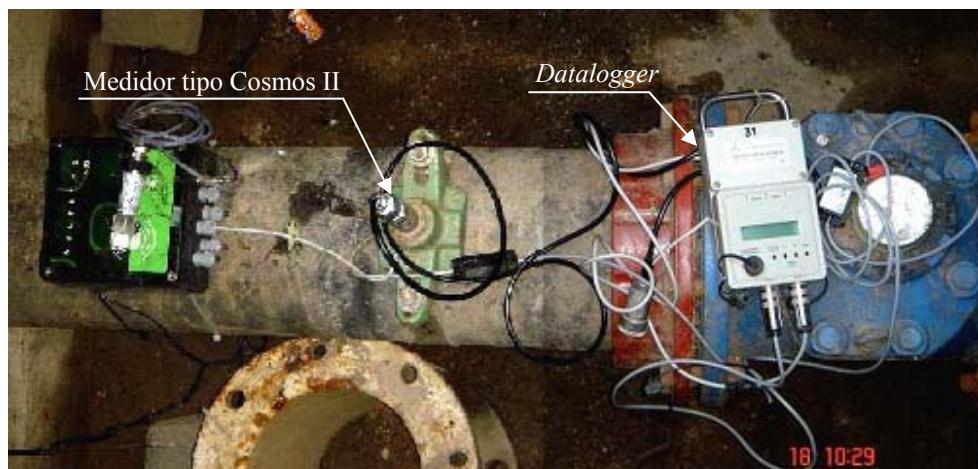


Figura 3.2 – Caixa do medidor na entrada da ZMC equipado com *datalogger* para aquisição dos dados de caudal e pressão.

### 3.3.3 Sistema *Permalog*<sup>®</sup>

#### 3.3.3.1 Descrição do Sistema

O Sistema *Permalog* é composto por uma unidade patrulhadora *Permalog* e diversas unidades registadoras de ruído *Permalog* (*cf.* Figura 3.3). Este sistema permite efectuar a supervisão contínua do nível de fugas numa determinada zona de controlo de uma rede de distribuição de água, durante a CDF.

Cada unidade registadora de ruído *Permalog* é instalada num acessório da rede de distribuição (e.g., válvula de seccionamento, válvula de descarga, ventosa) e monitoriza continuamente a amplitude e frequência do ruído produzido na conduta, determinando automaticamente a presença de fugas, no seu campo de acção ou zona de influência que é limitada na distância a cada unidade registadora. Esta informação é transmitida, remotamente, para um módulo receptor, i.e., um patrulhador *Permalog*, sempre que este se aproxime das respectivas unidades registadoras (i.e., durante o patrulhamento da ZMC).



Figura 3.3 – Registadores *Permalog* (à esquerda) e Patrulhador *Permalog* (à direita).

O sistema *Permalog* permite inspecionar uma determinada área rapidamente (i.e., em movimento através de um veículo equipado com antena receptora), não exigindo a utilização de operadores especializados.

#### 3.3.3.2 Registadores *Permalog*<sup>®</sup>

Os registadores de ruído *Permalog* são compostos por um sensor integrado em aço inoxidável, um íman e uma antena. Este equipamento é vendido numa quantidade mínima de 10 unidades e está disponível em dois modelos (Tipo 1 e 2), cujas características são apresentadas no Quadro 3.2.

Essas unidades dispõem de uma bateria interna, com autonomia para cerca de 10 anos, e estão equipadas com protecção ambiental IP68, podendo funcionar mesmo em condições submersas.

Quadro 3.2 – Características dos Registadores de Ruído *Permalog*.

Características	Tipo 1	Tipo 2
Diâmetro (mm)	60	60
Altura sem antena (mm)	193	110
Comprimento da antena (mm)	70 / 140	55
Peso (kg)	1	1

Cada unidade registadora de ruído *Permalog* adapta-se automaticamente às condições ambientais onde está instalada: se não existir fuga na área de influência desta unidade, um sinal é transmitido para indicar condições de normalidade ou de não fuga (*NF*); se pelo contrário, é detectada a possibilidade de existência de fuga, o registador *Permalog* entra em estado de alerta e transmite um sinal indicativo de possibilidade de fuga (*F*).

As unidades registadoras de ruídos *Permalog* incorporam nas suas bases ímans de grande potência (fortemente magnetizados) que, por motivos de precaução, não devem ser manipulados por portadores de *pacemaker*, além de produzir danos em equipamentos informáticos ou outros constituídos por peças metálicas.

O transporte destas unidades deve ser feito em recipiente apropriado (*cf.* Figura 3.3), por forma a evitar a influência entre os campos magnéticos criados pelas várias unidades, sob pena de produzir avarias no sistema interno dos mesmos, que induziriam falsas medições.

A preparação dos registadores para instalação resume-se ao acoplamento de uma antena, seguido por uma operação de limpeza de possíveis registos anteriores guardados na sua memória. Para tal, é necessário passar um íman sobre o sensor de comunicação localizado na parte superior da unidade (que por comodidade, utiliza-se o íman de uma outra unidade registadora).

Durante a instalação, deve-se assegurar que o ponto que receberá a unidade registadora (i.e., elemento metálico tipo válvula ou outro) esteja limpo para que possa ser estabelecido um bom contacto entre este e o íman do registador. Para obtenção de melhores resultados, aconselha-se que os registadores de ruído *Permalog* sejam instalados na posição vertical.

### 3.3.3.3 Patrulhador *Permalog*<sup>®</sup>

O patrulhador *Permalog* tem dimensões 290 x 150 x 82 mm, pesa 1.8 kg, conta com protecção ambiental IP65, e pode ser usado de duas formas: acoplado ao veículo que faz o patrulhamento, ou de forma portátil, quando o operador precisa de se afastar da viatura patrulhadora. No primeiro caso, utiliza-se uma antena externa instalada no veículo, e o patrulhador pode estar ligado a uma fonte de alimentação (e.g., isqueiro do veículo) através de um cabo de alimentação 12V DC. No segundo caso, o patrulhador recebe uma pequena antena e uma correia de transporte para facilitar o seu manuseamento, passando a depender de baterias recarregáveis, que lhe conferem a autonomia suficiente para a execução dos trabalhos.

Quando o patrulhamento é feito ao longo da ZMC, o aparelho recebe os dados guardados nas diversas unidades registadoras de ruído, à medida que o patrulhador vai entrando no campo de acção<sup>2</sup> das unidades registadoras, analisa-os, e armazena-os na sua memória. Estes dados são disponibilizados visualmente, através do ecrã do patrulhador, podendo ser descarregados para um computador, ou direcionados para impressoras apropriadas. Os dados recebidos correspondem à última leitura guardada pelos registadores.

A primeira coluna do visor do patrulhador mostra o número de série das unidades registadoras de ruído *Permalog*. As segunda e terceira colunas referem-se ao nível de ruído e à dispersão deste ruído, fornecidos pelo registador, cuja unidade de leitura é dB. A quarta coluna mostra a hora ou a data<sup>3</sup> de recepção dos dados pelo patrulhador. A quinta coluna apresenta a indicação de fuga (*F*) ou não fuga (*NF*), consoante a análise dos dados recebidos.

O patrulhador *Permalog* oferece a possibilidade de integração ao *Global Positioning System* (GPS) ou ao *Geographical Information System* (GIS).

### **3.3.4 Sistema AQUAPHON EW**

O sistema AQUAFON EW é um localizador electro-acústico de fugas de água, que se adapta a várias situações, consoante os acessórios utilizados. O equipamento é apresentado na Figura 3.4, sendo composto por:

- (i) um receptor AQUAFON, alimentado com bateria de NiCd, com 8 horas de autonomia, que apresenta ajuste de volume e filtro de frequência;
- (ii) um microfone de solo tipo BO-4, para superfícies firmes;
- (iii) um microfone de solo tipo 3P-4 (sonda *geofone*), para superfícies pouco firmes (e.g., solos arenosos);
- (iv) uma haste de carregamento tipo H-4, que é utilizada com os dois microfones;
- (v) uma vareta de teste, utilizada para pontos de contacto;
- (vi) auscultadores especiais com protecção de ruídos ambientais;
- (vii) uma sonda KM-3P, para zonas de acessibilidade reduzida.

---

<sup>2</sup> O raio de acção do patrulhador varia com a sensibilidade do receptor de rádio que faz a captação do sinal e pode ser ajustado a três níveis distintos: alcance máximo (50 m), alcance médio (15 m) e alcance mínimo (5 m).

<sup>3</sup> A data é apresentada se o patrulhamento se der após 12 horas da leitura dos dados pela unidade registadora de ruídos, caso contrário apresenta a hora da captação dos dados pelo patrulhador.



Figura 3.4 – Conjunto dos equipamentos AQUAFON EW.

A existência de uma fuga numa conduta em pressão é caracterizada pela saída de água a alta velocidade, produzindo vibrações na tubagem no local da fuga. Estas vibrações, que são transmitidas pela tubagem, chegam às suas extremidades (e.g., a válvulas, ventosas, bocas de incêndio), onde podem ser captadas. Neste caso, o uso da vareta de teste, por contacto mecânico, é bastante eficiente numa localização preliminar, principalmente para condutas metálicas. Numa conduta não metálica, a transmissão de som não é tão eficiente, logo a medição com a vareta de teste nas extremidades da mesma pode não ser suficiente.

Em contrapartida, a vibração da tubagem provoca uma vibração no solo que circunda a conduta, e esta pode ser captada pelo microfone de solo. Deste modo, a sonda *geofone* deve ser utilizada, para um refinamento do processo, não devendo ser esquecido que este microfone é mais sensível aos ruídos externos, e pode não apresentar bons resultados em zonas muito ruidosas, sendo mais eficiente quando utilizado à noite.

A Figura 3.5 representa a evolução no ecrã do receptor à medida que o operador se aproxima ou se afasta de uma fuga, quando está a utilizar uma vareta de teste.

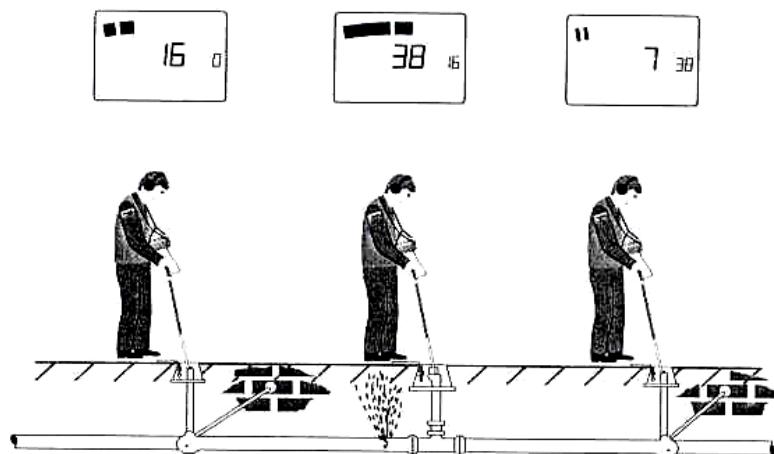


Figura 3.5 – Exemplo de utilização da vareta de teste.

No exemplo da Figura 3.5, o visor da esquerda apresenta no mostrador analógico (parte superior do quadro) o correspondente ao valor actual do ruído, que pode oscilar conforme as alterações do ruído no ambiente. No entanto, o mostrador digital (número central) indica o mínimo ruído encontrado neste ponto de medição. Ainda no mesmo ponto de medição, se o valor do ruído aumentar, o mostrador digital não se altera, no entanto, se este diminuir, o valor digital também o fará. O número menor apresentado à direita do marcador corresponde à medição do último ponto inspeccionado. Se se continuar a avaliar as leituras dos outros pontos, tendo em atenção a posição da fuga mostrada no exemplo, é fácil perceber quando o operador se aproxima, ou se afasta da mesma, avaliando sempre o valor registado nesse ponto e o do ponto anterior.

A Figura 3.6 apresenta a evolução do ecrã do receptor à medida que o operador se aproxima ou se afasta de uma fuga quando está a utilizar um microfone de solo, mantendo-se o mesmo tipo de análise apresentada para o exemplo anterior.

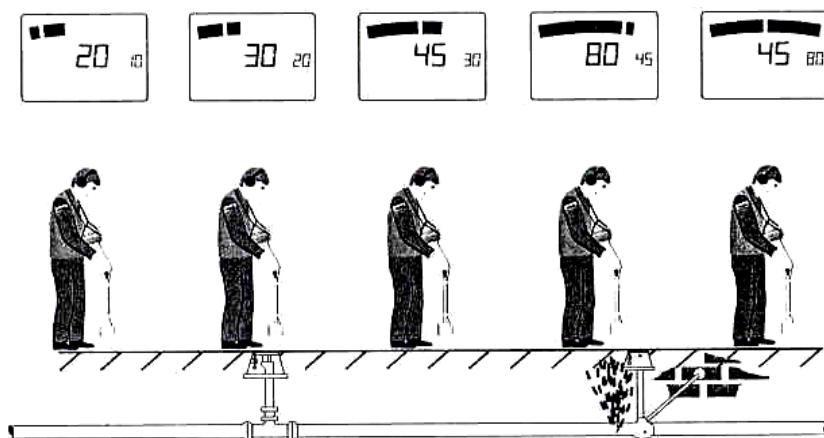


Figura 3.6 – Exemplo de utilização da sonda *geofone*.

Na utilização do sistema AQUAFON EW, apesar da aquisição de dados ser electro-acústica, apresentando valores efectivos para a intensidade dos ruídos, torna-se imprescindível a experiência do operador na distinção de um verdadeiro ruído de fuga de água, entre os diversos ruídos captados pelo aparelho.

### 3.3.5 Sistema MICROCORR® DIGITAL

O sistema MICROCORR DIGITAL é considerado revolucionário no seu campo de actuação, com funcionamento totalmente digital, eliminando quaisquer interferências na recepção e transporte do sinal. O seu uso é fácil, não requerendo operadores experimentados. Este sistema pode localizar, com grande precisão, fugas em condutas enterradas. Através das suas indicações visuais e audíveis da intensidade do sinal, em função da proximidade da fuga, os técnicos são capazes de detectar, de maneira rápida e precisa, a posição exacta de uma fuga.

O equipamento é composto pelos elementos apresentados na Figura 3.7 e listados de seguida:

- (i) uma unidade central de processamento de dados com ecrã colorido, bateria e antena externa;
- (ii) duas estações remotas de rádio digital (transmissores), representados nas cores vermelha e azul, (com possibilidade de uma terceira estação remota na cor amarela), com antenas externas;
- (iii) sensores digitais com alta sensibilidade;
- (iv) cabos para acoplamento dos sensores às estações remotas de transmissão;
- (v) auriculares;
- (vi) roda de medição de distância.

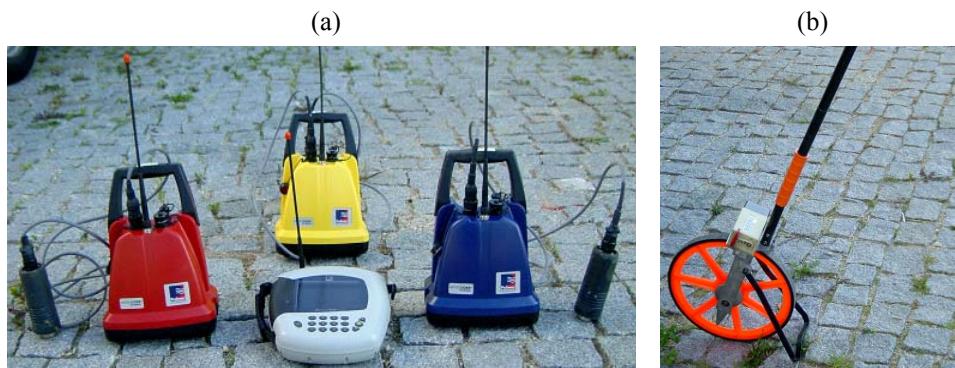


Figura 3.7 – (a) Unidade central (a meio e em baixo), estações remotas e sensores digitais (nas extremidades),  
(b) Roda de medição de distância.

O funcionamento do sistema MICROCORR DIGITAL baseia-se num processo de correlação matemática, que compara o ruído da fuga que chega dos sensores situados nas extremidades de uma determinada tubagem. Analisando o sinal captado por cada sensor, a unidade central calcula o tempo de atraso (i.e., a diferença de tempo entre a chegada do sinal de cada sensor). Conhecendo a distância entre os dois sensores e a velocidade de propagação através do material da tubagem em questão, é calculada a posição da fuga conforme Equação (3.1), cuja representação gráfica se apresenta na Figura 3.8.

$$P_f = \frac{D_s \pm V_{ps} \cdot T_d}{2} \quad (3.1)$$

sendo

- $P_f$  : posição da fuga (m);
- $D_s$  : distância entre os sensores (m);
- $V_{ps}$  : velocidade de propagação do som na tubagem (m/s);
- $T_d$  : tempo de atraso calculado em relação a um ponto localizado a igual distância dos dois extremos da conduta (s).

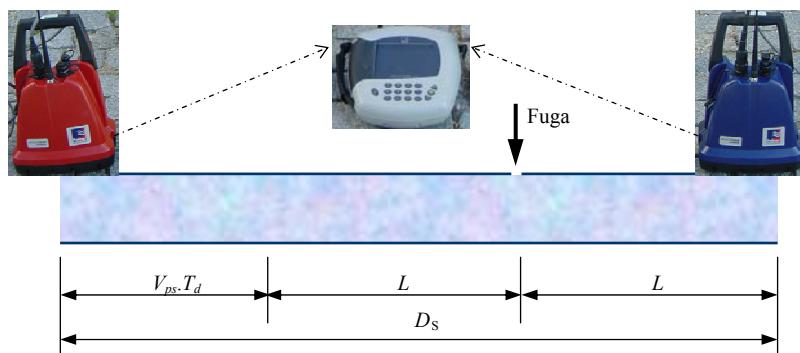


Figura 3.8 – Esquema de localização da fuga.

A utilização consiste: (i) na instalação dos sensores com as respectivas estações remotas transmissoras (vermelha e azul) nos pontos de extremidade da conduta com fuga; (ii) medição da distância entre as estações com o auxílio de uma roda de medição (*cf.* Figura 3.7b); (iii) introdução dos dados referentes à distância medida, o diâmetro da conduta, e o tipo de material da conduta na unidade central; (iv) operação de correlação, cujo posicionamento da fuga em relação à estação remota vermelha, é imediato. Existe a possibilidade de se utilizar uma terceira estação remota (amarela) intermédia, resultando numa tricorrelação, que possibilita obter maior precisão no processo de detecção, uma vez que efectua a determinação *in situ* com base em medições de velocidade de propagação do som na conduta.

O sistema MICROCORR DIGITAL utiliza um algoritmo de detecção de fugas capaz de eliminar os efeitos transitórios em redes (e.g., variação de consumos). Os sensores deste equipamento são capazes de captar ruídos de baixa frequência, o que se mostra muito interessante no caso de condutas plásticas, de grandes diâmetros, ou situações de baixa pressão.

Este equipamento apresenta um sistema de filtros versátil e eficiente, possibilitando diversas combinações de faixas de frequência audíveis, permitindo ao operador adequar-se melhor às situações do ambiente envolvente e do próprio tipo de fuga analisada. O equipamento é capaz de receber frequências de 0 a 3000 Hz. Este sistema permite armazenar os resultados, transferi-los para um computador, ou exportá-los para outros programas, permitindo assim uma análise *à posteriori*.

### 3.4 DESCRIÇÃO DA CAMPANHA DE DETECÇÃO DE FUGAS DA EPAL

#### 3.4.1 Introdução

Cada campanha de detecção de fugas tem normalmente uma duração de três semanas e sobrepõe-se, no tempo, com outras duas campanhas. A definição da sequência de ZMC a serem analisadas é previamente definida num planeamento anual efectuado pela EPAL, S.A. (*cf.* Figura 3.9), que visa passar por todas as ZMC existentes, antes que se dê a repetição de uma área já analisada. Podem ocorrer situações que obriguem a uma alteração deste

planeamento (e.g., uma dada ZMC que na altura estava programada para receber a campanha se apresente com obras substanciais que o impeçam).

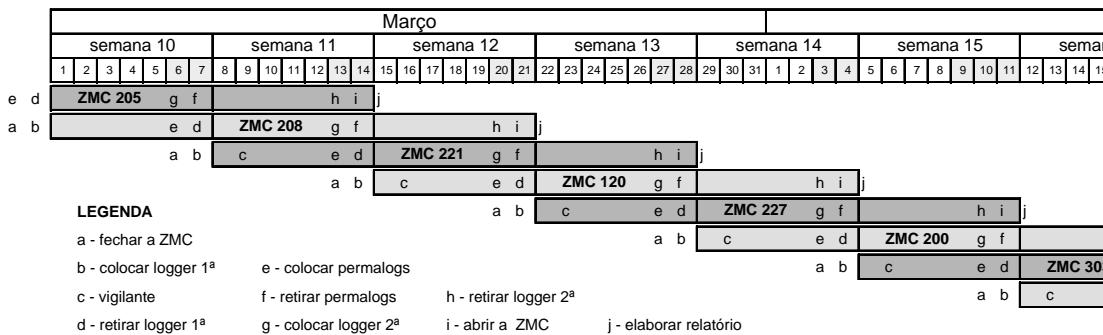


Figura 3.9 – Exemplo de cronograma de execução das campanhas de detecção de fugas.

O planeamento de uma campanha de detecção de fugas requer uma análise detalhada e, para isso, um elevado nível de conhecimento do sistema de distribuição, de forma a não afectar o abastecimento de água na zona, nem em zonas adjacentes.

Na sequência do Projecto de investigação FCT - POCI/ECN/58375/2004 sobre o Controlo de Perdas da EPAL, a equipa do IST/CEHIDRO teve a oportunidade de acompanhar a campanha de detecção de fugas realizada para a ZMC 339 – Olaias, que serviu de base à descrição e análise desenvolvidas.

### 3.4.2 Primeira Semana da Campanha

A primeira acção a ser tomada, sempre que necessário, corresponde ao fechamento de válvulas<sup>4</sup> para o isolamento da ZMC que se pretende analisar, seguindo-se a instalação de um *datalogger*, que fará a aquisição de dados de caudal e pressão na única entrada de água que abastecerá a zona em estudo, durante a campanha. Esta acção é executada, em geral, na sexta-feira da semana que antecede a primeira semana de campanha. O *datalogger* que fará a monitorização do caudal e da pressão é programado para iniciar as leituras a partir das 0:00 horas de sábado, e funcionará continuamente durante a primeira semana de campanha, sendo retirado na sexta-feira seguinte, para que se proceda à descarga e armazenamento dos dados.

Nas instalações da EPAL, S.A. identificam-se, com o auxílio de uma planta da zona a analisar, todos os acessórios da rede onde serão colocados os registadores *Permalog* (e.g., válvulas de seccionamento, válvulas de descarga e ventosas).

A distribuição de *Permalogs* deverá ser suficientemente abrangente na zona, e é efectuada tendo em conta a zona de influência (ou capacidade de alcance) de cada aparelho e o

<sup>4</sup> Aquando do fechamento temporário de válvulas, é procedimento corrente da EPAL proceder à sinalização destas válvulas, evitando assim, que outra equipa da empresa, sem conhecimento da campanha, efectue qualquer manobra sem o prévio contacto com a central de comandos, sob pena de a inviabilizar.

material das condutas onde estes são colocados, uma vez que, em condutas metálicas o alcance dos registadores de ruído é superior para as mesmas condições ao correspondente em condutas plásticas. Os registadores podem ser inseridos em caixas de válvulas (*cf.* Figura 3.10a) ou em furos de válvulas do tipo capacete (*cf.* Figura 3.10b).



Figura 3.10 – Colocação dos registadores *Permalog* (a) em caixa de válvulas e (b) em compartimentos de válvulas do tipo capacete.

Após definidos os acessórios<sup>5</sup> da rede que receberão os registadores *Permalog*, procede-se à impressão das fichas cadastrais destes equipamentos para que estas possam auxiliar a equipa de campo durante a execução dos trabalhos.

Durante o procedimento de colocação das unidades registadoras de ruído aproveita-se para fazer uma verificação do estado de conservação dos equipamentos visitados e uma actualização dos dados cadastrais dos mesmos. Todas as anomalias encontradas em campo (e.g., falta da etiqueta com o número de identificação dos acessórios, necessidade de troca dos empanques das válvulas por falta de estanqueidade) são registadas nas fichas e encaminhadas à unidade de manutenção de condutas da empresa, no menor tempo possível<sup>6</sup>. Procede-se, ainda, a uma verificação dos acessórios existentes na envolvente dos pontos de instalação das unidades de *Permalog*, que são inspeccionados de forma análoga. Na primeira semana, todos os registadores de ruído *Permalog* deverão estar instalados.

A primeira semana serve também para actualizar o cadastro da rede de distribuição, uma vez que são complementados e/ou corrigidos todos os dados referentes aos equipamentos da rede que se encontrarem omissos ou incorrectos, respectivamente (e.g., informação de caixa no passeio ou na rua, número do lote mais próximo, nome da rua). Nesta fase, são verificados também os hidrantes (i.e., bocas e marcos de incêndio), os ramais de entrada, principalmente os dos grandes consumidores, e outras singularidades da rede que sejam identificadas *in situ*.

<sup>5</sup> Todos os acessórios da rede de distribuição de água da EPAL estão numerados com a respectiva identificação em planta e materializados em forma de etiquetas metálicas nos equipamentos.

<sup>6</sup> É importante que eventuais fugas encontradas sejam rapidamente reparadas, para o sucesso da campanha.

Os veículos (i.e., carrinhas) utilizados nos trabalhos de campo estão equipados com computadores de bordo que dispõem do cadastro da rede de distribuição e de fotografias aéreas da cidade como matriz de fundo (*cf.* Figura 3.11). Este sistema permite, à equipa de campo, consultar pormenores das unidades da rede e esclarecer possíveis dúvidas sem a necessidade de se deslocar à Empresa, optimizando, assim, o tempo e aumentando a eficiência dos trabalhos.



Figura 3.11 – Sistema de cadastro disponível nas carrinhas.

### 3.4.3 Segunda Semana da Campanha

#### 3.4.3.1 Leitura dos Permalogs®

A segunda semana inicia-se com o patrulhamento da zona, no que se refere à recolha dos dados dos registadores de ruído. O veículo equipado com o patrulhador *Permalog* percorre todas as ruas onde os registadores de ruído *Permalog* estão instalados, recebendo os resultados, remotamente, à medida que se aproximam destes. Os registadores *Permalogs* estão permanentemente a monitorizar o nível de ruído nas condutas. Sempre que o nível de ruído externo ao sistema for muito baixo e inferior ao ocorrido no último registo, o equipamento faz a actualização dos dados guardando apenas o último conjunto de dados registados (i.e., ruído, dispersão, data ou hora e código indicador de fuga ou não fuga).

De uma forma geral, a indicação de fuga “F” está associada à conjugação de um elevado nível de ruído (e.g., ruído > 20 dB) e um baixo nível de dispersão desses ruídos (e.g., dispersão < 25 dB). Apresenta-se na Figura 3.12, os resultados de 35 *Permalogs* utilizados na CDF da ZMC 339 – Olaias, para vários dias da semana.

Ao longo da semana, à medida que evoluem os trabalhos de reparação de fugas na ZMC, verifica-se uma diminuição do número de *Permalogs* com a indicação positiva de fuga (F) (comparar a Figura 3.12a com a Figura 3.12d). Ressalta-se o facto de algumas unidades de *Permalogs* enviarem valores indicativos de fugas mesmo depois de efectuadas as reparações, podendo ser induzidas por diversos ruídos que podem ser identificados pelos operadores dos equipamentos durante a campanha.

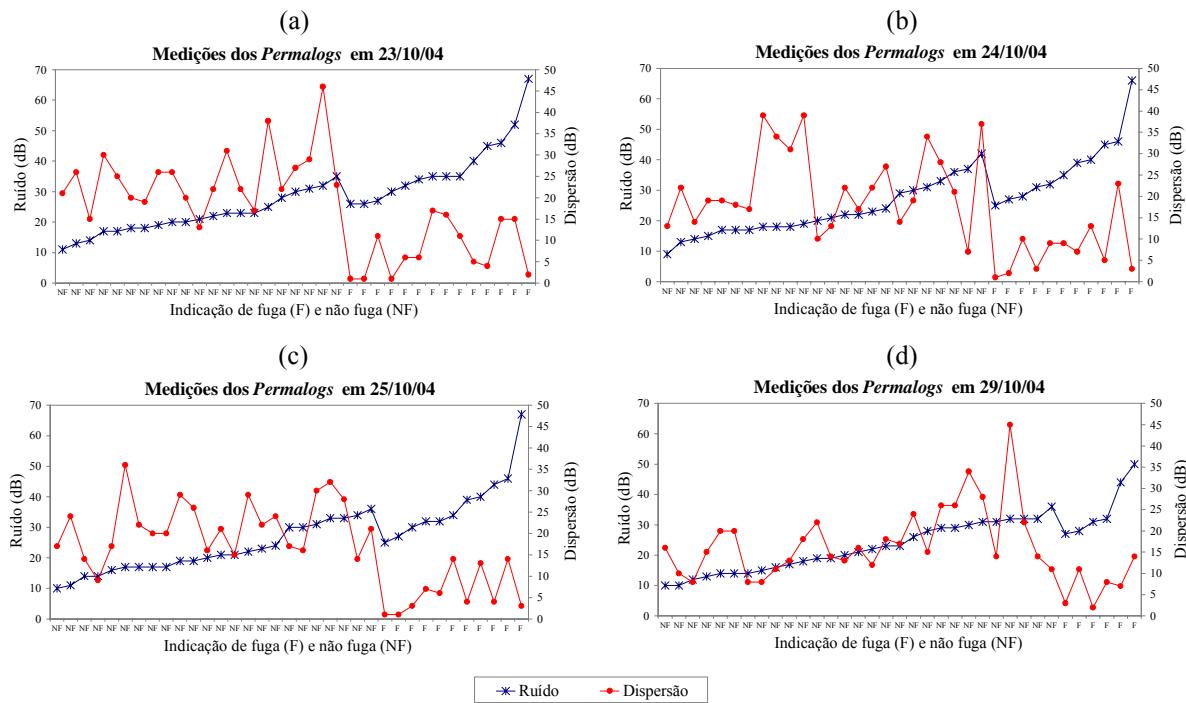


Figura 3.12 – Resultados dos 35 *Permalogs* utilizados na monitorização das fugas na ZMC 339 – Olaias.

Após o patrulhamento, a equipa de campo faz uma análise dos resultados obtidos e planeia as suas próximas acções (e.g., pontos a serem investigados com o sistema de auscultação). Só são considerados os pontos cujos resultados acusam a presença de fugas e que exigem uma investigação mais refinada para a sua possível localização.

### 3.4.3.2 Utilização do Sistema AQUAFON

A próxima etapa passa por utilizar o sistema de detecção de fugas AQUAFON, com vareta de teste acoplada (*cf.* Figura 3.13a). Este trabalho é muito delicado e depende muito da experiência do operador.

Existem muitos ruídos externos que podem influenciar a medição do sistema *Permalog* (e.g., ruídos provocados por postos de transformação de energia próximos dos locais de medição ou sistemas de ar condicionado). Muitas vezes uma indicação de fuga acusada pelo sistema *Permalog* é imediatamente retirada após a fase de auscultação preliminar, consoante a prática do operador. O procedimento de auscultação pode resultar em três acções distintas:

- (i) o operador desiste da suspeita de fuga na região por identificar a verdadeira origem do ruído;
- (ii) a fuga é identificada e apenas a utilização da vareta de teste é suficiente para posicioná-la – neste caso, cadastrase a fuga e envia-se esta informação às equipas de manutenção para que seja reparada;

- (iii) o operador identifica a presença de uma fuga, mas não tem informação suficiente para a sua localização, partindo então para uma investigação mais detalhada, fazendo uso do sistema MICROCORR DIGITAL .



Figura 3.13 – Utilização do AQUAFHON (a) com vareta de teste, (b) com microfone de solo.

Normalmente, a equipa não avança com o sistema AQUAFHON utilizando microfone de solo (*cf.* Figura 3.13b), uma vez que a experiência mostra que o nível de ruído externo é incompatível, visto que os trabalhos são realizados durante o dia.

#### **3.4.3.3 Utilização do MICROCORR DIGITAL**

Na utilização do MICROCORR DIGITAL, instalam-se as estações remotas, normalmente duas (*cf.* Figura 3.14a), nos acessórios das extremidades do trecho onde se suspeita que esteja a fuga, mede-se a distância entre eles (*cf.* Figura 3.14b), introduzem-se os dados na unidade central (i.e., o diâmetro e o material da conduta e a distância medida entre as estações remotas utilizadas), ajusta-se o volume e a faixa de frequência audível na simulação, e efectua-se a correlação que aponta para a localização da fuga de forma quase imediata (*cf.* Figura 3.14d).

Caso seja necessário, entra-se com a terceira estação remota, que permite o cálculo automático da velocidade de propagação do som na conduta, aumentando a precisão dos resultados. Neste caso, introduz-se na unidade central o tipo de material da conduta e procede-se a uma tricorrelação. Nem sempre a disposição dos acessórios da rede permite esta operação.

A utilização do processo de correlação pode aumentar a precisão na localização de uma fuga com uma incerteza inferior a 1 m, minimizando os trabalhos de escavação, que são inconvenientes e onerosos em qualquer processo de reparação da rede de distribuição.



Figura 3.14 – Utilização do MICROCORR DIGITAL (a) instalação das estações remotas, (b) determinação da distância entre as estações, (c) introdução dos dados na unidade central, (d) apreciação dos resultados de uma tricorrelação.

#### 3.4.3.4 Considerações Gerais

Todas as identificações de fuga efectuadas num dado dia devem ser reparadas antes que a equipa de detecção reconhece os trabalhos de campo. Desta forma, garante-se que possam ser sempre detectados novos problemas de fugas que poderiam estar mascarados por fugas encontradas anteriormente.

Estes procedimentos repetem-se durante toda a segunda semana de campanha, sendo expectável que, no final da semana, todos os registadores de ruído *Permalog* acusem ausência de fugas, excepto aqueles cuja equipa tenha identificado o real motivo do ruído, e que nada tenha a ver com uma fuga de água.

Nesta semana, não são efectuadas medições de caudal e pressão, uma vez que poderiam ser modificadas por acções associadas aos processos de reparação de problemas encontrados na rede (e.g., descargas de água, fechamento de válvulas).

#### 3.4.4 Terceira Semana da Campanha

Durante a terceira semana volta-se a instalar o *datalogger* para obtenção dos novos dados de caudal e pressão, após a reparação das fugas detectadas na ZMC em análise.

O *datalogger* é instalado na sexta-feira da segunda semana, e é programado para iniciar as leituras às 0:00 horas de sábado, nas mesmas condições da primeira medição, até à próxima sexta-feira, quando será retirado. Na sexta-feira, procede-se também à abertura das válvulas de seccionamento que foram fechadas apenas para o isolamento da ZMC.

A acção de retirada dos registadores *Permalog* dá-se no início dessa semana.

### 3.5 CRIAÇÃO DE BASE DE DADOS

#### 3.5.1 Introdução

O processo de análise dos resultados passa por um tratamento dos dados obtidos durante a campanha de detecção de fugas, de forma a produzir resultados que sirvam de base para serem introduzidos no módulo computacional *CampZ*, que é um *software* desenvolvido pela EPAL, S.A. especificamente para organizar os resultados da campanha.

#### 3.5.2 CampZ

O *CampZ* é um modelo não comercializado, desenvolvido por uma equipa da EPAL, S.A., em *Access*, utilizando a linguagem de programação *Visual Basic*, que funciona como uma base de dados das campanhas de detecção sistemática de fugas. Este modelo efectua cálculos complementares que produzem resultados indicativos do desempenho das campanhas, consoante os indicadores utilizados. Além disso, o *CampZ* possibilita gerar um relatório padronizado da CDF, em formato Microsoft Word®, que pode ser posteriormente editado (i.e., modificado em função das necessidades de cada campanha), e ainda, criar um ficheiro resumo, em formato Microsoft Excel®, com os principais dados e resultados das campanhas cadastradas.

Através do menu principal do *CampZ* apresenta-se uma navegação pelo modelo. Este menu permite seleccionar (*cf.* Figura 3.15) as cinco opções listadas a seguir:

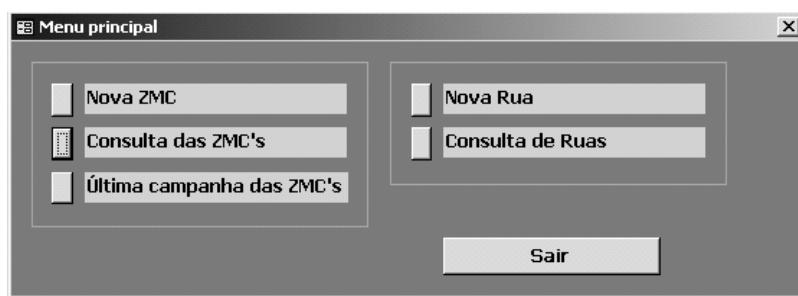


Figura 3.15 – Menu principal do CampZ.

**Nova ZMC** – Avança para o menu apresentado na Figura 3.16, que permite a inserção das características de uma ZMC ainda não cadastrada no sistema.

**Consulta das ZMC's** – Avança para o menu da Figura 3.17, que mostra todas as ZMC já cadastradas, permitindo a escolha daquela que se pretende consultar.

**Última campanha das ZMC's** – Avança para o menu da Figura 3.18, que apresenta um resumo dos dados, características e resultados da última CDF de cada ZMC, e possibilita a geração de um ficheiro em formato Microsoft Excel® com esses dados.

**Nova Rua** – Permite inserir uma nova rua na base de dados do sistema.

**Consulta de Ruas** – Acede à base de dados de todas as ruas da cidade.

Zona:	Ramais cadastrados:	Pontos de acesso:	Hidrantes:
Kms de rede:	com ficha:	Extremos:	HidMIs:
n.º Ruas:	não cadastrados:	Valvulas descarga:	HidBIs:
Locais de consumo:		Válv. seccionamento:	Total:
Outros:			

Ruas de Lisboa:	Ruas da ZMC:
Ac.Traz.Qt <sup>a</sup> .Curralheira	17065
Adro da Igreja	32112
Aeroporto da Portela	29159
Al.António Sérgio	20114
Al.Cardeal Cerejeira	10143
Al.Comunid.Portuguesas	29001
Al.da Encarnação	29005
Al.da Universidade	25113

n.º de Rua: [ ]

**Botoes:** Nova campanha | Campanhas realizadas | Sair

Figura 3.16 – Inserção de nova ZMC.

Procurar ZMC:	ZMC	Zona
	0	
	100	Baixa
	101	Baixa
	102	Baixa
	103	Baixa
	104	Baixa
	106	Baixa
	108	Baixa
	111	Baixa
	115	Baixa

Figura 3.17 – Escolha de uma ZMC cadastrada.

No caso de se escolher uma determinada ZMC (*cf.* Figura 3.17), avança-se para o menu da Figura 3.19, que apresenta as características dessa ZMC. A partir deste menu pode-se optar por introduzir os dados de uma nova CDF (nova campanha) ou por visualizar os resultados de campanhas já efectuadas na referida ZMC (campanhas realizadas).

Datas			Tipos de fugas detectadas							Antes da reparação							
ZMC	Inicio	Fim	Condutas	Juntas	Ramais	Hidrantes	Valvulas	Org. CML	Outros	caudais diurnos	caudais nocturnos	Médio	Max.	Min.	Médio	Max.	Min.
311	22-10-2001	07-11-2001	0	0	1	1	0	0	0	53,02	81,6	36,72	11,91	15,36	9,48		
314	30-06-2003	18-07-2003	0	0	0	1	1	0	0	76,91	121,45	33,23	29,21	36,61	24,46		
316	02-06-2003	23-06-2003	0	0	0	0	2	0	0	89,11	118,76	59,26	15,76	18,95	12,67		
320	13-09-2004	13-11-2004	0	0	3	11	2	6	0	230,06	296,91	171,56	113,06	123,35	100,57		
328	01-11-2004	19-11-2004	0	0	2	2	4	0	0	225,07	297,07	129,57	77,75	95,53	66,01		
329	11-10-2004	29-10-2004	0	0	1	1	2	0	0	227,84	350,15	173,03	73,07	83,53	64,76		
332	08-11-2004	26-11-2004	0	0	2	2	5	0	0	199,14	284,28	155,79	71,64	78,83	62,83		
335	17-05-2004	04-06-2004	1	0	0	4	12	0	0	182,91	259,01	134,13	34,95	47,91	30,19		
347	19-04-2004	21-05-2004	0	0	0	1	0	1	0	78,37	138,26	54,25	12,4	13,98	10,68		



Sair

Datas			Depois da reparação						Ganhos - Caudais médios						
ZMC	Inicio	Fim	caudais diurnos			caudais nocturnos			/luga reparada						
			Médio	Max.	Min.	Médio	Max.	Min.	/dia	/ano	/dia/Km tubagem	/dia/local consumo			
311	22-10-2001	07-11-2001	51,49	81,36	35,64	11,69	15,66	9,72	,11	5,28	1927,202	,89	,00		
314	30-06-2003	18-07-2003	55,75	99,44	33,57	12,52	16,85	10,08	8,34	400,56	46204,400	56,25	,10		
316	02-06-2003	23-06-2003	101,26	148,85	52,29	14,68	27,64	12,24	,54	25,92	9460,800	4,73	,01		
320	13-09-2004	13-11-2004	195,93	251,11	130,71	73,3	76,83	69,53	1,81	954,24	148297,600	111,80	,26		
328	01-11-2004	19-11-2004	247,54	305,15	160,69	63,96	104,6	54,45	1,72	330,96	20800,400	34,11	,10		
329	11-10-2004	29-10-2004	227,79	290,78	179,55	71,33	78,32	65,96	,43	41,76	15242,380	5,07	,01		
332	08-11-2004	26-11-2004	199,67	295,63	152,4	65,57	72,8	60,86	,67	145,68	53173,200	7,08	,02		
335	17-05-2004	04-06-2004	178,87	259,05	129,77	30,97	50,12	26,24	,23	95,52	34864,810	9,05	,02		
347	19-04-2004	21-05-2004	53,06	98,74	29,59	8,12	9,96	6,64	2,14	102,72	37492,800	26,47	,05		

Figura 3.18 – Resumo da última CDF de cada ZMC.

ZMC:		320	Designação: São Domingos de Benfica																								
<b>Características</b> <table border="1"> <tr> <td>Zona: Alta</td> <td>Ramais cadastrados: 390</td> <td>Pontos de acesso: Extremos: 23</td> <td>Hidrantes: HidMIs: 24</td> </tr> <tr> <td>Kms de rede: 8,535</td> <td>com ficha: 715</td> <td>Valvulas descarga: 27</td> <td>HidBIs: 373</td> </tr> <tr> <td>n.º de Ruas: 36</td> <td>não cadastrados: 45,5 %</td> <td>Válv. seccionamento: 46</td> <td>Total: 397</td> </tr> <tr> <td>Locais de consumo: 3664</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Outros: 0</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>				Zona: Alta	Ramais cadastrados: 390	Pontos de acesso: Extremos: 23	Hidrantes: HidMIs: 24	Kms de rede: 8,535	com ficha: 715	Valvulas descarga: 27	HidBIs: 373	n.º de Ruas: 36	não cadastrados: 45,5 %	Válv. seccionamento: 46	Total: 397	Locais de consumo: 3664				Outros: 0							
Zona: Alta	Ramais cadastrados: 390	Pontos de acesso: Extremos: 23	Hidrantes: HidMIs: 24																								
Kms de rede: 8,535	com ficha: 715	Valvulas descarga: 27	HidBIs: 373																								
n.º de Ruas: 36	não cadastrados: 45,5 %	Válv. seccionamento: 46	Total: 397																								
Locais de consumo: 3664																											
Outros: 0																											
<b>Ruas de Lisboa:</b> <table border="1"> <tr><td>Ac.Traz.Qt<sup>a</sup>.Curralreira</td><td>17065</td></tr> <tr><td>Adro da Igreja</td><td>32112</td></tr> <tr><td>Aeroporto da Portela</td><td>29159</td></tr> <tr><td>Al.António Sérgio</td><td>20114</td></tr> <tr><td>Al.Cardeal Cerejeira</td><td>10143</td></tr> <tr><td>Al.Comunid.Portuguesas</td><td>29001</td></tr> <tr><td>Al.da Encarnação</td><td>29005</td></tr> <tr><td>Al.da Universidade</td><td>25113</td></tr> </table>		Ac.Traz.Qt <sup>a</sup> .Curralreira	17065	Adro da Igreja	32112	Aeroporto da Portela	29159	Al.António Sérgio	20114	Al.Cardeal Cerejeira	10143	Al.Comunid.Portuguesas	29001	Al.da Encarnação	29005	Al.da Universidade	25113	<b>Ruas da ZMC:</b> <table border="1"> <tr><td>Estr.de Benfica</td></tr> <tr><td>R.das Furnas</td></tr> <tr><td>R.São Domingos Benfica</td></tr> <tr><td>Sítio do Calhau</td></tr> <tr><td>Lg.São Domingos Benfica</td></tr> <tr><td>Sítio do Barcal</td></tr> <tr><td>Tv.São Domingos Benfica</td></tr> <tr><td>R.Conde de Almôster</td></tr> </table>		Estr.de Benfica	R.das Furnas	R.São Domingos Benfica	Sítio do Calhau	Lg.São Domingos Benfica	Sítio do Barcal	Tv.São Domingos Benfica	R.Conde de Almôster
Ac.Traz.Qt <sup>a</sup> .Curralreira	17065																										
Adro da Igreja	32112																										
Aeroporto da Portela	29159																										
Al.António Sérgio	20114																										
Al.Cardeal Cerejeira	10143																										
Al.Comunid.Portuguesas	29001																										
Al.da Encarnação	29005																										
Al.da Universidade	25113																										
Estr.de Benfica																											
R.das Furnas																											
R.São Domingos Benfica																											
Sítio do Calhau																											
Lg.São Domingos Benfica																											
Sítio do Barcal																											
Tv.São Domingos Benfica																											
R.Conde de Almôster																											
n.º de Rua: 0		<input type="button" value="Nova campanha"/> <input type="button" value="Campanhas realizadas"/> <input type="button" value="Sair"/>																									

Figura 3.19 – Características da ZMC.

**Campanhas realizadas** – Avança para o menu da Figura 3.20, que permite escolher a campanha a ser visualizada. O menu que se segue, com os resultados da CDF escolhida, está apresentado na Figura 3.21.

ZMC	Data do inicio	Data do fim	Campanha
320	07-10-2002	22-10-2002	131
320	13-09-2004	13-11-2004	132

Figura 3.20 – Escolha de uma CDF dentro da ZMC.

**Nova campanha** – Avança para o menu da Figura 3.21, com os campos em branco, permitindo a inserção dos dados da nova campanha.

A seguir estão pormenorizados alguns campos considerados relevantes no menu da Figura 3.21.

**Características da ZMC** – Essas características são preenchidas automaticamente conforme cadastro da ZMC.

**Fotos da Campanha** – Este campo é usado para anexar fotos da campanha, antes e depois das reparações. Cada foto pode ser complementada com campos de texto destinados à descrição do local e de outras observações pertinentes. Estas fotos são inseridas automaticamente no relatório final gerado pelo modelo.

**Medições antes da reparação** – São preenchidos apenas os dados da primeira e da última coluna, os restantes são calculados automaticamente pelo modelo, que utiliza os dados do comprimento da rede e dos locais de consumo da ZMC.

Conforme observado na Figura 3.21, estes dados estão divididos em diurnos e nocturnos. No âmbito da metodologia utilizada, faz-se incidir para efeito de cálculo no período diurno o compreendido entre as 09:00 e as 20:00 horas, e no nocturno, entre as 03:00 e as 05:00 horas, onde se registam os maiores e os menores consumos de água, respectivamente.

A partir dos dados de caudal e pressão obtidos na primeira semana de campanha (antes das reparações) determina-se a média, entre os dias úteis (exclui-se as ocorrências de sábado e domingo), para cada instante medido. A obtenção dos caudais mínimos, médios e máximos, para os períodos diurno e nocturno, correspondem a essas ocorrências sobre os valores resultantes do cálculo efectuado, nos respectivos períodos diurno ou nocturno (e.g., o caudal máximo diurno corresponde à máxima ocorrência de caudal, entre os valores médios semanais para cada instante medido, no referido período).

Retomando a descrição dos campos do menu da Figura 3.21, tem-se:

**Tipos de fugas detectadas** – Número de ocorrências de fugas por tipo de órgão da rede de distribuição.

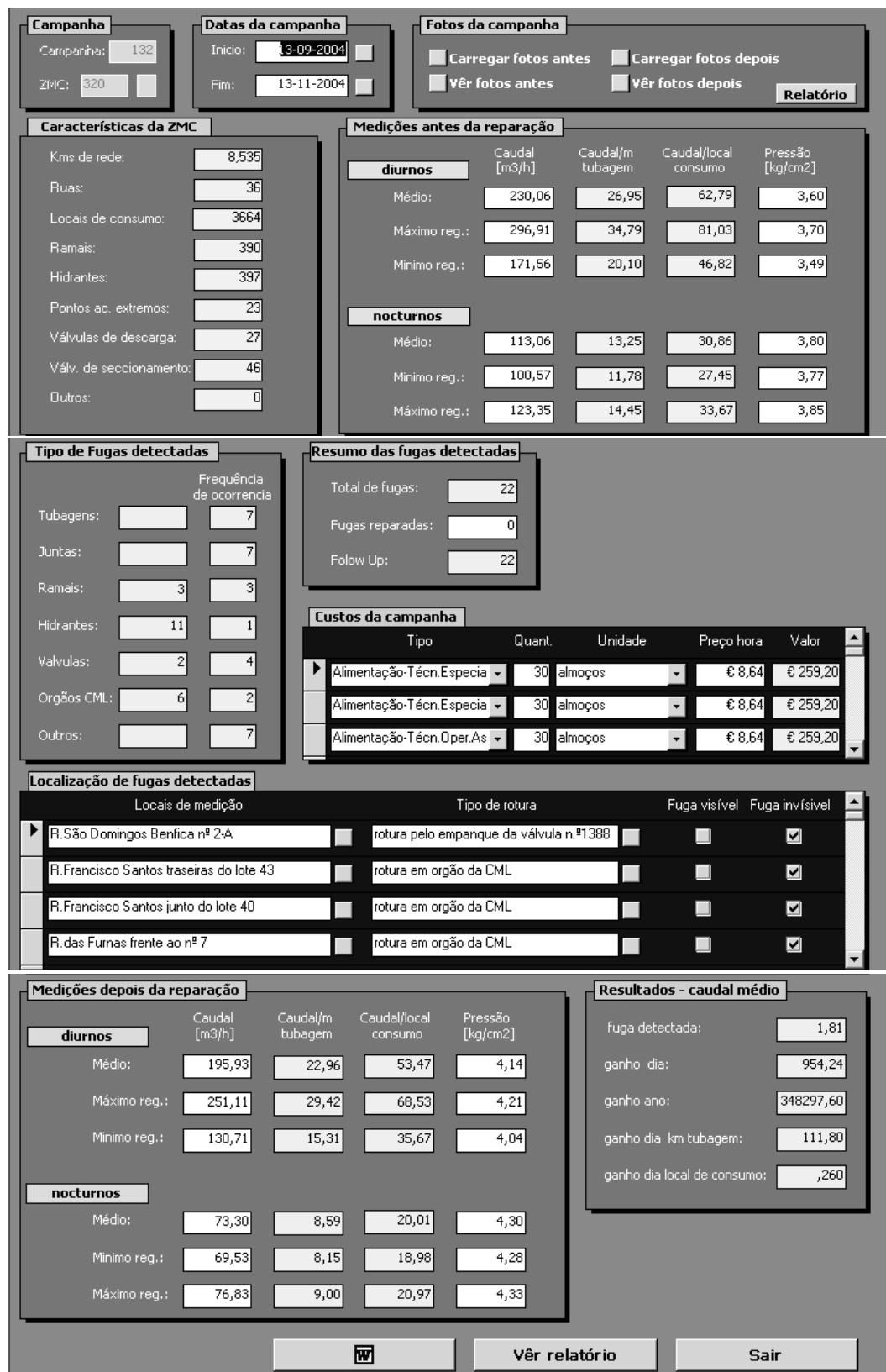


Figura 3.21 – Dados e resultados da CDF.

**Custo da campanha** – Todos os custos, fixos ou não, necessários para o desenvolvimento da campanha.

**Localização das fugas detectadas** – Registo de cada fuga encontrada na zona, durante a campanha.

**Medições depois da reparação** – Segue a mesma metodologia descrita para as medições antes da reparação, diferindo apenas na origem dos dados de caudal e pressão, que correspondem às medições da terceira semana de campanha, ou seja, após as reparações.

**Resultados (caudal médio)** – Resultados do ganho obtido com a campanha, consoante os cinco indicadores utilizados pelo modelo, com a seguinte ordem:  $m^3/h/fuga$ ,  $m^3/dia$ ,  $m^3/ano$ ,  $m^3/dia/km$  e  $m^3/dia/locais\ de\ consumo$ .

O cálculo do ganho baseia-se nas diferenças entre os resultados obtidos antes e depois das reparações, em relação às ocorrências de caudal médio no período nocturno, ou seja, quando as pressões na rede são mais elevadas e quando o consumo efectivo é mínimo.

A partir deste menu é possível gerar o relatório da respectiva campanha (CDF), em ambiente Microsoft Word®, onde se pode editá-lo, e corrigi-lo, quando necessário.

## 4 CARACTERIZAÇÃO DOS CONSUMOS

### 4.1 INTRODUÇÃO

Para optimizar a gestão de sistemas de abastecimento de água, é necessário conhecer, em pormenor, a forma como o consumo de água se processa no tempo e no espaço, assim como os factores que o afectam e condicionam. Trata-se de um problema muito abrangente, cuja solução deve basear-se na conjugação de informações inerentes a várias áreas do conhecimento. Alegre (1994) sugere uma metodologia de análise dos consumos de água, conjugando informações relevantes a três áreas distintas, nomeadamente a engenharia hidráulica, a estatística e as ciências sociais.

Com base na referida metodologia, procedem-se, no presente capítulo, à caracterização dos consumos de água na Zona de Medição e Controlo de São Domingos de Benfica (ZMC 320). A ZMC 320, que é parte integrante do Sistema de Distribuição de Água da EPAL na cidade de Lisboa, será também alvo de outras análises em capítulos subsequentes deste estudo.

No âmbito desta análise procedeu-se a uma caracterização sócio-demográfica e habitacional da área em estudo, seguida por uma análise dos dados de consumo recolhidos, incluindo a forma de aquisição, avaliação e tratamento estatístico. Por fim, procedeu-se a uma análise conjunta dos resultados obtidos individualmente, sendo o resultado deste capítulo um conjunto de curvas padronizadas de consumo características da ZMC em estudo para diferentes dias da semana (i.e., *sábados, domingos e feriados, e dias úteis*).

### 4.2 CARACTERIZAÇÃO SÓCIO-DEMOGRÁFICA E HABITACIONAL DA ÁREA

#### 4.2.1 Introdução

Uma análise sócio-demográfica visa a identificação e a caracterização de um perfil social da população residente ou flutuante numa determinada área, enquanto que, numa análise habitacional, se procura identificar as características das habitações relacionáveis com o consumo de água (Alegre, 1994).

Uma caracterização populacional realista e fiável impõe a necessidade de se articularem fontes de informação diversificadas e complementares, tais como: (i) dados dos censos; (ii) visitas ao local em dias da semana e períodos do dia diversos; (iii) entrevistas a observadores privilegiados; (iv) inquéritos aos residentes; e (v) registos dos consumos de água dos consumidores envolvidos.

#### 4.2.2 Metodologia

A metodologia adoptada neste estudo para a caracterização sócio-demográfica e habitacional da área baseou-se na metodologia proposta por Alegre (1994), salientando-se o facto de não

estar associada ao presente estudo uma análise comparativa inter-áreas. O objectivo do presente trabalho foi apenas a caracterização e análise de uma ZMC, com o intuito de reunir informação relevante que ajudasse a perceber os hábitos de consumo de água da população local.

Inicialmente, partiu-se de um mapa cadastral da rede de distribuição de água, com indicação dos ramais prediais existentes e das válvulas que foram fechadas para proceder ao isolamento da ZMC em questão, mantendo-se apenas um ponto de abastecimento. Através deste mapa foi possível identificar os consumidores incluídos na zona de estudo, e definir a linha de contorno envolvente da ZMC 320. Durante a execução desta tarefa surgiram dúvidas em relação à inclusão ou não de alguns consumidores, principalmente os localizados nos limites da ZMC. Estas dúvidas foram sendo esclarecidas através de consulta ao Sistema *Interaqua*, (i.e., um sistema de informação geográfica que reúne as informações cadastrais relacionadas com a rede de distribuição de água da cidade de Lisboa), disponibilizado pela EPAL, S.A., e de conversas com funcionários da Unidade de Detecção de Fugas da empresa.

Nesta fase, efectuaram-se diversas visitas ao local para a verificação dos limites da ZMC em estudo e o reconhecimento do terreno social a ser estudado. A seguir procedeu-se à recolha dos dados estatísticos da área em estudo, tendo, para o efeito, sido utilizados os dados referentes ao Censo 2001 obtidos junto do Instituto Nacional de Estatística – Portugal (INE). Os dados do Censo 2001 estão publicados apenas ao nível dos distritos, contudo podem ser adquiridos no INE aos níveis de freguesias, secções e subsecções. Neste estudo, foram utilizados os dados das subsecções, que correspondem aos quarteirões e representam a menor unidade estatística utilizada neste censo.

Para obtenção destes dados foi necessário identificar, junto ao sector de cartografia do INE, as subsecções da freguesia de São Domingos de Benfica que estavam inseridas na ZMC 320. Com o código de todas as subsecções total ou parcialmente inseridas na área de estudo obtiveram-se as variáveis estatísticas necessárias, agrupadas de acordo com as cinco unidades de criação determinadas nos censos (i.e., edifícios, alojamentos, famílias, núcleos familiares e indivíduos). Com estas informações criou-se uma base de dados para a ZMC em estudo.

A seguir foi necessário proceder a uma nova visita à área de estudo, para efectuar um reconhecimento mais pormenorizado do universo de edifícios existentes, confrontando-os com os dados censitários, de forma a permitir refinar os dados referentes aos quarteirões situados na periferia da zona (i.e., aqueles que estão parcialmente integrados à ZMC). Nesta acção, avaliou-se, também, o grau de desactualização dos dados base.

A base de dados das variáveis estatísticas possibilitou a criação de vários indicadores sociodemográficos e habitacionais que permitem caracterizar a área em estudo. Com estes indicadores foi possível efectuar uma análise comparativa intra-áreas, com o objectivo de proceder a uma caracterização das diferenças sócio-urbanísticas e avaliar a homogeneidade interna da área em estudo.

Para complementar este estudo foram recolhidas algumas imagens fotográficas que deram suporte a este trabalho.

### 4.2.3 Descrição da Área

#### 4.2.3.1 Informações Gerais

A ZMC 320 encontra-se completamente inserida nos limites da Freguesia de São Domingos de Benfica. Esta freguesia, com uma área de 4.30 km<sup>2</sup>, comporta uma população estimada em cerca de 34 000 habitantes. As suas fronteiras administrativas, delimitadas em 1959, estão confinadas pelas freguesias de Benfica, Carnide, Campolide, Campo Grande e Nossa Senhora de Fátima. No entanto, a história de formação desta freguesia é muito mais antiga, não sendo determinada com exactidão. A Figura 4.1 apresenta os limites da Freguesia de São Domingos de Benfica e da ZMC 320.

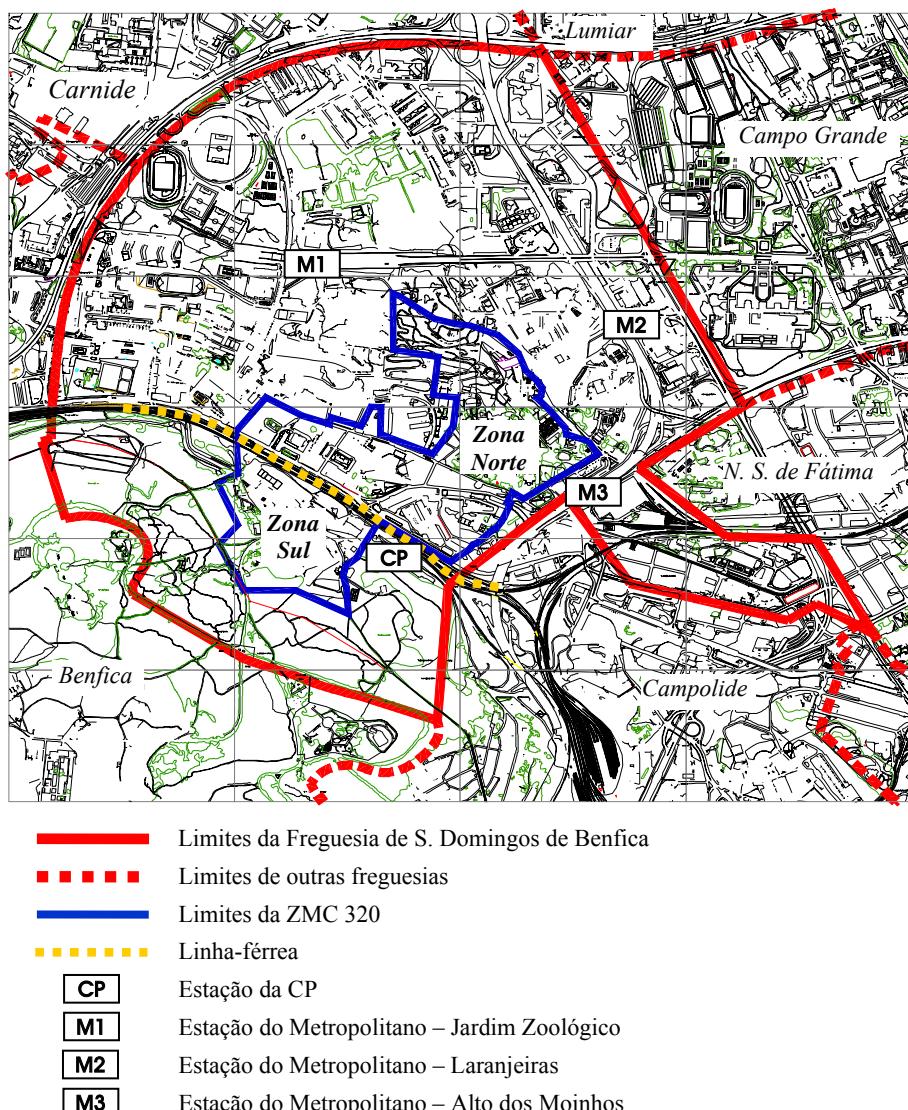


Figura 4.1 – Enquadramento da ZMC 320 na Freguesia de São Domingos de Benfica.

Quanto à tipologia das áreas urbanas, segundo um trabalho realizado pelo Instituto Nacional de Estatística e pela Direcção Geral do Ordenamento do Território e Desenvolvimento Urbano (DGOTDU), a freguesia é classificada como Área Predominantemente Urbana (APU).

O acesso à freguesia é privilegiado quanto ao número e diversidade de meios de transporte que a servem (e.g., praças de táxis, catorze carreiras de autocarros, uma estação da CP e três estações do metropolitano – Jardim Zoológico, Laranjeiras e Alto dos Moinhos), atraindo a si, uma percentagem bastante elevada de utentes. Verifica-se, igualmente, uma grande evolução nas ligações internas (i.e., CRIL e CREL) e nos acessos viários desta freguesia, como seja o Eixo Norte-Sul, com uma grande importância para o tráfego de passagem inter-regional.

A ZMC 320, com cerca de 0.7 km<sup>2</sup>, pode ser delimitada a norte praticamente pela Estrada de Benfica, a sul pelo Parque Florestal de Monsanto, a leste pela projecção do Eixo Norte-Sul, e a oeste pela Rua Inácio de Sousa (ver limite da ZMC indicado na Figura 4.1). A linha-férrea de Sintra divide esta área em duas zonas com características de urbanização muito distintas, as quais serão aqui identificadas por zona norte (i.e., região a norte da linha-férrea) e zona sul (i.e., região a sul da linha-férrea).

No Quadro 4.1 apresentam-se algumas características da área de estudo no global e individualizadas para as zonas norte e sul.

Quadro 4.1 – Características da área de estudo baseadas no Censo 2001.

Variáveis	ZMC 320	Zona norte	Zona sul
Número de quarteirões	40	30	10
Número de edifícios	434	343	91
Número de alojamentos	3354	3236	118
Número de famílias clássicas	2954	2842	112
Número de núcleos familiares	1801	1707	94
Número de indivíduos	6237	5872	365

Fonte: Instituto Nacional de Estatística – Portugal.

#### 4.2.3.2 Zona Norte

A zona norte abrange cerca de 65% da área da ZMC 320, sendo 33% desta zona ocupada pelo Jardim Zoológico de Lisboa. No entanto, esta zona tem cerca de 94% da população total residente na ZMC 320, sendo, assim, uma região fortemente urbanizada. Esta realidade pode ser observada no conjunto de fotografias da zona apresentado na Figura 4.2.

A zona norte corresponde ao núcleo antigo da freguesia, no qual 20% dos edifícios foram construídos entre 1919 e 1945. O *pico* do crescimento da zona deu-se entre 1946 e 1960 com a construção de cerca de 45% das edificações. Nos anos que se seguiram registou-se uma queda desse crescimento, provocado provavelmente pela limitação física do espaço. Hoje, a

zona praticamente não apresenta espaços livres destinados à construção e o seu crescimento é quase nulo (*cf.* Figura 4.3a).



Figura 4.2 – Imagens da zona norte: (a) Estrada de Benfica junto ao Lg. Manuel Emídio Silva, (b) Esquina da Estrada de Benfica com a R. São Domingos de Benfica, (c) R. Bairro Novo, (d) R. Costa Mota e (e) R. Conde Almoster próximo à passagem pedonal aérea.

Seguindo a tendência da freguesia na qual se insere, a zona norte tem uma ocupação praticamente residencial, onde 75% dos edifícios são exclusivamente residenciais e 24% são principalmente residenciais (*cf.* Figura 4.3b). Esta última percentagem deve-se, principalmente, ao comércio e aos serviços localizados essencialmente na Estrada de Benfica, que é a rua local mais movimentada da zona.

Na Estrada de Benfica evidencia-se a actividade económica da zona, que assenta no sector terciário, com grande abundância do comércio tradicional, constituído por lojas de pronto-avestir, sapatarias, cafés, restaurantes, lojas de móveis e de electrodomésticos, e pelos serviços representados por escritórios e bancos (*cf.* Figura 4.2a e b).

A urbanização da zona norte é nitidamente verticalizada, onde mais de 50% das edificações são compostas por 5 ou mais pisos. Apenas cerca de 18% dos edifícios têm 1 ou 2 pisos (*cf.* Figura 4.3c). Aliado a este padrão verticalizado e à idade dos edifícios (superior a 50 anos) encontramos apenas 10% das construções com paredes de alvenaria e argamassa, sendo 90% construídas com elementos estruturais resistentes de betão (*cf.* Figura 4.3d).

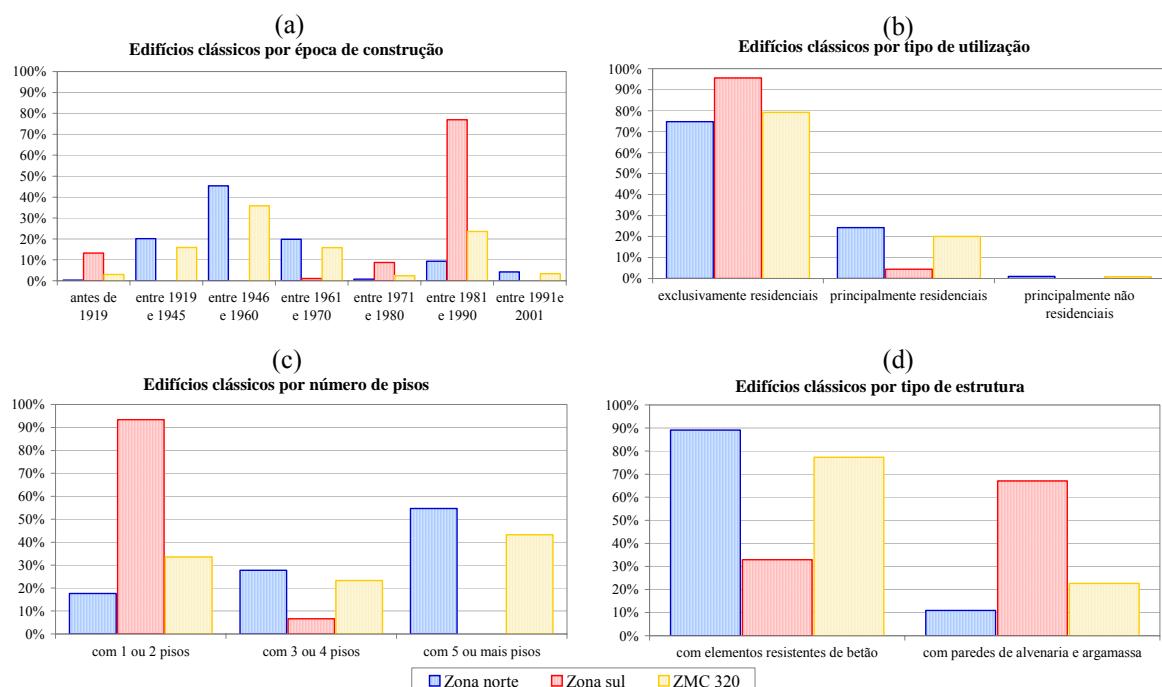


Figura 4.3 – Estatística baseada no Censo 2001, referente aos Edifícios por (a) época de construção, (b) tipo de utilização, (c) número de pisos e (d) tipo da estrutura, para as regiões norte e sul e para a ZMC 320 (fonte: Instituto Nacional de Estatística – Portugal).

Quanto aos alojamentos familiares, apenas uma parcela muito pequena (inferior a 1%), não assegura aos seus habitantes as condições básicas de uma infra-estrutura de habitação, ou seja, não dispõem de electricidade, água, esgotos, retretes ou banho (*cf.* Figura 4.4).

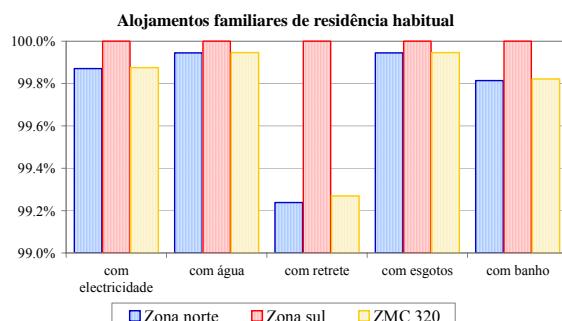


Figura 4.4 – Estatística baseada no Censo 2001, referente às condições de infra-estrutura dos alojamentos para as regiões norte e sul e para a ZMC 320 (fonte: Instituto Nacional de Estatística – Portugal)

O forte crescimento populacional ocorrido nesta zona durante as décadas de 60, 70 e 80 resultam hoje, numa população envelhecida: 58% dos residentes distribuem-se entre os 20 e os 64 anos, e 31% da população tem 65 anos ou mais (*cf.* Figura 4.5a).

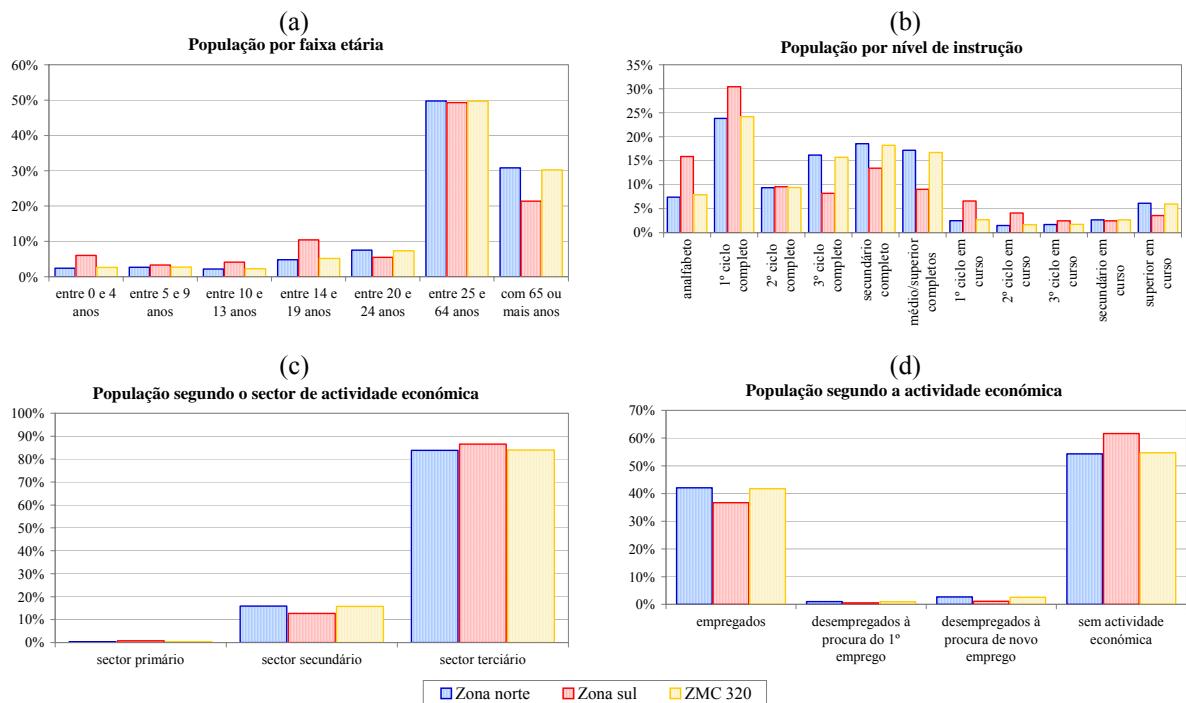


Figura 4.5 – Estatística baseada no Censo 2001, referente à população por (a) faixa etária, (b) nível de instrução, (c) sector da actividade económica e (d) actividade económica, para as regiões norte e sul, e para a ZMC 320 (fonte: Instituto Nacional de Estatística – Portugal)

Em termos de grau de instrução, cerca de 42% da população não está assegurada pelo 9º ano obrigatório, em conformidade com a média do Distrito de Lisboa. Em contrapartida, cerca de 45% da população completou, ou está a frequentar o secundário ou uma licenciatura, o que está muito acima da média do distrito (*cf.* Figura 4.5b). A expansão rápida dos graus secundários e superior tem-se vindo a verificar na Freguesia de São Domingos de Benfica, colocando-a no conjunto das freguesias em que os níveis de ensino mais elevados assumem maior expressão. Este desenvolvimento deve-se, em grande parte, ao crescimento da classe média.

No que diz respeito à composição sócio-profissional da zona norte, a população residente, quer trabalhe ou não na sua freguesia, é composta principalmente por funcionários públicos de serviços e empregados de comércio, seguido de trabalhadores independentes. Cerca de 83% da população ocupa-se no sector terciário (serviços), enquanto apenas 17% no sector secundário (indústria), não sendo expressivo o percentual no sector primário (indústria artesanal e agricultura) (*cf.* Figura 4.5c). Nesta zona, podemos destacar o Bairro de Furnas, com uma população composta basicamente por trabalhadores independentes e pensionistas.

Ainda sobre o aspecto económico, cerca de 55% da população da zona norte não apresenta actividade económica, sendo 45% referentes à população activa e cerca de 4% correspondem

a indivíduos à procura do primeiro ou de um novo emprego (Figura 4.5d). O Quadro 4.2 apresenta alguns indicadores utilizados na caracterização da área em estudo.

Quadro 4.2 – Indicadores baseados nos dados do Censo 2001.

Indicadores	ZMC 320	Zona norte	Zona sul
Edifícios / quarteirão	10.85	11.43	9.10
Alojamentos / edifício	7.73	9.43	1.30
Famílias / edifício	6.81	8.28	1.23
Núcleos familiares / família	0.61	0.60	0.84
Indivíduos / família	2.11	2.07	3.26
Famílias com idosos / núcleo	0.78	0.79	0.59
Reformados ou pensionistas / idosos	1.08	1.08	1.21
Estudantes / empregados	0.35	0.34	0.52
Idosos / empregados	0.72	0.73	0.58
Menores de 15 anos / empregado	0.18	0.17	0.37
Não activos / empregados	1.31	1.29	1.68

Fonte: Instituto Nacional de Estatística – Portugal.

#### 4.2.3.3 Zona Sul

Numa primeira análise baseada apenas em visitas locais à área em estudo (*cf.* Figura 4.6), foi possível identificar a diversidade da paisagem envolvida na caracterização desta zona. Esta ideia foi consolidada, à medida que se procedeu a uma análise mais pormenorizada, com base nos indicadores obtidos a partir dos dados censitários, já apresentados no decorrer das descrições sobre a zona norte.

A zona sul, apesar de possuir algumas construções datadas do início do século XX, apresentou um crescimento praticamente nulo até a década de 60, a partir do qual tem tido um crescimento muito discreto. Foi na década de 80 que esta zona deu um salto significativo com a construção de 77% das suas edificações (*cf.* Figura 4.3a), que corresponde provavelmente ao conjunto habitacional do Bairro do Calhau (i.e., um bairro social). A área ainda apresenta algum potencial de expansão, no entanto encontra-se limitada pelo Parque Florestal de Monsanto.

Nesta zona encontram-se algumas construções não residenciais, antigas e de grande porte, como sejam o Instituto de Inserção Social (Figura 4.6b), o Instituto Militar Pupilos do Exército (Figura 4.6c), a Paróquia de São Domingos de Benfica, e o Palácio Marqueses de Fronteira e Alorna (Figura 4.6d), para além de grandes áreas verdes por toda a zona, particularmente no Parque do Calhau e no Campo de Tiro.

Na zona sul, praticamente não se verifica a presença de actividades comerciais, sendo 96% dos edifícios exclusivamente residenciais (*cf.* Figura 4.3b).



Figura 4.6 – Imagens da zona sul: Vista da passagem pedonal aérea (a) para o lado esquerdo, (b) para o lado direito, (c) Instituto Militar Pupilos do Exército, (d) Palácio Marqueses de Fronteira e Alorna, (e) R. Flor da Serra – Calhau, Largo São Domingos de Benfica (f) para a esquerda e (g) para a direita.

Ao contrário da zona norte, a urbanização da zona sul é baseada em edificações de 1 e 2 pisos (i.e., cerca de 93%), não dispondo de edifícios com mais de 4 pisos (*cf.* Figura 4.3c), resultando numa percentagem elevada de construções com paredes de alvenaria e argamassa, em que apenas 32% dos edifícios foram construídos com elementos estruturais resistentes de betão (*cf.* Figura 4.3d).

As condições básicas de infra-estrutura, tais como electricidade, água, esgotos, retretes e banhos, estão asseguradas à totalidade dos seus habitantes de acordo com o Censo de 2001 (*cf.* Figura 4.4).

A população apresenta-se um pouco mais jovem em relação à da zona norte, com 10% a menos de idosos (i.e., com 65 anos ou mais), equilibrada por um aumento distribuído entre os jovens e as crianças (*cf.* Figura 4.5a), ainda assim podendo ser considerada uma população envelhecida.

A zona sul apresenta maior percentagem de indivíduos analfabetos e com apenas o 1º ou 2º ciclos completos, ultrapassando consideravelmente a média distrital. Também se evidencia um aumento nas percentagens de estudantes dos primeiros ciclos, que pode ser explicado pelo aumento da população de jovens e crianças (*cf.* Figura 4.5b).

Em relação à composição sócio-profissional da zona sul, a população residente também é composta principalmente por profissionais do sector terciário (i.e., cerca de 87%), enquanto apenas 13% da população activa pertence ao sector secundário e menos de 1% ao sector primário (Figura 4.5c).

Nesta zona, podemos destacar o Bairro do Calhau, cuja população é constituída, essencialmente, por operários, trabalhadores precários e pensionistas.

Ainda relativamente ao aspecto económico, mais de 60% da população da zona sul não apresenta actividade económica, sendo que, da população activa, menos de 2% correspondem a indivíduos à procura do primeiro ou de um novo emprego (Figura 4.5d).

## 4.3 AQUISIÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS DE CAUDAL E PRESSÃO

### 4.3.1 Introdução

Alegre (1994) refere-se à recolha de dados (e.g., caudal, pressão) como uma das vertentes mais críticas nos trabalhos experimentais realizados em protótipo e destaca alguns pontos importantes para a execução dos trabalhos de campo: (i) garantia da instalação e entrada em funcionamento dos equipamentos de medição e registo nos períodos seleccionados; (ii) permanência do posicionamento correcto das válvulas de seccionamento durante toda a campanha; (iii) adequada periodicidade de recolha dos registos; e (iv) sistematização na observação dos dados após a sua recolha, possibilitando a detecção de eventuais deficiências, a tempo de as corrigir.

Deste modo, o tratamento dos dados constitui a primeira fase do trabalho não devendo ser omitida, ou encurtada, em nenhuma circunstância. Esta fase contempla (i) a representação dos dados na forma tabular ou gráfica, (ii) a localização e demarcação dos registo espúrios, seguidas da decisão da atitude a ser tomada perante esses registo, e (iii) uma interpretação preliminar, de carácter qualitativo, do comportamento dos consumidores.

#### **4.3.2 Medições de Caudal**

No âmbito da caracterização dos consumos, o objectivo da monitorização de caudais é a obtenção de séries temporais e espaciais de valores que possam ser submetidas à análises estatísticas posteriores, e que permitam retirar informações quanto aos hábitos de consumo da população e à sua distribuição temporal diária, semanal e anual. Nesta conformidade, é fundamental que o comprimento das séries obtidas seja tão grande quanto possível. Por outro lado, é claro que amostras muito grandes aumentam o custo e a duração da campanha de recolha de dados, sendo necessário estabelecer um ponto de equilíbrio entre esses interesses antagónicos. Alegre (1994) refere que a experiência adquirida no Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) aponta para a realização de pelo menos duas a três campanhas de recolha de dados, realizadas em épocas distintas do ano, com duração média de um mês cada uma.

Os dados utilizados neste estudo foram obtidos durante uma Campanha de Medições de Caudais e Detecção Sistemática de Fugas (CDF), realizada pela equipa da Unidade de Detecção de Fugas da EPAL, S.A., durante aproximadamente 2 meses, no período de 17/09 a 12/11/2004. Esta campanha apresentou algumas diferenças em relação à prática corrente da EPAL nas campanhas de detecção de fugas, conforme pormenorizado no Subcapítulo 3.4. A alteração mais relevante foi na duração da campanha que passou das tradicionais três para oito semanas. Esta alteração deveu-se ao tempo dispendido na verificação de todas as ligações de consumo, com o propósito de actualizar o cadastro de ramais dos clientes, devido ao elevado volume de perdas ocorridas nesta ZMC.

A referida CDF resultou nos dados de caudal e pressão utilizados no presente estudo, o que justifica as características da amostra não atenderem exactamente às recomendações propostas na metodologia de referência. Contudo, a metodologia de caracterização dos consumos será efectuada com base nos únicos dados disponíveis.

Para garantir o isolamento da rede de distribuição de água da ZMC, cujo abastecimento é garantido através da Estrada de Benfica, nas proximidades do Jardim Zoológico, foi necessário o fechamento de 10 válvulas de seccionamento, que estão localizadas nas ligações da rede ao longo da Estrada de Benfica e da Rua Inácio de Sousa, ou sejam, as ruas que limitam a ZMC 320 em relação à rede de distribuição (*cf.* Desenho 1).

Os dados de caudal e pressão foram adquiridos por um *datalogger* digital, que recebeu os impulsos enviados pelos medidores de caudal e pressão, e os armazenou em suporte magnético. A frequência de amostragem utilizada foi de 30 registos por hora (i.e., período de

amostragem de 2 minutos). Os registos de caudal e pressão, expressos, respectivamente, em  $\text{m}^3/\text{h}$  e m, estão apresentados no Anexo 2 (por dia de medição) e de forma sintetizada na Figura 4.7.

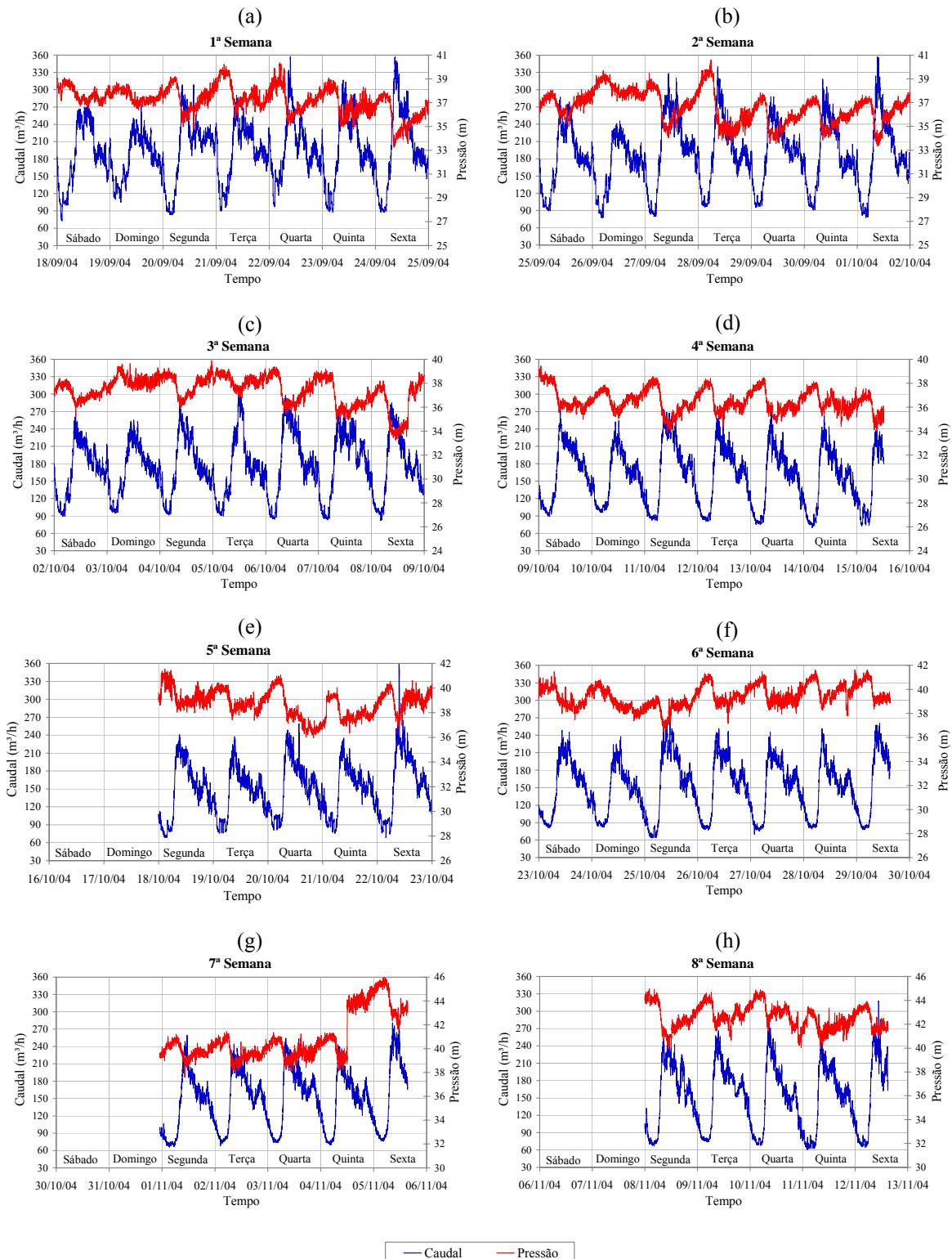


Figura 4.7 – Medição de caudal e pressão na entrada da ZMC 320, durante a (a) 1<sup>a</sup> semana, (b) 2<sup>a</sup> semana, (c) 3<sup>a</sup> semana, (d) 4<sup>a</sup> semana, (e) 5<sup>a</sup> semana, (f) 6<sup>a</sup> semana, (g) 7<sup>a</sup> semana, e (h) 8<sup>a</sup> semana, da CDF.

A planta da rede de distribuição da ZMC 320, com a indicação das válvulas de seccionamento que a delimitam, bem como a localização do medidor de caudal e pressão na entrada da zona, encontram-se no Desenho 1.

A medição de caudal, que teve início em 17/09/2004 (sexta-feira) e terminou a 12/11/2004 (sexta-feira), não foi efectuada continuamente durante as oito semanas de campanha, tendo sido efectuadas três substituições do *datalogger*, (i.e., nos dias 15/10/2004, 29/10/2004 e 05/11/2004) sempre nas tardes de sexta-feira, com programação de reinício de medição para às 0:00 horas da segunda-feira subsequente. Deste modo, perderam-se as medições das referidas sextas-feiras (i.e., os dados diários apresentam-se incompletos) e dos fins-de-semana. Também foram inutilizados, por se encontrarem incompletos os dados dos dias 17/09/2004 e 12/11/2004, correspondentes aos dias de início e término das medições.

#### 4.3.3 Grandes Consumidores

Conforme foi apresentado na caracterização da ZMC 320, em 4.2.3, é nesta zona que se localiza o Jardim Zoológico de Lisboa. Trata-se de um grande consumidor que sozinho é responsável por cerca de 28% do consumo total da zona, e por esta razão requereu especial atenção entre os consumidores da ZMC.

Entre os dias 16 e 23/10/04, correspondente à 5<sup>a</sup> semana da CDF na ZMC 320, foram efectuadas medições de caudal à entrada do Jardim Zoológico, que se apresentam, de forma condensada, na Figura 4.8, e por dia de medição, no Anexo 3.

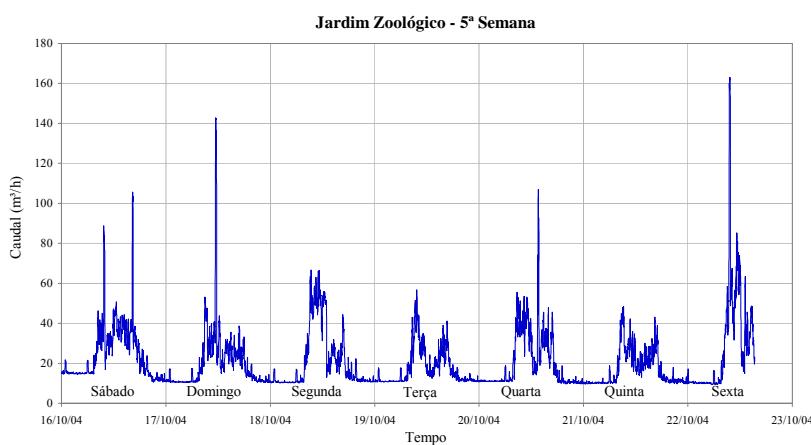


Figura 4.8 – Medições de caudal à entrada do Jardim Zoológico, durante a 5<sup>a</sup> semana da CDF.

Os caudais apresentaram um desenvolvimento semelhante ao longo da semana, verificando-se: (i) grandes variações do consumo diurno, onde se evidenciam dois *picos* ocorridos por volta das 9:30 e das 15:30 h, e alguns *picos* isolados e completamente aleatórios de consumos extremamente elevados; e (ii) um caudal nocturno, praticamente constante, entre as 20:00 e as 7:00 h.

#### 4.3.4 Análise dos Dados

A análise dos registo de caudal medidos durante a CDF passou por identificar, diagnosticar e corrigir eventuais comportamentos anómalos no consumo da ZMC, registados no período da campanha.

A primeira fase da avaliação foi a normalização dos dados, que consiste em organizá-los de forma sistemática. Foram criados oito ficheiros normalizados (i.e., um para cada semana de campanha). Cada ficheiro contém uma folha com os dados de data/hora, caudal (em  $m^3/h$ ) e pressão (em m) organizados em três colunas com 5040 linhas de dados (i.e., para cada variável existem 720 registo por dia, cujo período de amostragem foi de 2 minutos), e sete folhas contendo as representações gráficas das curvas de caudal e pressão para cada dia da semana (*cf. Anexo 2*). Através desta série de gráficos foi possível identificar e corrigir os registo espúrios de caudal e pressão, que não caracterizavam a normalidade do consumo na zona.

Um registo é considerado espúrio quando resulta de problemas técnicos na medição ou registo dos dados, ou de deficiências no abastecimento (e.g., ocorrência de roturas ou interrupções no abastecimento devido a uma paragem de um grupo elevatório).

Após a correcção destes registo foi criado um ficheiro geral reunindo as medições de caudal das oito semanas de campanha numa única folha de cálculo. Os dados de caudal, registados a cada 2 minutos, foram agrupados em intervalos de 5 registo, traduzindo-se assim, o consumo médio em cada 10 minutos. Este ficheiro geral tornou-se a base de dados para as análises posteriores, permitindo inclusive, a representação gráfica das curvas de caudal sobrepostas por dia da semana (*cf. Anexo 4*) e por semana da campanha (*cf. Anexo 5*).

Entre as causas atribuídas aos valores espúrios encontrados nos registo foram identificados a ocorrência de roturas na rede, que provocaram aumentos pontuais no consumo, e a ocorrência de manobras de válvulas de seccionamento necessárias à execução de reparações na rede, que reflectiram um período de queda seguido por um período de aumento nos consumos. Estas anomalias são responsáveis por alterações do consumo pontuais ou durante pequenos intervalos do dia.

Destaca-se, também, a ocorrência de alguns *picos* de consumo observados na ZMC, sem causa aparente, e que após uma análise mais detalhada se verificou estarem directamente relacionados aos consumos realizados pelo Jardim Zoológico, que apresentam um consumo bastante aleatório no período diurno chegando a ocorrer *picos* da ordem de 8 vezes o consumo médio diário. Estes registo não foram tratados por representarem o consumo da ZMC.

A observação das curvas de consumo sobrepostas por dias da semana (e.g., todas as segundas-feiras da campanha – *cf. Figura 4.9a*) e por semana da campanha (e.g., todos os dias da 7<sup>a</sup> semana – *cf. Figura 4.9b*) permitiu identificar anomalias diárias, como é o caso dos feriados ocorridos em dias úteis da semana. A distribuição do consumo diário num feriado

pode variar consoante o dia da semana ou o período do ano em que ocorre, e consoante a sua maior ou menor abrangência nos hábitos da sociedade. No entanto, não sendo possível proceder a uma avaliação mais detalhada desses casos, tendo em conta a limitação dos registos disponíveis no âmbito deste estudo, os dois feriados existentes (i.e., 5 de Outubro e 1 de Novembro) foram tratados como domingos, por se assemelharem mais aos consumos destes dias, nas respectivas semanas de ocorrência.

Observou-se, também, uma sensível redução no consumo do período matinal do dia 04/10/2004, em relação aos dias úteis da referida semana, ou seja, uma segunda-feira que antecedeu a um feriado. Isto deve-se ao facto de algumas actividades, principalmente escolares, estarem encerradas nestes dias. Não foi dado nenhum tratamento especial a este caso.

Relativamente aos consumos nocturnos, ficou evidente a utilização sistemática dos marcos de incêndio, seja pelo enchimento de autotanques para uso posterior em lavagem de ruas, ou pelo uso directo através da ligação de mangueiras. No primeiro caso, a curva de consumo é caracterizada por *picos* pontuais de consumo, que ocorrem por volta das 0:45, 2:45 e 4:45 h, como pode ser observado no pormenor 1 da Figura 4.9a. O intervalo decorrido entre os dois abastecimentos sucessivos destina-se provavelmente ao tempo necessário para a realização dos trabalhos, que se referem, principalmente, à lavagem de ruas e à rega de espaços verdes. No segundo caso, a curva de consumos é caracterizada por um patamar de consumo intercalado por intervalos muito curtos de ausência deste consumo, como pode ser observado no pormenor 2 da Figura 4.9c. Estes períodos curtos de ausência do consumo referem-se por exemplo, ao tempo necessário para alteração da ligação ao marco de incêndio, com a finalidade de alcançar um novo trecho da rua.

Este tipo de consumo, embora ocorram também ao longo do dia, são mais evidentes durante o período nocturno.

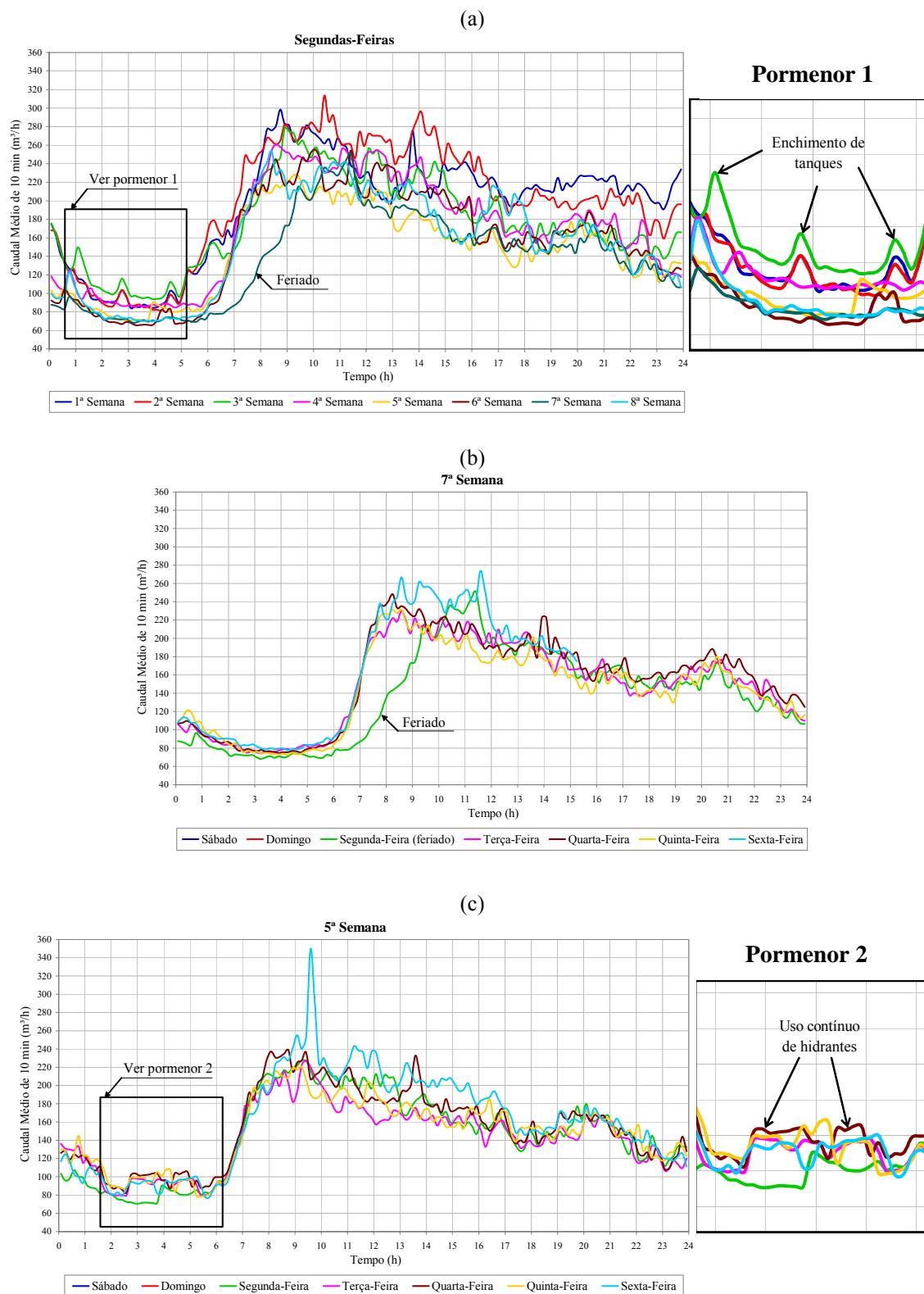


Figura 4.9 – Curvas de consumo agrupadas (a) por dia da semana (segunda-feira), e por semana da campanha (b) 7<sup>a</sup> semana e (c) 5<sup>a</sup> semana.

### 4.3.5 Tratamento Estatístico dos Dados

#### 4.3.5.1 Introdução

O consumo de água numa determinada zona corresponde à soma de todos os consumos individuais dessa zona. A previsão instantânea desses consumos individuais não é possível, contudo numa análise qualitativa evidenciam-se as variações ocorridas ao longo do dia, da semana e até mesmo em períodos do ano. Sendo assim, devem-se encarar os consumos de água como variáveis estocásticas (i.e., relacionadas ao acaso), que podem ser decompostas em funções periódicas de ciclos diário, semanal e sazonal. A análise de um dado período do dia, num dia específico da semana (e.g., sábados das 9:00 às 9:10 h), permite concluir que os consumos de água podem ser considerados como variáveis aleatórias simples (Alegre, 1994).

Segundo Alegre (1994), a observação dos dados permite identificar algumas das características dominantes de uma área de estudo, contudo, as diferenças não explicadas entre caudais que ocorrem entre momentos consecutivos dificultam essa interpretação. Pelo que, só através da aplicação de técnicas estatísticas é possível destriñçar entre as tendências reais e as flutuações ocorridas por se tratarem de variáveis aleatórias.

Coelho (1990), com base num estudo de investigação efectuado no Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), concluiu que as distribuições do consumo num dado instante do dia tendem a apresentar-se plurimodais, ou seja, que além da componente de consumo aleatória podem existir outras componentes não aleatórias. O mesmo autor verificou que este efeito desaparece se todos os registos diárias forem adimensionalizados, i.e., divididos pelo caudal médio do respectivo dia, obtendo-se uma série que pode ser descrita por uma distribuição log-normal, sobre a qual se torna possível a aplicação de técnicas estatísticas, como os testes de hipóteses e a determinação dos intervalos de confiança.

Nesta conformidade, criou-se um novo ficheiro geral, baseado no anterior, diferindo apenas deste por apresentar consumos adimensionalizados. Este ficheiro deu origem às novas séries gráficas com as curvas de factores de carga diárias sobrepostas por dia da semana e por semana da campanha, que permitiram orientar as análises subsequentes.

No universo dos dados de consumo recolhidos na ZMC 320, quando analisado o conjunto de valores relativos ao factor de carga de um dado instante de um dia específico da semana, não se verificou a conformidade com uma distribuição log-normal, verificando-se uma grande oscilação dos coeficientes de assimetria calculados. Contudo, este facto deve-se muito provavelmente ao tamanho reduzido da amostra, (i.e., que varia apenas de quatro a oito elementos consoante o dia da semana, dado que a amostragem não foi contínua ao longo das oito semanas de campanha). Deste modo optou-se por prosseguir, com parcimónia, as análises estatísticas.

#### 4.3.5.2 Dias Úteis da Semana

Procedeu-se à avaliação qualitativa dos dados, através da observação das séries gráficas dos factores de carga diárias geradas anteriormente, com o intuito de identificar as semelhanças entre os consumos dos dias úteis da semana.

Em primeiro lugar avaliaram-se os dias úteis, para verificar a possibilidade de agrupá-los, com o intuito de se aumentar o tamanho da amostra e consequentemente a representatividade dos dados. Quando confrontados todos os dias úteis da amostra, foram observadas grandes variações nos consumos, que se acentuam a partir das 8:00 h da manhã, quando efectivamente têm início as actividades da população. Estas variações já eram esperadas uma vez que se tratam de variáveis estocásticas, embora se observe claramente o seu comportamento oscilatório, com características semelhantes entre os dias da semana, quando confrontamos as curvas médias das oito semanas (*cf.* Figura 4.10).

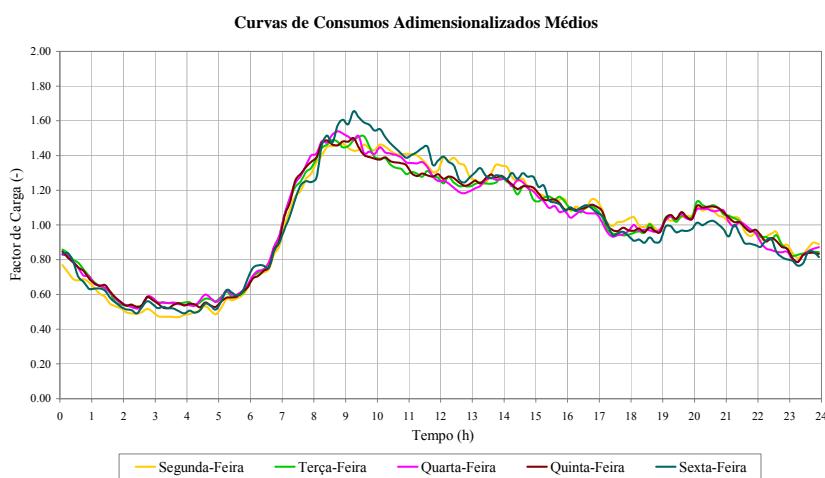


Figura 4.10 – Curvas de consumos adimensionalizados médios de cada dia útil da semana.

Com recurso a testes estatísticos tentou-se verificar a hipótese de igualdade entre os consumos ocorridos nos dias úteis da semana, ou seja, a hipótese de todos os dias úteis pertencerem à mesma população estatística. Contudo esta hipótese foi rejeitada em cerca de 58% das amostras, apesar da aparente semelhança observada graficamente. Atribui-se este resultado à conjugação de três factores, estando dois deles relacionados com os procedimentos da campanha de recolha dos dados e o terceiro a uma característica específica da ZMC 320 que se descrevem de seguida.

O primeiro factor refere-se ao *tamanho da amostra* (i.e., apenas oito semanas) e à *falta de continuidade dos dados* (i.e., dados incompletos nas sextas-feiras, e inexistentes nos sábados e domingos das últimas semanas), conforme referido em 4.3.2.

O segundo factor relaciona-se com a diminuição dos consumos durante a campanha. Esta diminuição deveu-se, por um lado, à *redução de perdas reais* resultante das reparações efectuadas na rede durante a campanha (esta redução é muito significativa nas horas de menor consumo), e por outro lado, à *variação sazonal dos consumos* uma vez que a

campanha decorreu de Setembro a Novembro, sofrendo influências do fim do Verão e início do Inverno.

O terceiro factor, e talvez o mais importante, diz respeito ao maior consumidor da ZMC – o Jardim Zoológico – o qual não apresenta regularidade de consumo ao longo do dia para os vários dias da semana, de acordo com as medições de caudal efectuadas durante a 5<sup>a</sup> semana de campanha (*cf.* Figura 4.11). Pela presença deste consumidor, que representa 28% do consumo médio da ZMC 320, acredita-se que o agrupamento dos dias úteis da semana, normalmente tomado como regra neste tipo de estudo, não se possa aplicar a esta zona, ou pelo menos que seja aplicado com parcimónia.

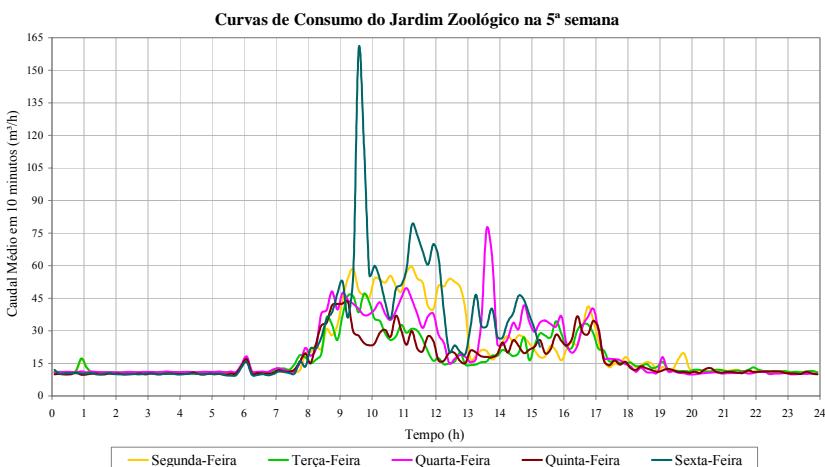


Figura 4.11 – Curvas de consumo do Jardim Zoológico durante a 5<sup>a</sup> semana da campanha.

Apesar do resultado do teste de hipóteses desaconselhar o agrupamento dos dias úteis em mais da metade dos registo analisados, não se considera conclusiva esta decisão, quando ponderados os problemas relacionados com a amostra e com o grande consumidor (o Jardim Zoológico) e confrontadas as curvas de consumos adimensionalizados médios dos dias úteis (*cf.* Figura 4.10). Neste contexto, dada a necessidade de se trabalhar com o mínimo de perfis de consumo, optou-se por agrupar os *dias úteis* e apenas separá-los dos *sábados* e dos *domingos e feriados*.

#### 4.3.5.3 Sábados, Domingos e Feriados

Na análise qualitativa dos dados, através da observação das séries temporais diárias identifica-se nitidamente a diferença entre os consumos dos sábados e dos domingos, tanto entre si, como, e principalmente, comparado aos dias úteis da semana (*cf.* Anexo 5).

Relativamente aos dias úteis, os sábados apresentam um pequeno aumento de consumo no período da 0:00 às 6:30 h, a partir do qual se evidencia até às 9:30 h uma considerável redução no consumo. Entre as 9:30 e as 12:00 h, o consumo assemelha-se ao dos dias úteis, mas, no período das 23:00 às 24:00 h, o consumo dos sábados volta a subir.

Quanto aos domingos, estes apresentam um consumo ainda maior do que o dos sábados no período das 0:00 às 2:00 h da madrugada, aproximando-se destes até às 6:00 h da manhã.

Entre as 6:00 e as 11:00 h, os consumos dominicais são ainda mais baixos do que os dos sábados. A partir das 11:00 h, os consumos dos domingos assemelham-se aos dos dias úteis da semana.

Estas características, dadas pelo aumento do consumo nocturno e a redução do consumo no início da manhã, identificadas nos fins-de-semana, principalmente nos domingos, são típicas de uma zona residencial onde os consumidores prolongam as suas actividades no período nocturno, e aproveitam para dormir até mais tarde no dia seguinte. Este comportamento acentua-se de sábado para domingo, pois muitas pessoas ainda trabalham ao sábado, ou pelo menos executam tarefas domésticas. No domingo à tarde, os consumos tendem à normalidade dos dias úteis, pois as pessoas preparam-se para mais uma semana de trabalho.

Estes comentários retratam as ocorrências observadas separadamente em cada uma das oito semanas de campanha, e podem ser visualizadas através das curvas de consumos adimensionalizados médios globais para o período de campanha, obtidas para os *dias úteis*, os *sábados*, os *domingos e feriados*, apresentadas na Figura 4.12.

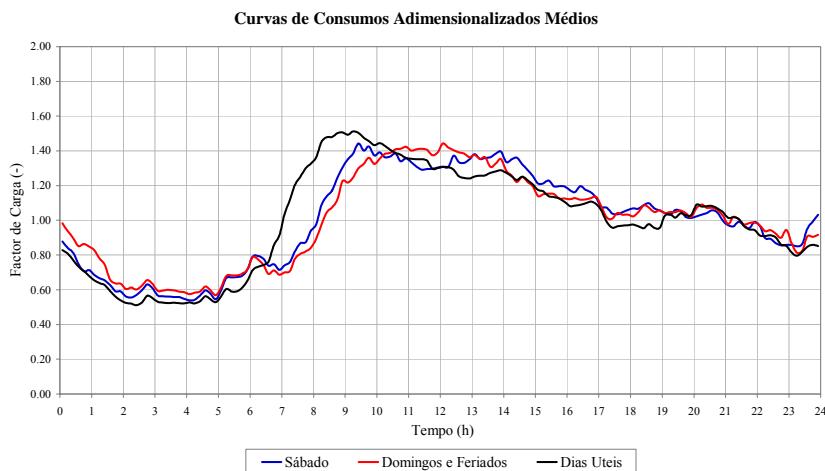


Figura 4.12 – Curvas de consumos adimensionalizados médios dos sábados, domingos e feriados e dos dias úteis.

#### 4.3.5.4 Estatísticas Complementares

Apresentam-se alguns dados globais acerca dos consumos, capitações e factores de carga atribuídos à ZMC 320, que vêm a complementar os resultados apresentados até ao momento, para além de contribuírem para a análise subsequente.

#### Consumos Médios, Máximos e Mínimos

Com base nos valores médios de caudal em intervalos de 10 minutos, determinaram-se, para cada dia da campanha, os caudais médios, máximos e mínimos diários. A partir destes resultados, determinaram-se os caudais (i) médios, (ii) máximos (máximos e absolutos) e (iii) mínimos (máximos e absolutos), bem com o (iv) desvio padrão destes valores, para cada dia da semana, entre os resultados diários das oito semanas. O Quadro 4.3 e a Figura 4.13 apresentam estes resultados.

Quadro 4.3 – Consumos médios, máximos e mínimos para cada dia da semana, média dos dias úteis e média semanal.

Consumos Diários (m <sup>3</sup> /h)		Sábado	Domingos e feriados	Segunda-feira	Terça-feira	Quarta-feira	Quinta-feira	Sexta-feira	Dias úteis	Semana
Médio	Média	170.93	161.19	170.99	163.81	166.53	162.42	179.63	167.46	166.88
	Desvio Padrão	11.61	15.12	18.51	18.08	18.88	19.13	15.14	19.07	18.03
Máximos	Máximo Absoluto	273.74	298.40	313.53	324.56	338.03	298.82	350.35	350.35	350.35
	Média	261.74	248.22	269.62	257.53	270.16	255.44	306.83	268.30	264.53
	Desvio Padrão	15.11	22.53	27.14	31.95	31.78	27.11	42.29	34.95	32.50
Mínimos	Mínimo Absoluto	77.71	68.29	65.81	74.36	69.45	63.23	77.76	63.23	63.23
	Média	86.68	89.69	78.65	82.99	82.78	79.35	83.06	81.20	83.09
	Desvio Padrão	5.36	12.24	9.36	8.28	10.00	9.08	4.39	9.01	9.83

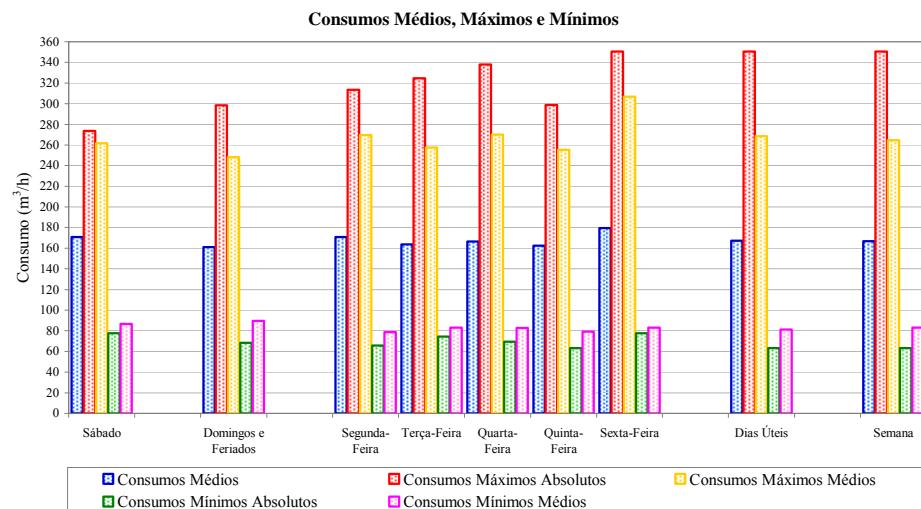


Figura 4.13 – Consumos médios, máximos e mínimos para cada dia da semana, média dos dias úteis e média semanal.

A comparação dos valores médios diários de consumo obtidos para os dias úteis da semana permite verificar que o consumo é consideravelmente superior para a sexta-feira. Por outro lado, através de uma análise dos caudais máximos médios e absolutos, em conjunto com o seu desvio padrão (bastante elevado), percebe-se que os valores elevados obtidos para a sexta-feira se devem, em parte, a consumos pontuais elevados, provavelmente associados ao Jardim Zoológico.

Quando comparados os valores médios dos dias úteis da semana com os dos sábados e dos domingos, observam-se valores da mesma ordem de grandeza, ao contrário do esperado que eram caudais maiores para o fim-de-semana, uma vez que é zona predominantemente

residencial, com pouco comércio, com uma população envelhecida e de baixo poder aquisitivo, permanecendo em casa nos fins-de-semana.

Quanto aos caudais mínimos, verificou-se que o desvio padrão obtido deste parâmetro é inferior ao dos caudais médios ou máximos, o que evidencia uma maior uniformidade dos caudais nocturnos, como era esperado.

### **Capitações da Zona em Estudo**

O cálculo da capitação na área em estudo baseou-se nos dados de consumo facturado anual referentes ao ano de 2004. Estes dados foram obtidos a partir de micromedições cuja periodicidade é em geral semestral, destacando-se apenas alguns consumidores cujos níveis elevados de consumo justificam medições com maior frequência.

O consumo facturado total no ano de 2004, na ZMC 320 foi de 610 744 m<sup>3</sup>, dos quais 291 773 m<sup>3</sup> correspondem aos consumidores cujas actividades não se relacionam aos consumos residenciais (e.g., Jardim Zoológico, Canil, Pupilos do Exercito, Mercado Municipal), e 13 992 m<sup>3</sup> foram consumidos através das bocas de rega existentes na zona. Considerando a população residente de 6 237 indivíduos e o consumo facturado total na zona, estima-se a capitação em 268 l/hab./dia, o que não representa o consumo efectivo da população mas um consumo equivalente, uma vez que estão presentes na área grandes consumidores não residenciais incluídos neste valor.

Eliminando os grandes consumidores e a água destinada à rega, o consumo anual reduz-se para 305 009 m<sup>3</sup>, resultando numa capitação de aproximadamente 134 l/hab./dia, que ainda engloba a parcela do consumo relacionado com o sector terciário. Com base nesta capitação, e considerando o consumo total da zona de 610 744 m<sup>3</sup> estimou-se a população equivalente em 12 489 habitantes.

### **Factores de Carga Máximos Diários**

Apresentam-se no Quadro 4.4 os factores de carga máximos para cada dia da semana. Estes factores foram calculados como a razão entre a *média dos caudais máximos diárias das oito semanas* e o respectivo *caudal médio*, para cada dia da semana, com base nos caudais médios em intervalos de 10 minutos.

Quadro 4.4 – Factores de carga máximos para cada dia da semana, dias úteis e toda a semana.

	Sábado	Domingos e feriados	Segunda-feira	Terça-feira	Quarta-feira	Quinta-feira	Sexta-feira	Dias úteis	Semana
Factores de carga máximos	1.53	1.54	1.58	1.57	1.62	1.57	1.71	1.60	1.59
Período de ocorrência	9:30	10:30	8:30	8:30	8:45	8:45	9:30	-	-

A análise do Quadro 4.4 permite concluir que:

- (i) os menores factores de carga máximo diário ocorrem nos fins-de-semana, pelas 9:30 h aos sábados (1.53) e 10:30 h aos domingos e feriados (1.54), ou seja mais tarde do que na maioria dos dias úteis, quando o *pico* de consumo ocorre por volta das 8:40 h (1.60).
- (ii) não se verificam grandes diferenças entre os factores de carga máximos observados nos diversos dias da semana, excepto à sexta-feira, variando entre um mínimo de 1.57, às terças-feiras, e um máximo de 1.62, às quartas-feiras.
- (iii) o factor de carga máximo mais elevado (1.71) verifica-se à sexta-feira entre as 9:30 e as 10:00 h (*cf.* Figura A4.4 do Anexo 4). Julga-se que este valor se deva a dois factores. O primeiro é a aleatoriedade dos consumos do Jardim Zoológico que, durante a semana onde se efectuaram as medições, apresentou também um *pico* de consumo próximo das 9:30 de sexta-feira (*cf.* Figura 4.11). O segundo é a falta de dados das sextas-feiras nas últimas semanas de campanha, o que torna a amostra menos representativa (só se dispunham de medições de caudal em 4 sextas-feiras, das 8 semanas de campanha).

#### **4.3.6 Perfil Padronizados de Consumo**

O conhecimento dos padrões de consumo de água ao longo do dia proporciona grandes vantagens para a gestão dos sistemas, uma vez que permite orientar a operação, racionalizar a manutenção e definir planos estratégicos de planeamento, bem como definir a estimativa de consumos para aplicação em projectos de áreas semelhantes.

Com o interesse de conhecer esta variação, é necessária a determinação de diagramas médios de consumo ao longo do dia, que possam retratar, com determinada confiança, a variação diária de consumo numa dada zona. Estes diagramas têm como abcissas as 24 horas do dia e como ordenadas podem utilizar-se os caudais consumidos, ou os caudais adimensionalizados pela média diária, obtendo-se, neste caso, um perfil adimensional ou perfil padronizado de consumo.

Os diagramas aplicam-se a qualquer dia isolado ou ao conjunto de dias da semana (e.g., dias úteis ou toda a semana), à totalidade das semanas, ou apenas a parte delas, consoante a semelhança das estatísticas previamente analisadas. Porém, o cálculo dos valores médios em cada período do dia não dá quaisquer indicações sobre a variabilidade dos valores medidos, nem tão pouco da probabilidade de excedência de um dado valor de consumo, sendo necessário calcular os intervalos de confiança para a média do conjunto.

Alegre (1994) destaca o uso destes padrões de consumo na análise quantitativa das diferenças de comportamento entre (i) dias da semana para o mesmo grupo de consumidores, (ii) entre grupos diferentes de consumidores e (iii) para avaliar percentagens de fugas de água.

Na determinação dos intervalos de confiança foi utilizado um nível de significância ( $\alpha$ ) de 0.1, que corresponde a um nível de confiança de 90%. Tendo em conta a pequena dimensão da amostra de consumos referentes aos sábados ( $n = 4$ ) e aos domingos e feriados ( $n = 6$ ), considerou-se uma distribuição de *t-student* com  $n-1$  graus de liberdade tipicamente utilizada para amostras com menos de trinta elementos ( $n < 30$ ). Por outro lado, utilizou-se a variância amostral corrigida ( $s^2$ ), visando igualmente aumentar a fiabilidade dos resultados. Mesmo no caso dos dias úteis, onde a amostra tinha trinta e quatro elementos ( $n = 34$ ), optou-se por adoptar a distribuição de *t-student* com os mesmos critérios adoptados para os sábados e domingos, dada a incerteza sobre o agrupamento desta amostra. A distribuição de *t-student* é definida por:

$$X = \bar{X} \pm t_{(\alpha/2, n-1)} \cdot \frac{s'}{\sqrt{n}} \quad (4.1)$$

onde

- |                       |  |
|-----------------------|--|
| $X$                   | : variável aleatória;  |
| $\bar{X}$             | : média amostral;  |
| $t_{(\alpha/2, n-1)}$ | : inversa da distribuição <i>t</i> de Student em função da probabilidade bicaudal ( $\alpha/2$ ) e do grau de liberdade ( $n-1$ ); |
| $\alpha$              | : nível de significância;  |
| $s'$                  | : desvio padrão amostral corrigido;  |
| $n$                   | : dimensão ou número de registo da amostra.  |

Para efeitos de comparação com os limites de confiança encontrados, dado que não se conseguiu verificar a normalidade da amostra, são apresentadas também as curvas de valores máximos e mínimos junto aos perfis padronizados de consumo referentes à média das oito semanas de campanha, para os sábados (Figura 4.14a), os domingos e feriados (Figura 4.14b), e os dias úteis da semana (Figura 4.14c).

Na Figura 4.14a, pode observar-se que os limites de confiança são praticamente coincidentes com as curvas de máximos e mínimos das amostras, afastando-se razoavelmente da média amostral. Conclui-se, assim, que o tamanho reduzido das amostras referentes aos consumos nos sábados ( $n = 4$ ), não é suficiente para traduzir a média populacional com uma boa fiabilidade. À medida que se aumenta o tamanho da amostra, observa-se um deslocamento dos limites de confiança em direcção à média amostral, distanciando-se dos pontos de máximos e mínimos da amostra (comparar a Figura 4.14a com a Figura 4.14c, onde a dimensão da amostra passa de  $n = 4$  para  $n = 34$ ).

Ao agruparem-se todos os dias úteis da semana, aumenta-se consideravelmente a confiança na média amostral, como representante da média populacional, reduzindo com isso o intervalo do erro, como pode ser observado na Figura 4.14c.

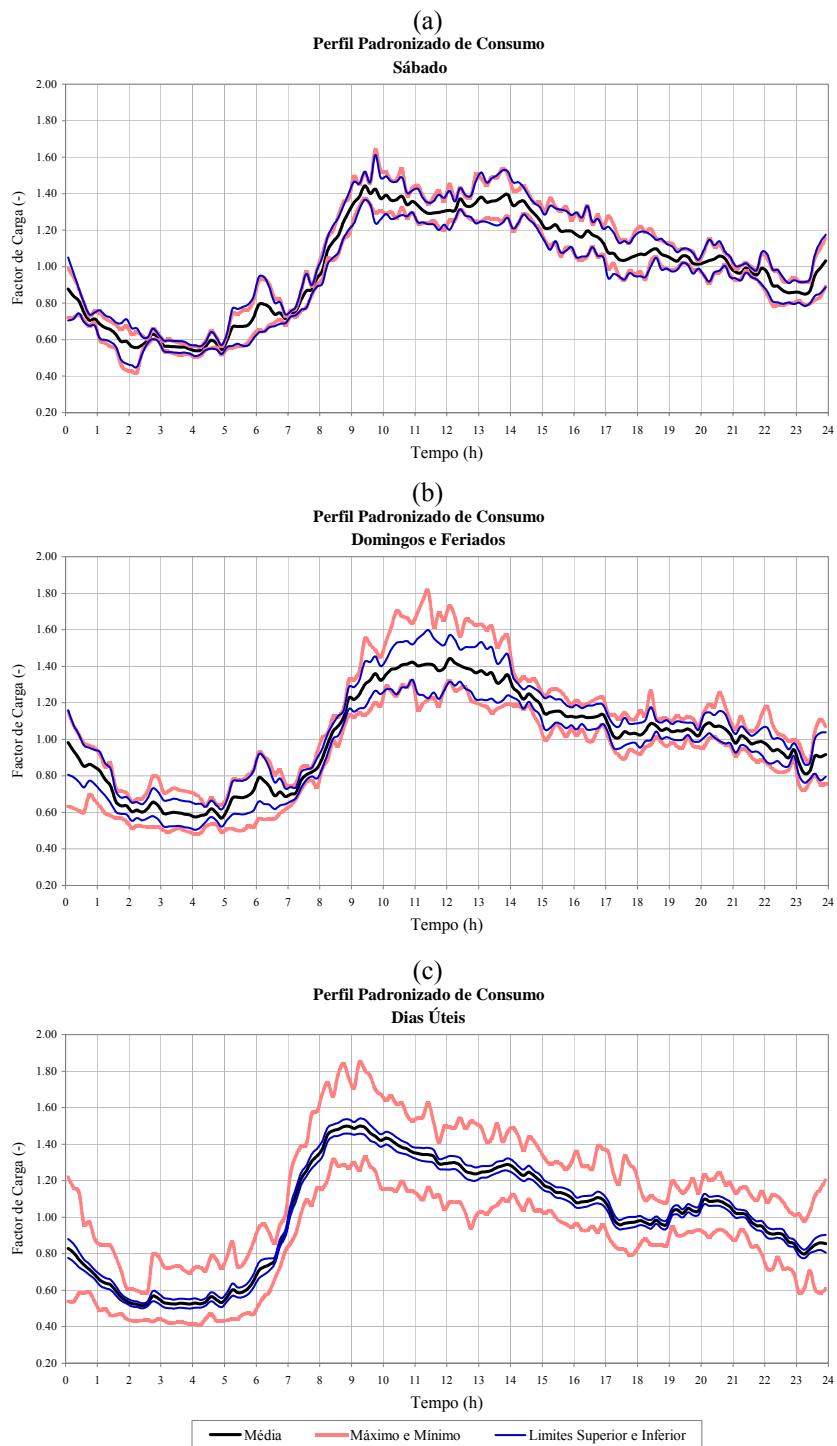


Figura 4.14 – Perfil padronizado de consumo dos (a) sábados, (b) domingos e feriados e (c) dias úteis, com intervalo de confiança de 90%, relativo às oito semanas de campanha.

Para facilitar futuras utilizações dos padrões de consumo, estes foram discretizados em intervalos de uma hora, e apresentados em gráficos de barras (*cf. Figura 4.15*).

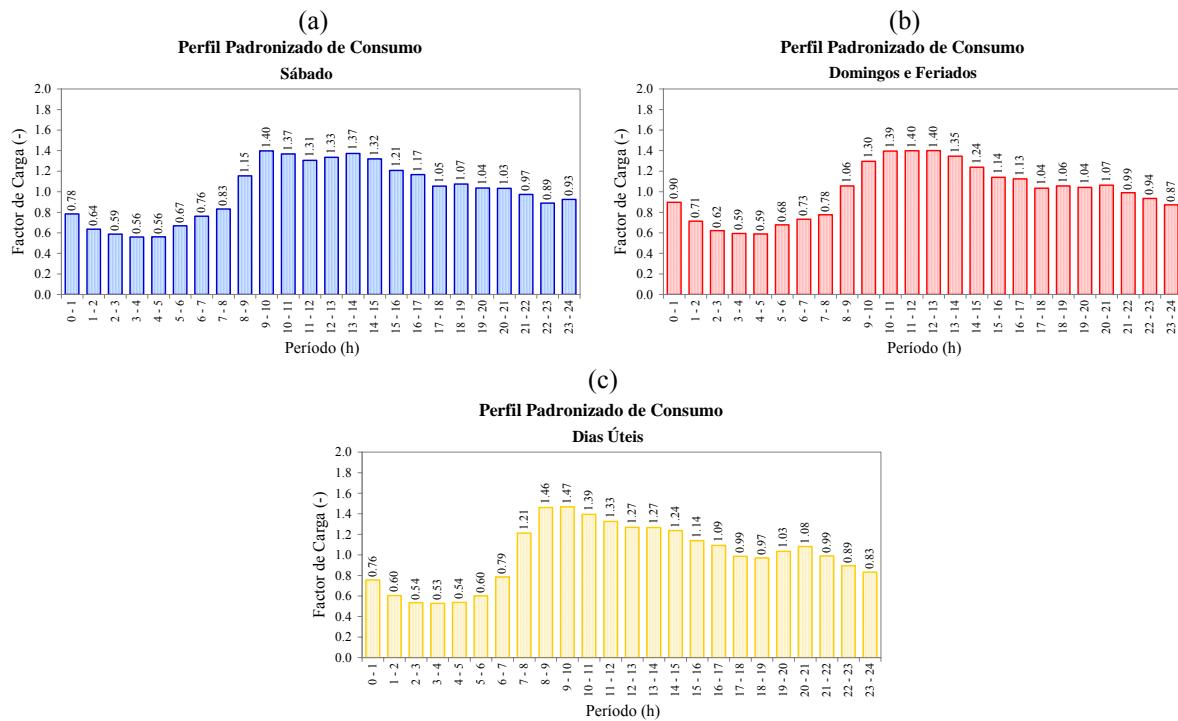


Figura 4.15 – Perfis padronizados de consumo (a) sábados, (b) domingos e feriados, (c) dias úteis.

## 4.4 ANÁLISE CONJUNTA DOS RESULTADOS

### 4.4.1 Introdução

Após uma análise individualizada das características sócio-demográficas e habitacionais da ZMC em estudo e dos dados obtidos a partir das medições de caudal incluindo a análise estatística, procedeu-se a uma análise e comparação dos resultados das duas abordagens (i.e., caracterização sócio-demográficas e resultado dos cálculos estatísticos) com o objectivo de encontrar relações que facilitassem a interpretação dos padrões de consumo. Esta interpretação seria mais abrangente se houvessem dados que permitissem uma comparação entre zonas distintas, ou seja, uma análise inter-áreas de abastecimento. No entanto, por não se dispor de informações de outras áreas uma área de estudo, foi possível proceder apenas a uma avaliação intra-área.

### 4.4.2 Análise Final

Os resultados da caracterização sócio-demográfica e habitacional apontam para uma população bastante envelhecida já em 2001, onde cerca de 1/3 dos indivíduos residentes eram idosos (com idade superior a 65 anos). Este quadro provavelmente sofreu um pequeno aumento no período decorrido entre o censo de 2001 e a campanha de recolha de dados executada em 2004. Este facto tem muita influência tanto ao nível do consumo, como ao nível da sua distribuição ao longo do dia, e nos diferentes dias da semana.

Outro facto observado é que a maior parte da ZMC, praticamente toda a zona norte, não apresenta espaços exteriores, tais como garagens ou jardins. O mesmo não pode ser afirmado em relação à zona sul, que merecia uma medição de caudais independente, permitindo uma análise mais pormenorizada dos seus consumos.

Ao avaliarem-se os *caudais médios diárias*, esperava-se, inicialmente, encontrar uma redução significativa nos valores dos fins-de-semana em relação aos dos dias úteis, por se acreditar que se tratava de uma área com fortes características de terciarização, no entanto isto não se verificou. Primeiramente, julga-se que este resultado se deva em parte ao facto de não se disporem de dados de sábados e domingos nas últimas semanas de campanha, quando, em geral, os consumos se apresentavam mais reduzidos, traduzindo-se num aumento da média dos consumos desses dias para as oito semanas. Além disso, a análise sócio-demográfica revela uma parcela significativa da área que dispõe de um baixo poder de compra, e que, apesar de se encontrar fora durante a semana, não pode recorrer ao serviço de terceiros para a realização das tarefas domésticas durante a semana, e acabam por realizá-las aos fins-de-semana, contribuindo para o aumento do consumo nesses dias. Concluiu-se com esse resultado que, apesar da aparente abrangência do sector terciário da zona que se estende por toda a Estrada de Benfica, este ocupa, na maior parte dos casos, apenas o 1º piso dos edifícios e não é condicionante para caracterizar o comportamento dos consumos da ZMC.

Outro dado analisado foi o *desvio padrão*, verificando-se que a dispersão encontrada nos dias úteis é muito superior à dos fins-de-semana, e pode ser atribuída às variações dos caudais máximos consumidos, ou seja, aos *picos* de consumo. Constatou-se que estes *picos*, salvo situações pontuais onde foram efectuadas reparações, resultam do consumo do Jardim Zoológico, e não se devem aos consumos da população local.

Quanto à *distribuição dos consumos ao longo do dia*, não se verificam grandes variações, com factores de carga entre 0.53 e 1.47 (nos dias úteis da semana) e 0.56 e 1.40 nos fins-de-semana (*cf.* Figura 4.14 e Figura 4.15). Contudo, este intervalo seria ainda menor se fossem extraídos os *picos* de caudal dos grandes consumidores. Como exemplo podemos citar novamente o Jardim Zoológico, cujo consumo corresponde a 28% do consumo da ZMC, com factores de carga diárias de até 8 vezes o consumo médio.

Esta reduzida variação entre os factores de carga diárias pode ser explicada por se tratar de uma população bastante envelhecida, com períodos longos de permanência em casa, no qual as tarefas relacionadas ao consumo de água estão distribuídas ao longo do dia.

O único *pico* de consumo relevante nos dias úteis ocorre durante o período matinal, e ainda assim não se apresenta muito prolongado, ou seja aproximadamente das 8:15 às 9:30 h. Este *pico* provavelmente corresponde ao período de higiene pessoal da parcela da população activa que sai de manhã para o trabalho, associada ainda ao período de máxima actividade de consumo de água no Jardim Zoológico.

A partir das 9:00 h, o consumo dos dias úteis diminui, sofrendo apenas pequenas oscilações. Entre as 17:15 e 19:00 h, coincidentemente com o cessar das actividades do Jardim

Zoológico, os consumos apresentam-se relativamente estáveis, a partir do qual sofrem um aumento, apresentando um pequeno *pico* entre as 20:00 e 21:00 h. Atribui-se a este *pico* de consumo as actividades de higiene pessoal, principalmente da população activa, e a preparação da refeição do jantar. Este *pico* é muito mais visível nas curvas de consumos não adimensionalizados, evidenciando mais uma vez, a influência exercida pelos grandes consumidores.

A captação na ZMC 320, determinada retirando do consumo total os consumos associados aos grandes consumidores, foi de 134 l/hab./dia, o que ainda se considera um valor elevado, face às características habitacionais dominantes na zona. No entanto, atribui-se a este resultado dois factores: (i) aos consumos associados ao sector terciário da zona, que não foram eliminados no cálculo da captação uma vez que esta informação não era explícita no conjunto de dados de clientes; e (ii) à influência da zona sul, onde as moradias, na sua maioria dispõem de espaços exteriores com jardins, mas que, em alguns casos, se verifica inclusivamente a existência de práticas agrícolas. A existência de práticas agrícolas na região pode influenciar também o factor de carga máximo diário, amortecendo-o, uma vez que actividades como a de rega são normalmente efectuadas fora dos principais *picos* de consumo, que, no presente caso, se relaciona com actividades domésticas de higiene pessoal.

Aos fins-de-semana, o *pico* matinal, ainda menos acentuado (com factores de carga máximos diáários de 1.4), é retardado, ocorrendo por volta das 9:30 h aos sábados (em vez das 9:00 h nos dias úteis), e apresenta um patamar entre as 10:30 e as 13:00 h, aos domingos. A partir destes *picos* os consumos decrescem suavemente ao longo do dia, concluindo-se que a população não se ausenta das suas casas, distribuindo o consumo de água ao longo do dia. Este comportamento é típico de uma população com rendas mais baixas, bastante envelhecida e com pouca mobilidade.

## 4.5 CONCLUSÕES

Evidencia-se com este estudo a importância de se ter um conhecimento mais abrangente do modo de vida da população, antes de se partir para uma utilização *cega* dos seus dados de consumo. Para se efectuar a caracterização dos consumos de uma ZMC, pode recorrer-se a análises simples, no entanto, esta deve ser apoiada em:

- (i) um conjunto recente de dados dos censos, aliados a uma actualizada base cartográfica;
- (ii) visitas ao local, com um levantamento fotográfico representativo da zona, que permita obter uma boa identificação espacial da área;
- (iii) um inquérito à população, destinado à eliminação de dúvidas pontuais, quando houver necessidade, ou que permita conhecer melhor os hábitos de consumo locais;
- (iv) a utilização de estatísticas obtidas a partir dos dados recolhidos na campanha.

A caracterização sócio-demográfica e habitacional da ZMC 320 evidencia a sua heterogeneidade e torna clara a necessidade de uma análise mais detalhada dos hábitos de consumo dos grandes consumidores, com medições de caudal durante todo o período de campanha, em particular do Jardim Zoológico de Lisboa, que representa mais de 28% do consumo da zona. Ressalta-se, também, o facto da ZMC se encontrar dividida em duas zonas com características de urbanização muito distintas (zona norte e zona sul), principalmente no que diz respeito aos usos da água, levando assim, à necessidade de se conhecer separadamente o consumo de cada zona.

Sendo assim, com o objectivo de se conseguir maior precisão na caracterização dos consumos da ZMC 320, ultrapassando os problemas de heterogeneidade da zona, sugere-se a **monitorização individualizada dos consumos do Jardim Zoológico e da zona sul**, durante todo o período da campanha.

Para uma caracterização mais fiável dos padrões de consumo é importante dedicar especial atenção ao planeamento e à execução da campanha de aquisição dos dados. As incompatibilidades, no que dizem respeito (i) **à dimensão e à continuidade da amostra** (que apresentou falhas nas sextas, sábados e domingos) e (ii) **ao facto da análise dos dados ter sido efectuada algum tempo após o fim da campanha de aquisição dos dados** (impossibilitando o confronto das possíveis falhas observadas aos acontecimentos ocorridos na altura da recolha de dados), foram dificuldades significativas encontradas no decorrer deste trabalho de investigação. Salienta-se, no entanto, que a campanha de obtenção dos dados de caudal e pressão utilizados na análise, obtidos da campanha de detecção de fugas, não tinha como objectivo inicial uma caracterização dos consumos da ZMC, o que justifica essas incompatibilidades com as necessidades da presente análise.



## 5 AVALIAÇÃO DE PERDAS

### 5.1 INTRODUÇÃO

No presente capítulo efectua-se a avaliação de perdas de água na Zona de Medição e Controlo de São Domingos de Benfica (ZMC 320), que integra o Sistema de Distribuição de Água de Lisboa, antes e depois da Campanha de Detecção de Fugas (CDF) realizada entre 17 de Outubro e 12 de Novembro de 2004. O objectivo desta avaliação consiste em estimar, com a maior precisão possível, as várias componentes de perdas de água na ZMC 320, assim como, quantificar a redução de perdas conseguida com a realização da referida campanha.

A avaliação de perdas é efectuada com base em duas abordagens distintas: (i) a abordagem *top-down* que consiste no cálculo do balanço hídrico anual e na quantificação das diversas parcelas de perdas de água (e.g., perdas reais, perdas aparentes e consumo autorizado não facturado); e (ii) a abordagem *bottom-up* que, através de uma análise do caudal mínimo nocturno, e o recurso a simulações hidráulicas dinâmicas do funcionamento do sistema durante 24 horas, permite estimar o valor das diversas componentes de perdas assim como a sua distribuição ao longo do dia.

O cálculo do balanço hídrico segue a metodologia proposta por Alegre *et al.* (2004). A determinação de perdas reais com base nos caudais mínimos nocturnos segue a metodologia utilizada por Araujo *et al.* (2004a), que recorre à formulação matemática disponível no simulador hidráulico EPANET 2.0 para a quantificação das fugas. O programa EPANET permite simular as perdas reais de água no sistema (fugas) em função da pressão, como se fossem orifícios localizados nos nós da rede caracterizados por um expoente da pressão e por um determinado coeficiente de vazão definido para cada nó do sistema.

Este capítulo apresenta ainda uma estimativa de indicadores de desempenho da ZMC 320 no que se refere às perdas reais e aparentes. Neste âmbito, são utilizados os indicadores propostos por Alegre *et al.* (2004), referentes às perdas. Estes indicadores permitem comparar o desempenho do sistema, antes e depois da CDF, assim como com outros sistemas através de resultados publicados na literatura da especialidade, e concluir quanto ao desempenho da ZMC em estudo no contexto internacional.

### 5.2 APRESENTAÇÃO DOS DADOS DISPONÍVEIS

#### 5.2.1 Nota Introdutória

Todos os dados referentes à ZMC 320, utilizados no desenvolvimento deste estudo (i.e., o traçado e caracterização da rede de distribuição, as medições de caudal e pressão na entrada da zona, e os dados de consumo facturado) foram disponibilizados pela EPAL, S.A. e foram convenientemente adaptados aos objectivos deste trabalho de investigação. A EPAL

permitiu, também, a consulta do Sistema *Interaqua* (i.e., um sistema de informação geográfica que suporta toda a rede de distribuição de água de Lisboa), através do qual foi possível determinar a localização exacta de todos os consumidores da ZMC, e por conseguinte, refinar os cálculos dos consumos nodais na zona.

### 5.2.2 Base Cadastral

O esquema da rede de distribuição da ZMC 320 contendo informações relativas ao diâmetro e material das tubagens e a singularidades da rede (e.g., válvulas) foi retirado do cadastro da rede geral da EPAL. Este esquema foi sobreposto à base cartográfica plani-altimétrica da zona, com a representação das áreas edificadas, o que permitiu uma melhor localização dos clientes e a posterior distribuição dos consumos pelos nós da rede. Apresenta-se na Figura 5.1 a carta plani-altimétrica da zona em estudo com a indicação dos limites da ZMC 320 e da respectiva rede de distribuição.

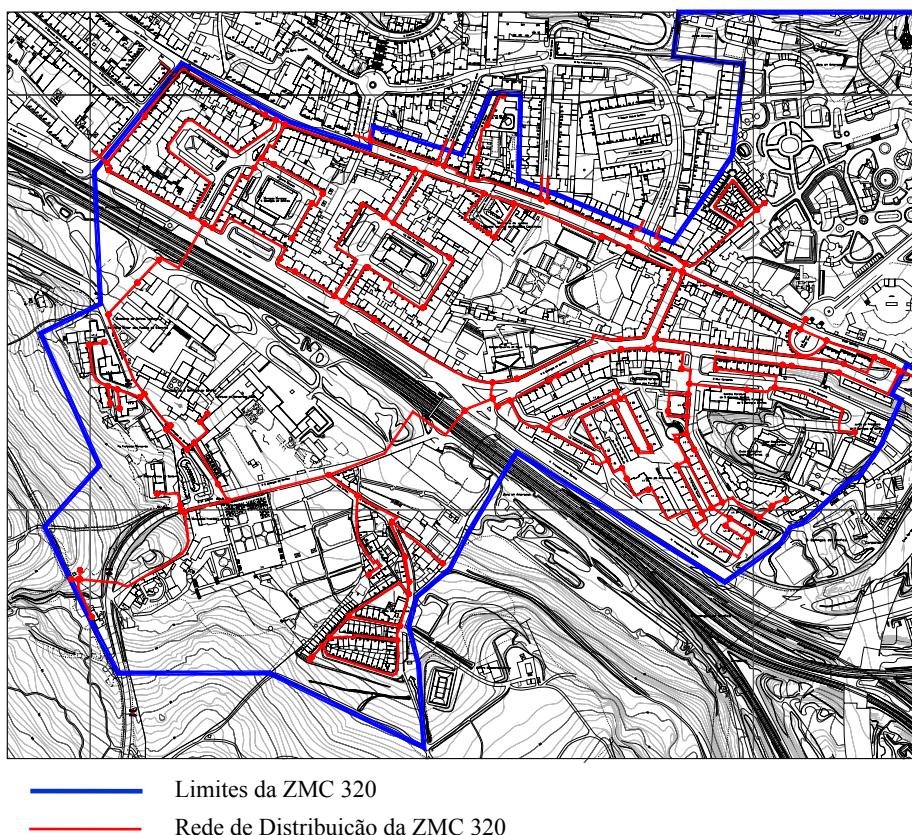


Figura 5.1 – Base Cadastral da ZMC 320.

### 5.2.3 Medições de Caudal e Pressão

Neste capítulo foram utilizados parte dos dados de caudal e pressão recolhidos durante a CDF, os quais estão comentados no Subcapítulo 4.3 e apresentados no Anexo 2. Utilizaram-se apenas as medições de caudal e pressão efectuadas durante os dias úteis da 1<sup>a</sup> semana (i.e., antes de efectuar qualquer reparação na rede de distribuição) e da 8<sup>a</sup> semana (i.e., a última semana após a conclusão de todas as reparações na ZMC) de campanha. A decisão de se

utilizar apenas os dias úteis da semana prende-se com o facto destes dias poderem ser agrupados, aumentando o tamanho da amostra (5 dias) e consequentemente a fiabilidade dos dados (*cf.* Capítulo 4). As medições dos sábados e domingos diferem entre si e dos dias úteis, obrigando a análises independentes, o que se traduz numa repetição da análise efectuada sem significativo acréscimo de informação dos resultados obtidos e com mais incerteza associada (amostras com 1 dia).

#### **5.2.4 Dados de Consumo Facturado**

Foi disponibilizada pela EPAL, S.A. uma lista com o cadastro de todos os consumidores localizados nas ruas total ou parcialmente abrangidas pela ZMC 320. As informações contidas nesse cadastro referem-se à identificação e à localização dos clientes (i.e., os códigos do cliente, do ramal e da rua, o nome da rua, o número da porta do consumidor) e aos consumos bimestrais facturados relativos ao ano de 2004. Os consumidores mais expressivos da ZMC apresentam dados de facturação mensal, embora com algumas falhas.

Através das informações de localização desse cadastro, complementadas por consultas no Sistema *Interaqua*, foi possível isolar apenas os consumidores localizados dentro dos limites da ZMC 320, e determinar a posição em planta dos respectivos ramais. Com a localização exacta dos ramais de consumo, e conhecendo o consumo anual facturado (i.e., a soma dos consumos mensais) de cada ramal, estimou-se a percentagem do consumo total da zona destinado a cada trecho da rede de distribuição, e, consequentemente, determinou-se o caudal consumido atribuído a cada nó de cálculo.

Embora se tenha procurado reproduzir a distribuição mensal de consumos na zona em estudo, existe uma grande incerteza associada a estes dados, uma vez que os dados de consumo foram obtidos por um processo de facturação bimestral, com actualizações baseadas em leituras semestrais dos contadores dos clientes.

### **5.3 SIMULAÇÃO HIDRÁULICA**

#### **5.3.1 Modelo de Simulador Hidráulico**

O simulador hidráulico utilizado no presente trabalho foi o modelo EPANET 2.0, desenvolvido pela Agência para a Protecção do Ambiente dos Estados Unidos da América (*EPA – U. S. Environmental Protection Agency*). O Simulador EPANET comprehende um conjunto de funções que permite efectuar simulações estáticas e dinâmicas do comportamento hidráulico e de qualidade da água em sistemas de distribuição de água em pressão. Este modelo utiliza o método híbrido nó-malha para resolver as equações da continuidade, da conservação da energia e a lei de resistência ao escoamento, que caracterizam as condições de equilíbrio hidráulico da rede num dado instante.

O EPANET modela um sistema de distribuição de água como sendo um conjunto de elementos ligados a nós, elementos estes que representam as tubagens, bombas e válvulas de

controlo, e os nós representam ligações entre os diversos elementos, assim como reservatórios de nível fixo (RNF) e de nível variável (RNV).

### 5.3.1.1 Simulação de Perdas Reais

Do ponto de vista hidráulico, as perdas reais de água em redes de distribuição devem-se a orifícios, a fissuras, ou a roturas ou defeitos nas juntas, que surgem nas condutas e que vão aumentando, em quantidade e dimensão ao longo do tempo, devido à própria idade, material, processo construtivo e assentamento das condutas, características do solo envolvente e principalmente, às variações de pressão a que estão submetidas (Covas, 1998). Matematicamente podem ser descritas pela lei de vazão dos orifícios (Alonso *et al.*, 2000):

$$q = C \cdot (p_1 - p_0)^\beta \quad (5.1)$$

sendo

- $q$  : caudal através do orifício (l/s);
- $C$  : coeficiente do orifício dependente da forma e dimensões do orifício e das características do meio envolvente ( $\text{l/s/m}^\beta$ );
- $p_1$  : pressão à entrada do orifício (m);
- $p_0$  : pressão à saída do orifício (m);
- $\beta$  : expoente da pressão (-).

Com o objectivo de uma melhor caracterização de perdas de água nos sistemas de distribuição, vários investigadores modificaram esta equação, propondo diversos valores e fórmulas de cálculo para  $C$  e  $\beta$ . Salientam-se os trabalhos desenvolvidos por Jowitt e Xu (1990), Vairavamoorthy e Lumbers (1998), Martinez *et al.* (1999) e Alonso *et al.* (2000).

O simulador do modelo EPANET 2.0 permite a utilização de dispositivos emissores que estão associados aos nós da rede e que descrevem as fugas através de orifícios com descarga directa para atmosfera através da seguinte expressão (Alonso, 2000; Rossman, 2000):

$$q_{fi} = K_{fi} \cdot p_i^\beta \quad (5.2)$$

onde

- $q_{fi}$  : caudal de fuga no nó i (l/s);
- $K_{fi}$  : coeficiente de fuga no nó i ( $\text{l/s/m}^\beta$ );
- $p_i$  : pressão no nó i (m).

Estes dispositivos são indicados para modelar consumos que dependam da pressão, como sejam o escoamento em sistemas com aspersores e em redes de rega, o caudal de combate a incêndio num nó, ou ainda o caudal através de fugas em tubagens, desde que os coeficientes de fuga ( $K$ ) e os expoentes da pressão ( $\beta$ ), sejam convenientemente estimados.

O coeficiente de fuga associado a cada nó ( $K_{fi}$ ) é determinado pelo produto do coeficiente fixo de fuga ( $c$ ), igual para toda a rede, pela semi-soma do comprimento de todas as condutas ligadas ao referido nó (Araujo *et al.*, 2004a):

$$K_{fi} = c \cdot \sum_{j=1}^{M_i} 0.5 \cdot L_{ji} \quad (5.3)$$

em que

$c$  : coeficiente fixo de fugas que depende das características do sistema de distribuição, por exemplo, idade e estado de conservação das condutas, e propriedades do solo ( $\text{l/s/m/m}^\beta$ );

$M_i$  : número de condutas ligadas ao nó  $i$  (-);

$L_{ji}$  : comprimento de cada conduta  $j$  ligada ao nó  $i$  (m).

Vários investigadores, entre os quais Jowitt e Xu (1990), Vaiaravamoorth e Lumbers (1998), Martínez (1999) e Alonso (2000), utilizando equações semelhantes à Equação (5.3), estimaram um coeficiente fixo de fugas através do caudal mínimo nocturno. Dadas as variações encontradas nas formulações utilizadas pelos diferentes autores torna-se difícil comparar os valores propostos para este parâmetro. Contudo, a literatura especializada reporta alguns casos de estudo, cuja ordem de grandeza do coeficiente fixo de fugas é  $10^{-5} \text{ l/s/m/m}^\beta$  (Jowitt e Xu, 1990; Araujo *et al.*, 2004a).

A relação não linear entre o caudal de fuga e a pressão média de serviço, traduzida pelo expoente da pressão ( $\beta$ ), foi inicialmente definida com o expoente  $\beta = 0.5$ , com base na teoria clássica de pequenos orifícios e em experiências realizadas em laboratório. Lambert *et al.* (1998) e Thornton (2003) recomendam uma relação linear ( $\beta = 1.0$ ) para sistemas de distribuição de água relativamente grandes. Com base na análise de dados reais recolhidos em redes de distribuição, a *National Water Council* (1980) apresentou uma curva que relaciona um índice de fuga com a pressão média na zona. Germanopoulos (1985) aproximou uma função exponencial do tipo da Equação (5.2) à referida curva empírica, propondo  $\beta = 1.18$ . Desde então, este valor de  $\beta$  tem sido adoptado por diversos autores: Jowitt e Xu (1990), Vaiaravamoorth e Lumbers (1998), Alonso *et al.* (2000) e Araujo *et al.* (2004a).

### 5.3.2 Parâmetros Utilizados nas Simulações

#### 5.3.2.1 Representação da Rede de Distribuição

A topologia da rede de distribuição da ZMC 320 foi definida tendo em conta todos os componentes físicos do sistema de distribuição de água existentes: (i) os *nós*, que são os pontos onde a água entra e sai da rede e representam as singularidades do sistema (e.g., válvulas, mudança de material, mudança de diâmetro, confluência de condutas, consumos pontuais); e (ii) os *trechos*, que representam as tubagens definidas entre dois nós. Nesta representação foram utilizados 183 trechos de rede (condutas) interligando 161 nós, conforme Figura 5.2.

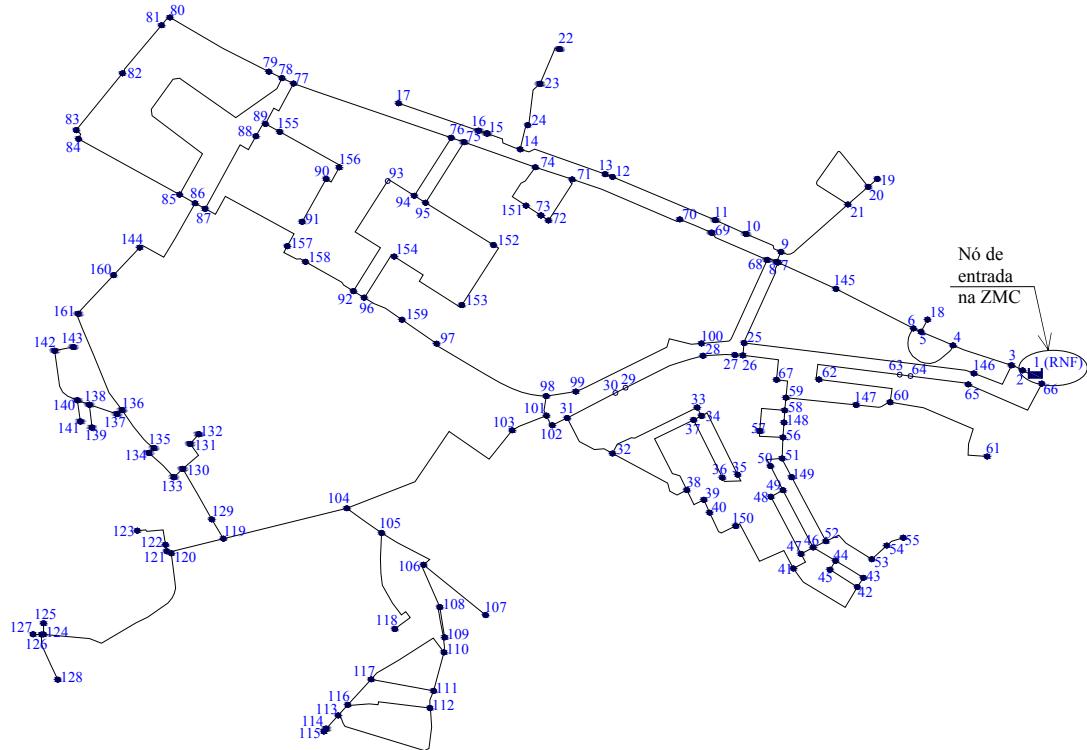


Figura 5.2 – Topologia do sistema de distribuição de água da ZMC 320.

Para a representação de um dos nós utilizou-se um *reservatório de nível fixo* (RNF) simulando a secção de entrada de água na ZMC. O RNF é modelado como um volume de armazenamento de água de capacidade ilimitada e carga hidráulica constante ou variável no tempo de acordo com a pré-definição. Neste caso, o nível variou no tempo de acordo com a medição de pressão efectuada durante o período de observação. Os nós de cálculo foram definidos com base nas singularidades da rede e na localização dos grandes consumidores.

Após a inserção dos elementos físicos da rede foram definidas as características dos nós e das condutas: os *diâmetros* e os *coeficientes de rugosidade* das tubagens; o *estado inicial dos trechos* (aberto ou fechado); e as *cotas topográficas* dos nós. O comprimento das tubagens e as coordenadas dos nós são automaticamente obtidos pelo programa, uma vez que a escala utilizada no programa foi ajustada à escala da base cadastral geo-referenciada. Os outros parâmetros necessários à execução das simulações hidráulicas foram definidos consoante as simulações se referiam à primeira ou à última semana da campanha de detecção de fugas. Desta forma, consoante o período de referência e o objectivo da simulação, foram determinados e inseridos no modelo: (i) os valores médios de consumo e carga hidráulica (i.e., *consumo base nodal* e a *carga hidráulica média à entrada da ZMC*, respectivamente); e (ii) os *padrões temporais* (i.e., *padrão de consumo* no sistema, *padrão da carga hidráulica* na secção de entrada da ZMC, e *padrão de sazonalidade* da ZMC). Os coeficientes do emissor, que simulam as fugas no sistema, foram inseridos apenas em simulações específicas para a avaliação de perdas.

### **5.3.2.2 Valores Médios de Consumo e Carga Hidráulica**

#### **Consumo Base Nodal**

Inicialmente determinaram-se os *factores de consumo nodais* a partir dos dados do consumo facturado no ano 2004, disponibilizado pela EPAL. Para esse efeito, dividiram-se os consumidores em dois grupos: (i) os consumos dos principais clientes da zona, considerados aqueles que apresentam consumos de água superiores a 1800 m<sup>3</sup>/ano, correspondem a aproximadamente 50% do consumo total da ZMC no referido período, e que foram definidos como um consumo concentrado nos nós onde se localizavam; e (ii) os consumos dos outros clientes, que foram atribuídos ao trecho da rede a que eles pertenciam. O caudal efectivamente consumido em cada nó foi dado pelo somatório de metade dos caudais consumidos em todos os trechos de conduta afluentes ou divergentes do nó, acrescido do consumo pontual no referido nó associado aos grandes consumidores. O *factor de consumo nodal* é definido pela razão entre o *consumo facturado no nó* e o *consumo facturado total na zona*, no período de referência.

Os *consumos base nodais* resultam do produto entre os *factores de consumo nodais* e o *consumo médio da ZMC*, que variam consoante o período de referência da simulação.

#### **Carga Hidráulica à Entrada da ZMC**

A carga hidráulica na secção de entrada da ZMC foi determinada a partir das medições de pressão nessa secção, e foi definida com base na média das pressões medidas de 2 em 2 minutos durante os dias úteis da semana (*cf. 5.2.3*), acrescida da cota topográfica local. A forma de descrever a variação de pressão à entrada da ZMC utilizando o programa EPANET consiste em definir um RNF e atribuir-lhe uma pressão média e um padrão temporal de nível. A variação do nível ao longo do dia no reservatório é obtida pelo produto da pressão média com o respectivo padrão de nível.

### **5.3.2.3 Padrões Temporais**

Um padrão temporal é constituído por um conjunto de factores multiplicativos que são aplicados ao valor de uma determinada grandeza de forma a traduzir a sua variação no tempo, em função de um valor médio. Foram definidos três padrões temporais: o *padrão temporal de consumo*, o *padrão temporal da pressão à entrada da ZMC* e a *variação sazonal do consumo*. Os dois primeiros, que se destinam a reproduzir as variações diárias das respectivas variáveis, foram definidos hora a hora. O último, cuja função é traduzir a variação do consumo ao longo do ano, foi definido em termos mensais.

#### **Padrão Temporal de Consumo**

Inicialmente foram definidos dois *padrões temporais de consumo* visando simular o comportamento dos nós do sistema antes e depois das reparações, que se apresentam na Figura 5.3.

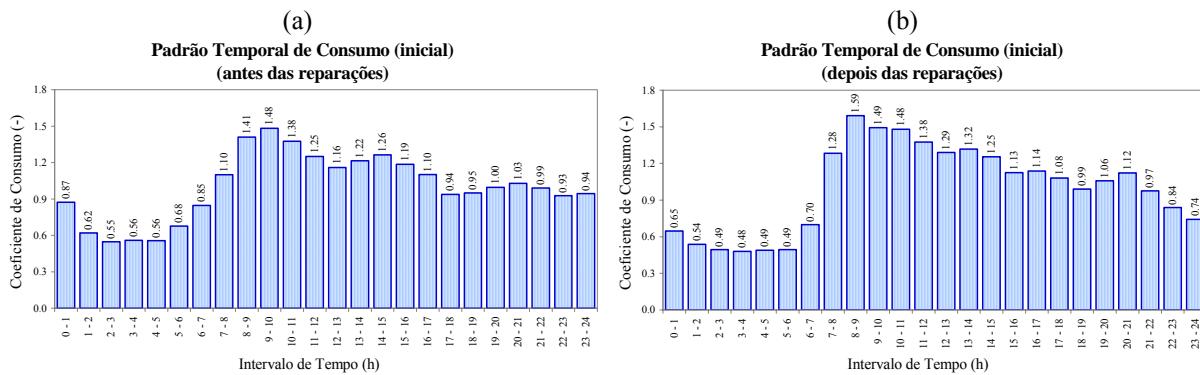


Figura 5.3 – Padrões temporais de consumo na ZMC 320: (a) antes e (b) depois das reparações.

Os *coeficientes de consumo horário* que compõem estes padrões temporais correspondem à razão entre o *caudal consumido na referida hora* e o *caudal total consumido no respectivo dia*, e foram determinados com base nos dados dos caudais medidos à entrada da ZMC 320, antes (1<sup>a</sup> semana) e depois (8<sup>a</sup> semana) das reparações. Consideram-se, para estes cálculos, as médias das leituras efectuadas nos dias úteis da semana (*cf. 5.2.3*).

Quando comparados os dois padrões de consumo apresentados na Figura 5.3, observa-se no padrão da Figura 5.3b uma redução do consumo no período das 21:00 às 7:00 h, onde estão os consumos abaixo da média diária, e um aumento no período dos maiores consumos diários, ou seja, aqueles localizados acima da média diária. Este cenário traduz uma curva de consumos após as reparações com diferenças entre os valores máximos e mínimos mais acentuadas. Este efeito deve-se à redução de perdas reais como resultado das reparações efectuadas durante a CDF, perdas estas que representam uma parcela de consumo quase constante ao longo do dia e que uma vez retirado dos consumos, acentua as diferenças entre os extremos do padrão de consumo.

Os padrões temporais de consumo obtidos reflectem a distribuição diária da água entrada no sistema inicial (i.e., incluindo as perdas reais e aparentes), pelo que, durante o processo de calibração de perdas reais (fugas) através da introdução de dispositivos do tipo emissor, estes padrões são ajustados de forma a traduzirem mais realisticamente os consumos efectivos da ZMC (sem perdas reais), conforme é explicado na metodologia apresentada em 0 (à frente).

### **Padrão Temporal de Pressão à Entrada da ZMC**

Os padrões temporais da pressão à entrada da ZMC, antes e depois das reparações, foram definidos com base nas medições de pressão efectuadas e estão apresentadas na Figura 5.4.

O padrão temporal da pressão à entrada da ZMC foi calculado pela razão entre a média das pressões observadas em cada hora, e a média das pressões ao longo do dia. Analogamente ao padrão temporal de consumo, foram usadas apenas as medições de pressão efectuadas nos dias úteis da semana (*cf. 5.2.3*).

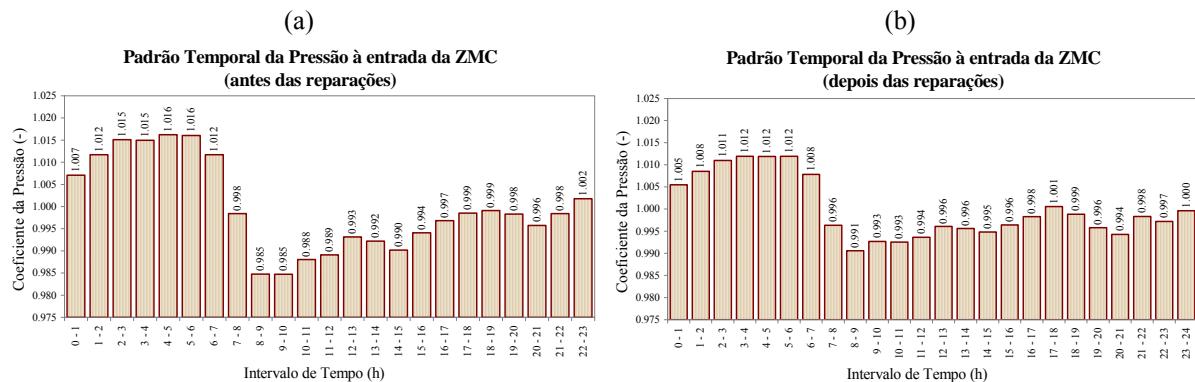


Figura 5.4 – Padrões temporais da pressão à entrada da ZMC 320: (a) antes e (b) depois das reparações.

Como se pode observar na Figura 5.4, a pressão varia muito pouco ao longo do dia (apresenta uma variação máxima de 2%), e varia inversamente ao caudal, ou seja, nas horas de maior consumo (entre as 8:00 e as 10:00 h) observam-se os valores mínimos de pressão e durante o período nocturno (entre as 2:00 e as 6:00 h) os valores máximos. Por outro lado, contrariamente aos padrões de consumo, o padrão horário de carga hidráulica apresenta um *achatamento*, ou uma melhor aproximação à média diária, após as reparações. Este facto deve-se à redução da água entrada no sistema devido à redução de perdas, que proporcionou um aumento de pressão quase constante durante o dia (cerca de 6 m), o que leva a um aumento da pressão média e por consequência, ao *achatamento* do respectivo padrão diário.

### Sazonalidade do Consumo

O padrão de sazonalidade de consumo traduz a distribuição do consumo ao longo dos vários meses do ano. A determinação deste padrão baseou-se nos dados de facturação da ZMC para o ano de 2004, tendo em conta que: (i) para os grandes consumidores, as facturações de um determinado mês correspondem ao consumo do mês precedente; (ii) as facturações dos pequenos consumidores são bimestrais e obtidas por estimativa, excepto para alguns consumidores que comunicam a leitura directamente à entidade gestora; e (iii) as leituras dos consumos efectivos dos pequenos consumidores são efectuadas semestralmente. Nesta conformidade, apresentam-se na Figura 5.5 os factores de carga mensais de consumo da ZMC 320.

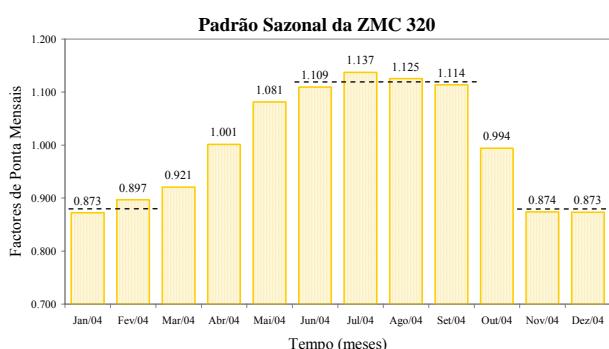


Figura 5.5 – Padrão de sazonalidade dos consumos de água na ZMC 320.

Pela observação da Figura 5.5 verifica-se que existem duas épocas do ano claramente distintas e com factores de carga mensais muito homogéneos: o período de Verão, entre Junho e Setembro, com factores de carga mensais de aproximadamente 1.12, e o período de Inverno, entre Novembro e Fevereiro, com factores de carga mensais de 0.88. A transição entre estas duas épocas é aproximadamente linear.

### **5.3.3 Metodologia Proposta para Avaliação de Perdas com base na Simulação Hidráulica**

A metodologia proposta tem por objectivo avaliar as várias parcelas da *água entrada no sistema* com base na informação e análise dos caudais mínimos nocturnos (WRC, 1994) e no resultado de simulações hidráulicas dinâmicas do comportamento do sistema (abordagem *bottom-up*). Esta metodologia resume-se em seis passos de cálculo que se passam a descrever (*cf.* Figura 5.6):

**Passo 1** – Estimativa de *perdas reais*, *perdas aparentes*, *consumo facturado* e *consumo autorizado não facturado* na hora de consumo mínimo nocturno (entre as 2:00 as 4:00 h) com base na metodologia apresentada no *Report F – Using Night Flow Data* (WRC, 1994) e recorrendo à análise detalhada dos dados de consumo recolhidos durante a CDF, conforme apresentado em 5.3.4.1 (à frente).

**Passo 2** – Reprodução da *curva diária da água entrada no sistema (C1)* correspondente à curva média diária dos dias úteis obtida para a 1<sup>a</sup> ou para a 8<sup>a</sup> semana da CDF através de simulação hidráulica dinâmica. Nesta simulação, desprezam-se as perdas, assumindo que toda a água entrada é efectivamente consumida. Utilizam-se um *padrão temporal de consumo* (inicial), definido com base na curva média diária dos dias úteis, e os *consumos base nodais* calculados pelo produto dos factores de consumo nodais (*cf.* 5.3.2.2) com o caudal médio diário da água entrada no sistema.

**Passo 3** – Calibração do *coeficiente fixo de fugas (c)*, através de um processo de optimização, por forma a que o somatório dos caudais nodais de fuga na hora de consumo mínimo nocturno iguale o valor de *perdas reais* estimado no *Passo 1*. Os caudais nodais de fuga são determinados, para cada nó, através da Equação (5.2) utilizando as pressões nodais na hora de consumo mínimo nocturno resultantes da simulação efectuada no *Passo 2*.

**Passo 4** – Calibração do *padrão temporal de consumo* e dos *consumos base nodais* através de sucessivas simulações hidráulicas dinâmicas do sistema considerando as *perdas reais*. As *perdas reais* são simuladas acrescentando ao modelo definido no *Passo 2* os coeficientes de fuga nodais ( $K_{fi}$ ), calculados através da Equação (5.3) com base no coeficiente fixo de fugas ( $c$ ) determinado no *Passo 3*. Efectua-se uma simulação dinâmica do sistema. A partir do resultado desta simulação, corrigem-se o *padrão temporal de consumo* e os *consumos base nodais* introduzindo-os

novamente no modelo e efectuando-se uma nova simulação. Repete-se este procedimento até que a *curva diária da água entrada no sistema* resultante da simulação iguale a correspondente curva média diária dos dias úteis ( $C1$ ). Este processo resulta num *padrão temporal de consumo* (calibrado) e em *consumos base nodais* sem fugas.

Dado que o novo padrão temporal de consumo se destina a corrigir os consumos nodais após a eliminação da parcela de fugas, este apresenta uma variação dos factores mais acentuada, conduzindo a consumos mais elevados nas horas de ponta e a consumos inferiores nos períodos de consumo mínimo.

**Passo 5** – Determinação da *curva diária de consumos sem a parcela de perdas reais* ( $C2$ ) e da *variação diária de perdas reais* ( $C3$ ). Estas curvas são obtidas através de uma simulação dinâmica que utiliza o novo padrão temporal de consumo e os consumos base nodais sem fugas, obtidos no *Passo 4*. Nesta simulação não se utilizam os coeficientes de fuga nodais ( $K_{fi}$ ). A curva  $C2$  é resultante da simulação, enquanto a curva  $C3$  é obtida pela diferença entre as curvas  $C1$  e  $C2$ .

**Passo 6** – Cálculo da *curva diária de consumos facturados* ( $C4$ ) e da *variação diária de perdas aparentes acrescida do consumo autorizado não facturado* ( $C5$ ). A curva  $C4$  é determinada pelo produto do padrão temporal de consumo resultante do *Passo 4* pelo consumo médio facturado (correspondente aos dados de consumo facturado *cf.* 5.2.4) e ajustada através do factor de correcção dado pela Equação (5.4). A curva  $C5$  resulta da diferença entre as curvas  $C2$  e  $C4$ . Este processo resulta num *padrão temporal de consumo facturado*.

O factor de correcção da curva  $C4$  é definido por forma a que o consumo facturado na hora de consumo mínimo nocturno (entre as 2:00 e as 4:00 horas) iguale o valor obtido no Passo 1 e que o seu valor médio diário se mantenha igual ao consumo médio facturado utilizado na determinação inicial de  $C4$ . Para o cálculo deste factor ( $a$ ) utilizou-se a seguinte expressão:

$$a = \frac{X_{2-4} - \bar{X}}{X_{2-4(\text{corrigido})} - X_{2-4}} \quad (5.4)$$

em que

- $a$  : factor de correcção ou constante de proporcionalidade entre o desvio do consumo facturado em relação a média e ao valor corrigido, para todas as horas do dia (-);
- $X_{2-4}$  : consumo facturado na hora de consumo mínimo nocturno que ocorre entre as 2:00 e as 4:00 horas (l/s);
- $\bar{X}$  : consumo médio facturado ao longo do dia (l/s);
- $X_{2-4(\text{corrigido})}$  : consumo facturado corrigido na hora de consumo mínimo nocturno, entre as 2:00 e as 4:00 horas, estimado no *Passo 1* (l/s).

Os valores de consumo facturado corrigidos resultam da aplicação da seguinte expressão:

$$X_{i(\text{corrigido})} = a \cdot (X_i - \bar{X}) + X_i \quad (5.5)$$

sendo

- $X_{i(\text{corrigido})}$  : consumo facturado corrigido na hora  $i$  (l/s);
- $X_i$  : consumo facturado na hora  $i$  correspondente à curva *C4* antes da correcção (l/s);
- $i$  : índice temporal – 0 a 24 h (-).

De salientar que se recorreu a este artifício de correcção da curva de consumo facturado, uma vez que não se dispunham de (i) nenhum modelo estocástico de previsão de consumos domésticos (devidamente fundamentado e validado) que permitisse obter uma estimativa mais realista do padrão temporal de consumos, (ii) nem de medições (durante as oito semanas) dos grandes consumidores, muito em particular do Jardim Zoológico.

Esta metodologia foi efectuada separadamente para as 1<sup>a</sup> e 8<sup>a</sup> semanas da campanha de detecção de fugas.

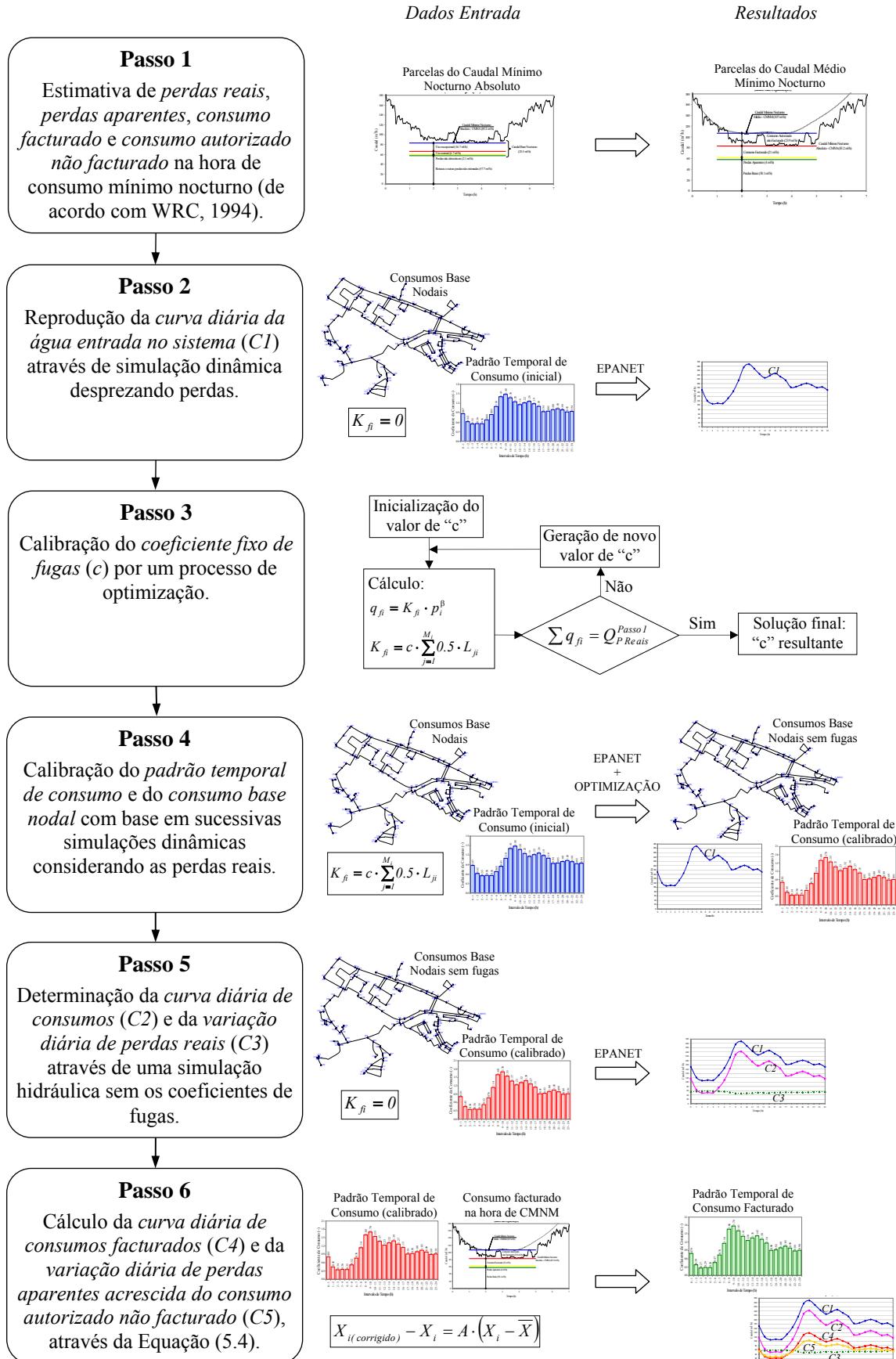


Figura 5.6 – Diagrama da metodologia proposta para a determinação das curvas diárias de consumo e perdas.

### 5.3.4 Aplicação da Metodologia à ZMC 320 antes das Reparações

Nesta secção apresenta-se o resultado da análise de perdas de água na ZMC 320 com base nos dados de caudal e pressão recolhidos durante a 1<sup>a</sup> semana de campanha (20 a 24/09/2004), reflectindo o comportamento da ZMC 320 antes dos trabalhos de reparação.

#### 5.3.4.1 Estimativa das Componentes do Consumo Mínimo Nocturno (Passo 1)

A estimativa das componentes do caudal mínimo nocturno tem por base a metodologia apresentada no *Report F – Using Night Flow Data* (WRC, 1994), que resultou da experiência prática adquirida com diversas entidades gestoras do Reino Unido. De salientar que algumas componentes de consumo e respectivos valores de referência apresentados podem não se aplicar, exactamente, aos sistemas de distribuição Portugueses, no entanto, dado que não se encontraram referências mais adequadas, optou-se por seguir esta metodologia com alguma parcimónia.

A metodologia proposta foi iniciada com uma análise detalhada do *caudal mínimo nocturno base* que se refere a todos os consumos nocturnos excepto as fugas e roturas detectáveis. Segundo WRC (1994), o *caudal mínimo nocturno base* divide-se em:

- (i) **uso excepcional doméstico e não doméstico**, que se baseia na avaliação individual dos clientes com consumo nocturno superior a 0.5 m<sup>3</sup>/h;
- (ii) **uso normal doméstico (1.7 l/contador doméstico/h) e não doméstico (8 l/contador não doméstico/h);**
- (iii) **perdas reais não detectáveis (background losses)**, que depende do número de ramais, do comprimento de condutas, do estado de conservação das estruturas e da pressão média nocturna na zona – PMNZ (*average night zone pressure*).

Face à idade da rede na ZMC 320 (da ordem de 40 a 50 anos), considerou-se o estado das infra-estruturas como envelhecida, que corresponde a taxas de perdas reais não detectáveis nas condutas e nos ramais de serviço de 60 l/km/hora e 6 l/ramal/hora, respectivamente (WRC, 1994). Estas taxas foram definidas para uma PMNZ de 50 m, o que leva à necessidade de correcção para a ZMC em estudo. Na 1<sup>a</sup> semana de campanha, a pressão de serviço média é de 29 m, que corresponde a um factor multiplicativo de correcção de pressão de 0.51, de acordo com tabela apresentada em WRC (1994).

Considerando que os índices de cálculo utilizados na determinação do *caudal mínimo nocturno base* se referem a um valor médio anual, e tendo em conta que as simulações se referem a uma semana específica de campanha, estes valores foram corrigidos com base no factor de carga mensal de consumo, neste caso, correspondente ao mês de Setembro e igual a 1.114 (*cf. Figura 5.5*).

Com base nos valores de referência propostos pelo WRC (1994) e adoptados para a zona em estudo, e nas características da ZMC320 (e.g., número de contadores, comprimento de

condutas, número de ramais), estimaram-se as diversas parcelas e o valor total do *caudal mínimo nocturno base* que se encontram sintetizadas no Quadro 5.1.

Quadro 5.1 – Cálculo do *caudal mínimo nocturno base* na ZMC 320 – antes das reparações.

Componentes do caudal mínimo nocturno base	Valores de referência (WRC, 1994)	Dados da ZMC 320	Caudais para a ZMC320	
Uso excepcional doméstico e não doméstico	-	15 000 l/h	16.7 m <sup>3</sup> /h*	
Uso normal	Doméstico	1.7 l/contador/hora	3071 contadores	6.7 m <sup>3</sup> /h*
	Não doméstico	8 l/contador/hora	95 contadores	
Perdas não detectáveis (factor de correcção da pressão = 0.51)	Condutas	60 l/km/h	9.33 km	2.1 m <sup>3</sup> /h**
	Ramais	6 l/ramal/h	589 ramais	
<b>Caudal mínimo nocturno base</b>				<b>25.5 m<sup>3</sup>/h</b>

\* resultados afectados pelo factor de carga de consumo do mês de Setembro.

\*\* resultado afectado pelo factor de correcção da pressão.

A avaliação de perdas no período nocturno pressupõe que se considerem nesta análise dois valores de caudal mínimo nocturno: (i) o *caudal médio nocturno mínimo* (CMNM), ou seja, o caudal mínimo obtido da curva média de caudais da 1<sup>a</sup> semana de campanha, cujo valor encontrado foi 107.0 m<sup>3</sup>/h; e (ii) o *caudal mínimo nocturno absoluto* (CMNA), ou seja, o menor caudal registado isoladamente durante a 1<sup>a</sup> semana de campanha, cujo valor obtido foi 83.2 m<sup>3</sup>/h (*cf.* Figura 5.7). Os caudais associados às roturas e às fugas reportadas ou não obtém-se pela diferença entre o *caudal mínimo nocturno absoluto* e o *caudal mínimo nocturno base*.

A Figura 5.7 apresenta as medições referentes à 1<sup>a</sup> semana da campanha, num período durante o qual se observou o *caudal mínimo nocturno absoluto*, e indica as diversas parcelas deste caudal.

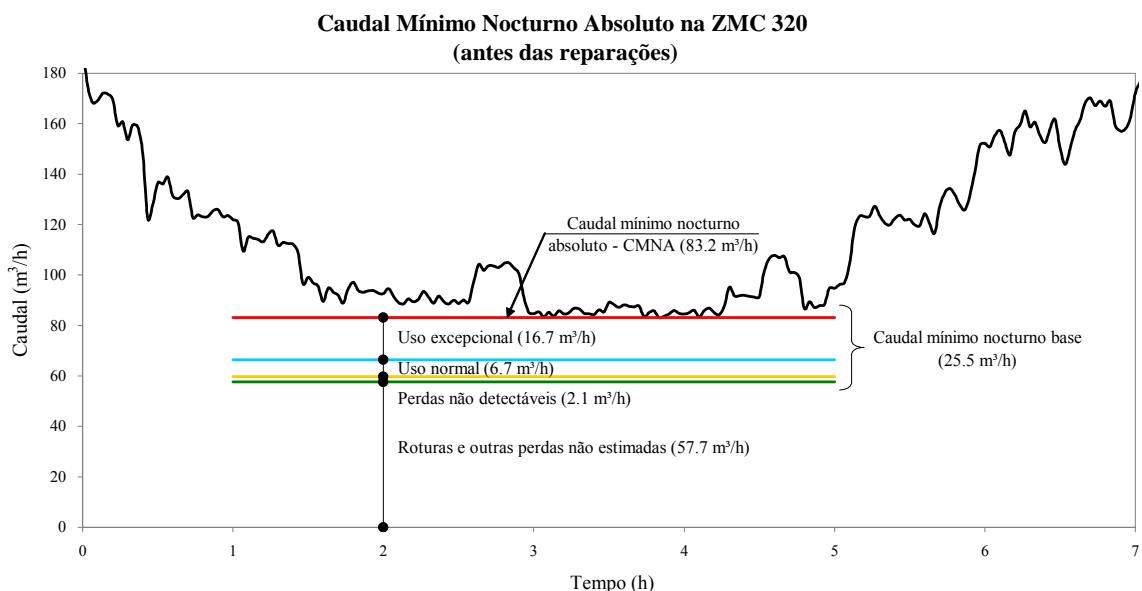


Figura 5.7 – Distribuição do *caudal mínimo nocturno absoluto* na ZMC 320 – antes das reparações.

Atendendo aos objectivos do *Passo 1*, foi necessário reestruturar as parcelas do consumo mínimo nocturno de forma a obter as *perdas reais*, as *perdas aparentes*, o *consumo facturado* e o *consumo autorizado não facturado*.

O consumo efectivo durante o período nocturno é 23.4 m<sup>3</sup>/h (Quadro 5.1), correspondente à soma do uso normal (6.7 m<sup>3</sup>/h) com o uso excepcional (16.7 m<sup>3</sup>/h). Admitiu-se que 10% deste consumo (2.3 m<sup>3</sup>/h) corresponde a consumo ilegal (parcela de *perdas aparentes*) e o restante ao **consumo facturado** (21.0 m<sup>3</sup>/h).

A diferença entre o *caudal mínimo nocturno absoluto* (83.2 m<sup>3</sup>/h) e o *caudal mínimo nocturno base* (25.5 m<sup>3</sup>/h) é de 57.7 m<sup>3</sup>/h (Figura 5.7). Deste valor, assumiu-se que o equivalente a aproximadamente 7% do *consumo facturado* (1.6 m<sup>3</sup>/h) corresponde a erros de medição (parcela de *perdas aparentes*) e o restante (56.1 m<sup>3</sup>/h) corresponde a fugas reportadas ou não (conforme sugerido pela WRC 1994).

As **perdas aparentes** calculam-se pela soma do consumo ilegal (2.3 m<sup>3</sup>/h) com os erros de medição (1.6 m<sup>3</sup>/h), obtendo-se o valor de 4.0 m<sup>3</sup>/h.

As **perdas reais** determinam-se pela soma de perdas não detectáveis (2.1 m<sup>3</sup>/h) com as fugas reportadas ou não (56.1 m<sup>3</sup>/h), obtendo-se o valor de 58.1 m<sup>3</sup>/h.

Por fim, uma análise pormenorizada das curvas de consumo de cada dia da semana permitiu assumir que a diferença entre o CMNM (107.0 m<sup>3</sup>/h) e o CMNA (83.2 m<sup>3</sup>/h), de 23.9 m<sup>3</sup>/h (Figura 5.8) pode ser atribuída, neste caso, ao **consumo autorizado não facturado** (e.g., lavagem de ruas, rega de espaços verdes municipais, lavagem de condutas e colectores de esgoto), dado o carácter diferenciado dos consumos.

O Quadro 5.2 e a Figura 5.8 apresentam o resultado da avaliação do *caudal médio nocturno mínimo* antes das reparações.

Quadro 5.2 – Distribuição do *caudal médio nocturno mínimo* na ZMC 320 – antes das reparações.

Consumo autorizado não facturado	23.9 m <sup>3</sup> /h
Consumo facturado	21.0 m <sup>3</sup> /h
Perdas reais	58.1 m <sup>3</sup> /h
Perdas aparentes	4.0 m <sup>3</sup> /h
<b>Caudal médio nocturno mínimo (CMNM)</b>	<b>107.0 m<sup>3</sup>/h</b>

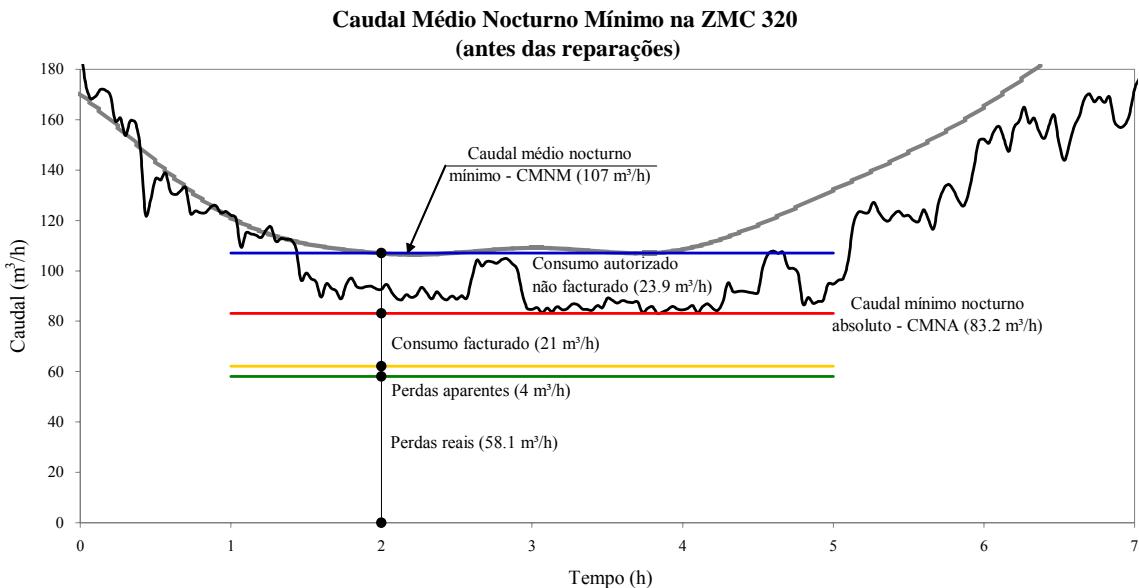


Figura 5.8 – Avaliação do *caudal médio nocturno mínimo* na ZMC 320 – antes das reparações.

#### 5.3.4.2 Calibração das Curvas Diárias das Componentes do Consumo (Passos 2-6)

No Passo 2 foi reproduzida a *curva diária da água entrada no sistema (C1)* através de uma simulação hidráulica dinâmica na qual foram desprezadas as perdas. Nesta simulação foram utilizados o *padrão temporal de consumo* (inicial), apresentado na Figura 5.3a, e os *consumos base nodais* calculados pelo produto dos factores de consumo nodais com o caudal médio diário da água entrada no sistema ( $195.2 \text{ m}^3/\text{h}$ ).

No Passo 3 calibrou-se o *coeficiente fixo de fugas* tendo por base as perdas reais na hora de consumo mínimo nocturno ( $58.1 \text{ m}^3/\text{h}$ ) resultante do Passo 1. Para simular as fugas como orifícios nos nós, através da Equação (5.2), foi utilizado um expoente da pressão de 1.18, conforme proposto pela National Water Council (1980), com base em dados experimentais e adoptado por vários autores (Jowitt e Xu, 1990; Vairavamoorthy e Lumbars, 1998; Alonso *et al.*, 2000; Araujo *et al.*, 2004a; Dias, 2004; Araujo, 2005). O *coeficiente fixo de fugas* resultante foi de  $3.2\text{E-}5 \text{ l/s/m/m}^{1.18}$ .

No Passo 4 calibrou-se o *padrão temporal de consumo* (inicial) e os *consumos base nodais* através de simulações hidráulicas sucessivas por um processo de optimização. Nestas simulações foram utilizados os coeficientes de fuga nodais ( $K_{fi}$ ) calculados com base no resultado do Passo 3 para simular as fugas no sistema. Deste processo resultaram o *padrão temporal de consumo* (calibrado) apresentado na Figura 5.9, e os *consumos base nodais* sem fugas.

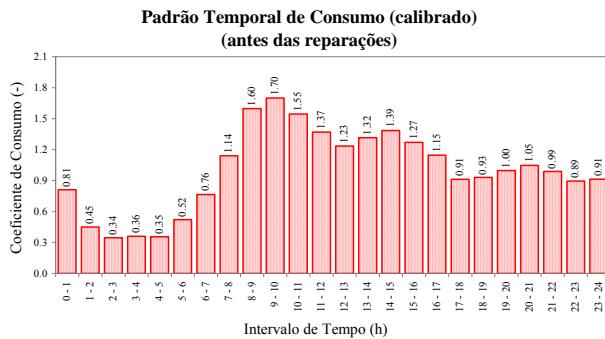


Figura 5.9 – Padrão de consumo diário (calibrado) na ZMC 320 – antes das reparações.

No *Passo 5* determinou-se a *curva diária de consumos sem a parcela de perdas reais (C2)* através de uma simulação hidráulica dinâmica utilizando os resultados do *Passo 4* e desprezando os coeficientes de fuga nodais ( $K_{fi}=0$ ). Em seguida calculou-se a *variação diária de perdas reais (C3)* pela diferença entre as curvas *C1* e *C2*.

No *Passo 6* calculou-se a *curva diária de consumos facturados (C4)* como o produto do padrão temporal de consumo (calibrado), resultante do *Passo 4*, pelo consumo médio facturado ( $\bar{X} = 77.7 \text{ m}^3/\text{h}$ ). Com base no valor estimado no *Passo 1* para o consumo facturado na hora de consumo mínimo nocturno ( $X_{2-4(\text{corrigido})} = 21.0 \text{ m}^3/\text{h}$ ), determina-se, através da Equação (5.4), o coeficiente de correção da curva *C4* ( $a = 0.113$ ). A partir deste coeficiente corrigem-se os outros pontos da curva *C4* utilizando a Equação (5.5). A *variação diária de perdas aparentes acrescida do consumo autorizado não facturado (C5)* foi calculada pela diferença entre as curvas *C2* e *C4*. Com base na *curva diária de consumos facturados (C4)* calculou-se o padrão temporal de consumo facturado que se apresenta na Figura 5.10.

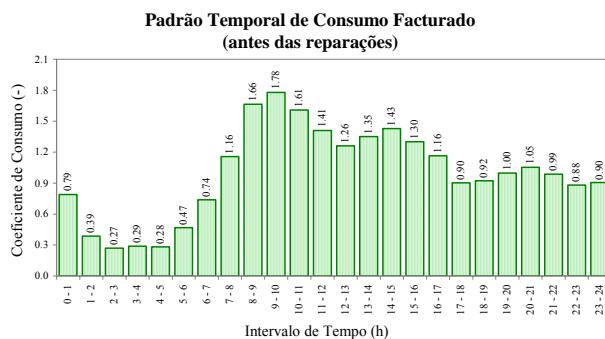


Figura 5.10 – Padrão de consumo diário facturado na ZMC 320 – antes das reparações.

Os resultados das curvas diárias das parcelas de consumo (*C1* a *C5*), obtidas pela aplicação da metodologia proposta em 5.3.3 estão resumidos no Quadro A6.1 do Anexo 6 e apresentados na Figura 5.11.

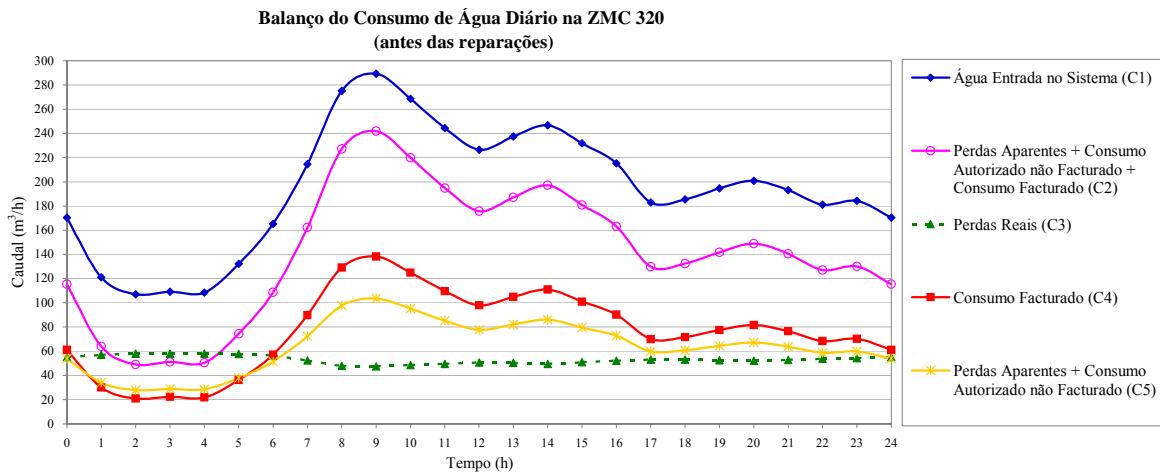


Figura 5.11 – Balanço do consumo de água diário na ZMC 320 – antes das reparações.

A avaliação dos resultados deve ter em conta as incertezas associadas aos dados (e.g., leituras semestrais dos contadores dos clientes) e ao processo de cálculo seguido que recorre a pressupostos com elevada incerteza.

As incertezas associadas à *água entrada no sistema* são pequenas e devem-se apenas ao facto de se tratar de uma curva média de caudais nos dias úteis e a erros inerentes ao processo de medição.

A curva de *perdas reais* (i.e., fugas) apresenta toda a incerteza associada à metodologia de cálculo utilizada para analisar o caudal mínimo nocturno.

As incertezas associadas à curva de *consumo facturado* obtida através de simulação hidráulica devem-se principalmente:

- (i) ao *consumo base nodal* (*cf. 5.3.2*) com as incertezas associadas ao processo de facturação da EPAL, no que se refere à fiabilidade dos consumos mensais efectivamente efectuados, uma vez que a emissão das facturas é bimestral e a sua actualização é garantida por leituras semestrais dos contadores, podendo traduzir-se em facturações negativas nos meses de actualização; para além disso, existem ainda os erros associados ao processo de leitura dos contadores dos clientes e ao processamento dos dados de facturação;
- (ii) ao *padrão diário de consumos* utilizado na simulação, que foi obtido com base nas medições efectuadas à entrada do sistema (*cf. 5.3.2.3*);
- (iii) a falta de medições complementares de caudal e pressão em pontos intermédios da rede que possibilitassem optimizar a calibração do modelo utilizado e efectuar uma melhor distribuição espacial e temporal de consumos e fugas na ZMC.

### 5.3.5 Aplicação da Metodologia à ZMC 320 depois das Reparações

Nesta análise utilizaram-se os dados recolhidos durante a 8<sup>a</sup> semana de campanha (8 a 12/11/2004), que reflectem o comportamento da ZMC após os trabalhos de reparação.

#### 5.3.5.1 Estimativa das Componentes do Consumo Mínimo Nocturno (Passo 1)

Na 8<sup>a</sup> semana de campanha, a pressão de serviço média na ZMC 320, é de 35 m, à qual corresponde um factor multiplicativo de correcção das taxas de perdas reais igual a 0.64 de acordo com WRC (1994). O factor de carga mensal de consumo utilizado é de 0.874, que corresponde ao mês de Novembro (*cf.* Figura 5.5). O Quadro 5.3 apresenta o resultado da avaliação do *caudal mínimo nocturno base* que seguiu um raciocínio idêntico ao apresentado em 5.3.4.1. A Figura 5.12 apresenta as medições referentes à 8<sup>a</sup> semana da campanha, num período durante o qual se observou o *caudal mínimo nocturno absoluto*, e indica as diversas parcelas deste caudal.

Quadro 5.3 – Cálculo do *caudal nocturno base* na ZMC 320 – depois das reparações.

Componentes do caudal mínimo nocturno base		Valores de referência (WRC, 1994)	Dados da ZMC 320	Caudais para a ZMC320	
Uso excepcional doméstico e não doméstico		-	15 000 l/h	13.1 m <sup>3</sup> /h*	18.3 m <sup>3</sup> /h
Uso normal	Doméstico	1.7 l/contador/hora	3071 contadores	5.2 m <sup>3</sup> /h*	
	Não doméstico	8 l/contador/hora	95 contadores		
Perdas não detectáveis (factor de correcção da pressão = 0.64)	Condutas	60 l/km/h	9.33 km	2.6 m <sup>3</sup> /h**	2.6 m <sup>3</sup> /h**
	Ramais	6 l/ramal/h	589 ramais		
<b>Caudal mínimo nocturno base</b>				<b>21.0 m<sup>3</sup>/h</b>	

\* resultados afectados pelo factor de carga de consumo do mês de Novembro.

\*\* resultado afectado pelo factor de correcção da pressão.

**Caudal Mínimo Nocturno Absoluto na ZMC 320  
(depois das reparações)**

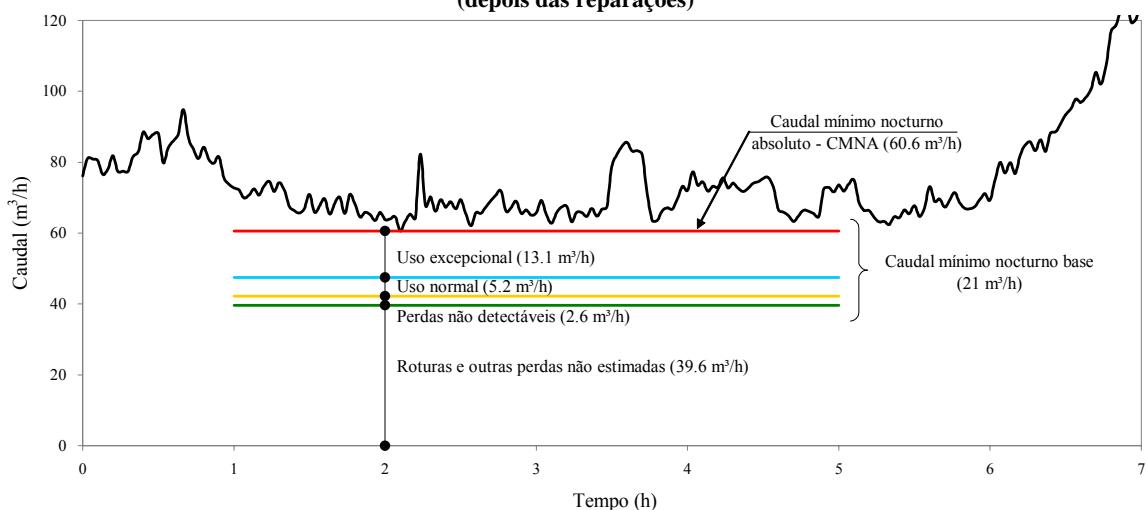


Figura 5.12 – Distribuição do *caudal mínimo nocturno absoluto* na ZMC 320 – depois das reparações.

O Quadro 5.4 e a Figura 5.13 apresentam os resultados da avaliação do *caudal médio nocturno mínimo* após as reparações.

Quadro 5.4 – Distribuição do *caudal médio nocturno mínimo* na ZMC 320 – depois das reparações.

Consumo autorizado não facturado	12.1 m <sup>3</sup> /h
Consumo facturado	16.5 m <sup>3</sup> /h
Perdas reais	40.9 m <sup>3</sup> /h
Perdas aparentes	3.1 m <sup>3</sup> /h
<b>Caudal médio nocturno mínimo (CMNM)</b>	<b>72.6 m<sup>3</sup>/h</b>

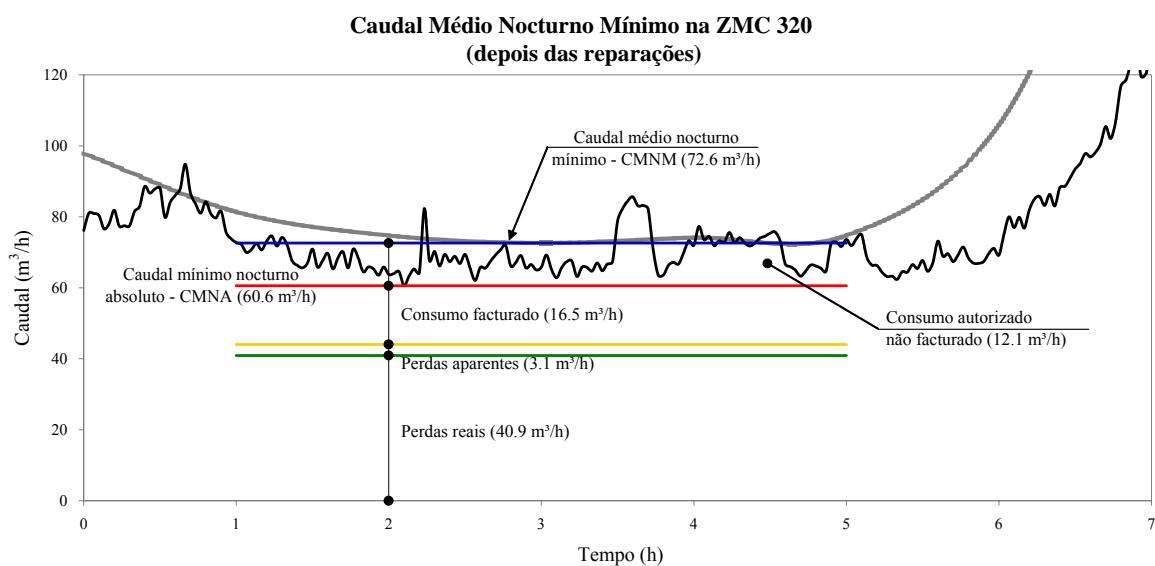


Figura 5.13 – Avaliação do *caudal médio nocturno mínimo* na ZMC 320 – depois das reparações.

### 5.3.5.2 Calibração das Curvas Diárias das Componentes do Consumo (Passos 2-6)

Na simulação hidráulica do *Passo 2* foram utilizados o *padrão temporal de consumo* (inicial) apresentado na Figura 5.3b e os *consumos base nodais* determinados com base no caudal médio diário da água entrada no sistema de 151.3 m<sup>3</sup>/h.

A aplicação do *Passo 3* teve por base o valor de perdas reais na hora de consumo mínimo nocturno (40.9 m<sup>3</sup>/h) determinado no *Passo 1* e resultou num *coeficiente fixo de fugas* de 1.8E-5 l/s/m/m<sup>1.18</sup>, valor este inferior ao obtido antes das reparações (3.2E-5 l/s/m/m<sup>1.18</sup>).

Do *Passo 4* resultaram um *padrão temporal de consumo* (calibrado), apresentado na Figura 5.14, e os *consumos base nodais* sem fugas.

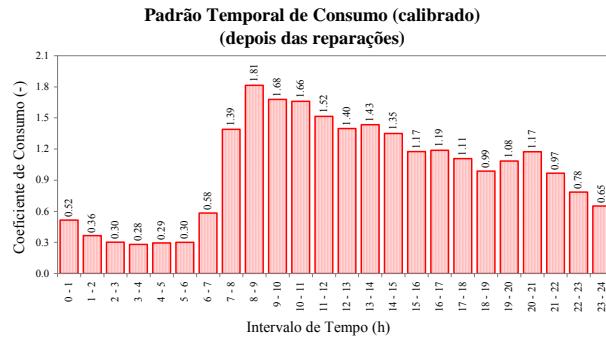


Figura 5.14 – Padrão de consumo diário (calibrado) na ZMC 320 – depois das reparações.

No *Passo 5* determinou-se a *curva diária de consumos sem a parcela de perdas reais (C2)* e a *variação diária de perdas reais (C3)*.

No *Passo 6* calculou-se a *curva diária de consumos facturados (C4)* utilizando o consumo médio facturado ( $\bar{X} = 61.0 \text{ m}^3/\text{h}$ ). Com base no valor estimado no *Passo 1* para o *consumo facturado* na hora de consumo mínimo nocturno ( $X_{2-4(\text{corrigido})} = 16.5 \text{ m}^3/\text{h}$ ), calculou-se o coeficiente de correção  $a = 0.015$ , através da Equação (5.4), e a partir deste coeficiente corrigem-se os outros pontos da curva C4 utilizando a Equação (5.5). Neste passo, determinou-se também a *variação diária de perdas aparentes acrescida do consumo autorizado não facturado (C5)*. Com base na *curva diária de consumos facturados* ajustada calculou-se o padrão temporal de consumo facturado apresentado na Figura 5.15.

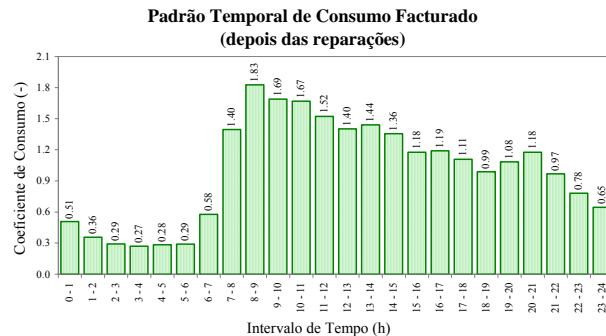


Figura 5.15 – Padrão de consumo diário facturado na ZMC 320 – depois das reparações.

Os resultados das curvas diárias das parcelas de consumo (C1 a C5) estão resumidos no Quadro A6.2 do Anexo 6 e apresentados na Figura 5.16.

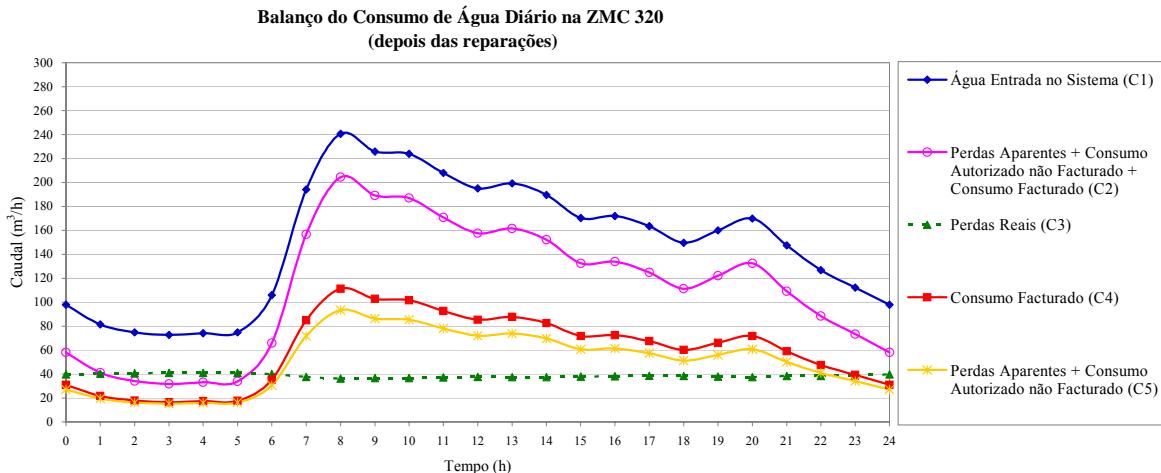


Figura 5.16 – Balanço do consumo de água diário na ZMC 320 – depois das reparações.

## 5.4 BALANÇO HÍDRICO ANUAL

Neste subcapítulo procede-se ao cálculo do balanço hídrico referente ao ano de 2004 (abordagem *top-down*) para a ZMC em análise. Para tal, procuraram-se seguir as metodologias recomendadas pelo Grupo de Trabalho da IWA, que se encontram descritas em 2.4.3.

### 5.4.1 Aplicação da Metodologia apresentada pela IWA

Apresenta-se, de seguida, a sequência de cálculo utilizada na determinação do balanço hídrico anual para a zona em estudo. Comentam-se também as principais dificuldades encontradas na determinação de cada parâmetro, bem como as suas bandas de exactidão consideradas. A sequência de *Passos* refere-se à metodologia apresentada em 2.4.3.

No *Passo 1* determinou-se o volume anual de *água entrada no sistema* através da extrapolação, para o período anual, da média das medições de caudal recolhidas durante o período analisado. Apesar das medições de caudal serem obtidas através de instrumentos de alta precisão, o processo de extrapolação para um período tão alargado traduz-se em pouca fiabilidade e baixa exactidão dos resultados. Atribuiu-se a este parâmetro uma banda de exactidão de 21 a 50 % (*cf. Quadro 2.5*).

O *Passo 2* refere-se à determinação do *consumo facturado medido* e do *consumo facturado não medido*. O *consumo autorizado facturado*, dado pela soma dos dois anteriores, foi obtido com base na totalização dos volumes mensais facturados de todos os clientes inseridos na ZMC 320, no ano de 2004, correspondendo a 610 744 m<sup>3</sup>, sobre o qual incidiu ainda o factor de carga mensal de consumo correspondente ao período de referência. A estes valores associam-se inúmeras incertezas, tais como: a periodicidade semestral das leituras dos contadores; a facturação bimestral do consumo; a idade e o estado de conservação dos contadores. Dada todas estas incertezas, atribuiu-se a este consumo uma banda de exactidão de 51 a 100 %.

Ainda no *Passo 2*, a estimativa do *consumo facturado não medido* efectua-se com base no percentual do *consumo autorizado facturado* obtido para a totalidade do sistema de distribuição de Lisboa, uma vez que não se dispunham de quaisquer outros dados de referência mais fiáveis. Dada a grande incerteza associada a este resultado, atribuiu-se uma banda de exactidão de 101 a 300 %. O *consumo facturado medido* resulta da diferença entre o *consumo autorizado facturado* e o *consumo facturado não medido*.

No *Passo 3* determina-se o volume de *água não facturada* subtraindo-se a *água facturada* (*Passo 2*) à *água entrada no sistema* (*Passo 1*).

No *Passo 4* define-se o *consumo não facturado medido* e o *consumo não facturado não medido*. Quanto ao *consumo não facturado medido* apresenta-se apenas a realização de uma campanha de descarga e análise em extremos da rede e válvulas de descarga, realizada na ZMC 320 entre 25/11/2004 e 14/12/2004, e que registou um consumo de 545 m<sup>3</sup>, ao qual se atribuiu uma banda de exactidão de 0 a 5 %. Não se dispondo de informações para determinar o *consumo não facturado não medido*, optou-se por determinar o *consumo autorizado não facturado*, através do percentual da água não facturada resultante do balanço hídrico do sistema de distribuição de Lisboa (2.95%). A este valor foi atribuído um intervalo de exactidão de 101 a 300 %.

Considerando a alteração efectuada no *Passo 4*, o *Passo 5* destina-se à determinação do *consumo não facturado não medido* através da dedução do *consumo autorizado facturado* ao *consumo autorizado*.

No *Passo 6* calculam-se as *perdas de água*, como a diferença entre a *água entrada no sistema* e o *consumo autorizado*.

No *Passo 7* deve-se avaliar, usando os melhores métodos disponíveis, as *perdas aparentes*. No entanto, não se dispondo de dados para esta avaliação, optou-se por utilizar o percentual da água não facturada definido para o sistema de distribuição de água de Lisboa e, posteriormente, comparou-se com os resultados obtidos pelas simulações hidráulicas dinâmicas (*cf.* Subcapítulo 5.3). A banda de exactidão adoptada para este valor foi de 101 a 300 %.

No *Passo 8* calculam-se as *perdas reais* subtraindo as *perdas aparentes* às *perdas de água*.

No *Passo 9* avaliam-se as *perdas reais* usando os melhores métodos disponíveis, e comparam-se com os valores obtidos pelo balanço hídrico. Nesta etapa foram utilizados os resultados obtidos nas simulações efectuadas no Subcapítulo 5.3, para se efectuar as comparações.

As parcelas restantes do balanço hídrico foram determinadas por operações de adição ou subtração, conforme metodologia sugerida. As bandas de exactidão dessas parcelas foram calculadas através da Equação (2.7) apresentada em 2.5.4.

## 5.4.2 Resultados

Apesar do balanço hídrico ter sido determinado para um período de um ano, aplicou-se a metodologia separadamente aos dados da 1<sup>a</sup> e da 8<sup>a</sup> semana da CDF, por forma a verificar se existe consistência entre os resultados da avaliação de perdas e não considerar as alterações efectuadas no decorrer da CDF.

### 5.4.2.1 Antes das Reparações

Apresenta-se no Quadro 5.5 um balanço hídrico da zona em estudo determinado com base nas medições de caudal efectuadas durante a 1<sup>a</sup> semana da CDF (antes das reparações), e extrapolado para o ano de 2004. Foram utilizados também os dados anuais de facturação mensal e o factor de carga de consumo referente ao mês de Setembro para a correcção destes dados.

Quadro 5.5 – Balanço Hídrico 2004 da ZMC 320 (m<sup>3</sup>/ano) – antes das reparações.

Água entrada no sistema <b>1 710 237</b> (21-50%)	Consumo autorizado <b>710 581</b> (21-50%)	Consumo autorizado facturado <b>680 234</b> (21-50%)	Consumo facturado medido <b>668 693</b> (21-51%)*	Água facturada <b>680 234</b> (21-51%)*
		Consumo autorizado não facturado <b>30 347</b> (101-300%)	Consumo facturado não medido <b>11 541</b> (101-300%)	
		Consumo autorizado não facturado <b>30 347</b> (101-300%)	Consumo não facturado medido <b>545</b> (0-5%)	
			Consumo não facturado não medido <b>29 802</b> (103-305%)*	
Perdas de água <b>999 655</b> (39-93%)*	Perdas aparentes <b>337 194</b> (101-300%)	Perdas aparentes <b>337 194</b> (101-300%)	Consumo não autorizado	Água não facturada (perdas comerciais) <b>1 030 003</b> (38-89%)*
			Perda de água por erros de medição	
	Perdas reais <b>662 461</b> (78-207%)*	Perdas reais <b>662 461</b> (78-207%)*	Fugas nas condutas de adução e/ou distribuição <b>563 092</b> (78-207%)*	
			Fugas nos ramais (a montante do ponto de medição) <b>99 369</b> (78-207%)*	

\*bandas de exactidão calculadas através da Equação (2.7).

Como não existem dados relativos à ZMC em estudo, utilizaram-se percentuais determinados com base no balanço hídrico global do sistema de distribuição de Lisboa para o ano de 2004. Entre estes salientam-se (i) o *consumo facturado não medido* que corresponde a 1.7% do *consumo autorizado facturado*; (ii) o *consumo autorizado não facturado* que corresponde a 3% da *água não facturada*; (iii) as perdas aparentes que correspondem a 33% da *água não facturada*; e (iv) as fugas nas condutas e nos ramais de ligação que correspondem, a 85% e a 15% de *perdas reais*, respectivamente.

### 5.4.2.2 Depois das Reparações

Neste caso, a determinação da água entrada no sistema tem por base os dados de consumo medidos durante a 8<sup>a</sup> semana da CDF (depois das reparações) e o factor de carga mensal utilizado na correcção do consumo facturado corresponde ao do mês de Novembro. Apresenta-se no Quadro 5.6 um balanço hídrico da ZMC 320 definida para o ano de 2004.

Os parâmetros determinados a partir dos percentuais definidos com base no balanço hídrico global do sistema de distribuição de Lisboa para o ano de 2004 utilizados aqui foram os mesmos apresentados em 5.4.2.1.

Quadro 5.6 – Balanço Hídrico 2004 da ZMC 320 (m<sup>3</sup>/ano) – depois das reparações.

Água entrada no sistema <b>1 325 077</b> (21-50%)	Consumo autorizado <b>557 179</b> (21-50%)	Consumo autorizado facturado	Consumo facturado medido <b>524 810</b> (21-51%)*	Água facturada <b>533 867</b> (21-51%)*
		<b>533 867</b> (21-50%)*	Consumo facturado não medido <b>9 058</b> (101-300%)	
		Consumo autorizado não facturado <b>23 312</b> (101-300%)*	Consumo não facturado medido <b>545</b> (0-5%)	
			Consumo não facturado não medido <b>22 767</b> (103-307%)*	
	Perdas de água <b>767 898</b> (39-93%)*	Perdas aparentes <b>259 020</b> (101-300%)*	Consumo não autorizado	Água não facturada (perdas comerciais) <b>791 210</b> (38-90%)*
		Perdas reais <b>508 878</b> (78-208%)*	Perda de água por erros de medição <b>432 546</b> (78-208%)*	
			Fugas nas condutas de adução e/ou distribuição <b>76 332</b> (78-208%)*	

\*bandas de exactidão calculadas através da Equação (2.7).

## 5.5 AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS

Com base no resultado da aplicação das duas abordagens apresentadas neste estudo à ZMC 320 (i.e., abordagem *top-down* – cf. 5.3.4 e 5.3.5, e abordagem *bottom-up* – cf. 5.4.2) é possível efectua-se algumas comparações entre (i) os valores obtidos pela abordagem *bottom-up* antes e depois das reparações, (ii) os valores obtidos pela abordagem *top-down* antes e depois das reparações, e (iii) os resultados destas duas abordagens entre si.

### 5.5.1 Comparação entre os Resultados da Abordagem *Bottom-up*

Com o objectivo de avaliar a redução efectiva de perdas reais obtida através dos trabalhos de reparação efectuados durante a CDF procedeu-se a comparações entre os resultados obtidos

para os dois períodos analisados (i.e., antes e depois dos trabalhos de reparação na ZMC), cujo resumo se apresenta no Quadro 5.7.

Quadro 5.7 – Parcelas de consumo da ZMC 320 obtidas pela abordagem *bottom-up* – antes e depois das reparações.

Valores médios diários	Antes		Depois		Redução dos caudais
	Caudal	% do caudal entrado no sistema	Caudal	% do caudal entrado no sistema	
Água entrada no sistema	195.2 m <sup>3</sup> /h	100	151.3 m <sup>3</sup> /h	100	23%
Consumo facturado	77.7 m <sup>3</sup> /h	40	60.9 m <sup>3</sup> /h	40	22%
Perdas reais	53.0 m <sup>3</sup> /h	27	38.5 m <sup>3</sup> /h	26	27%
Perdas aparentes + Consumo autorizado não facturado	64.6 m <sup>3</sup> /h	33	51.8 m <sup>3</sup> /h	34	20%

A variação da *água entrada no sistema* reflecte as reduções de cada uma das suas componentes.

A redução do *consumo facturado*, cerca de 22%, corresponde, essencialmente, ao efeito da sazonalidade na zona em estudo; salienta-se que os factores de carga mensais variam de 1.114, em Outubro, para 0.874, em Novembro, correspondendo as oito semanas de campanha ao período de transição entre a época de Verão e a de Inverno.

A redução da parcela de *perdas aparentes* acrescida do *consumo autorizado não facturado* deve-se, essencialmente, a dois factores: à forte redução dos *consumos autorizados não facturados*, o que foi detectado pela não existência de *picos* de consumo nocturno nas curvas médias para os dias da 8<sup>a</sup> semana, contrariamente ao que se observou na 1<sup>a</sup> semana (comparar a Figura A5.1a com a Figura A5.4b, apresentadas no Anexo 5); e à redução de *perdas aparentes* devido à variação sazonal dos consumos, uma vez que estas perdas estão directamente relacionadas com os consumos, seja através de erros de medição, seja por consumos ilegais.

A redução de *perdas reais*, cerca de 27%, pode atribuir-se às reparações das fugas detectadas durante a CDF, não estando associada ao efeito de sazonalidade que é a principal razão da redução das outras componentes (*consumo facturado* e *perdas aparentes* acrescida do *consumo autorizado não facturado*). No presente caso, à redução de consumos está associado um aumento de pressão de cerca de 15%, ao qual corresponderia, caso não houvessem reparações, a um aumento de *perdas reais* da mesma ordem de grandeza. Este facto evidencia que a redução efectiva de *perdas reais* conseguida com a campanha seja bastante superior aos 27% observados, ou seja, da ordem dos 42%.

Um inconveniente da metodologia utilizada é o facto de não se conseguir separar, para um período diário, as parcelas de *perdas aparentes* e do *consumo autorizado não facturado*.

A Figura 5.17 apresenta os valores horários do *consumo facturado*, *perdas aparentes* acrescidas do *consumo autorizado não facturado* e *perdas reais*, antes e depois das reparações, assim como as suas variações entre estes dois períodos.

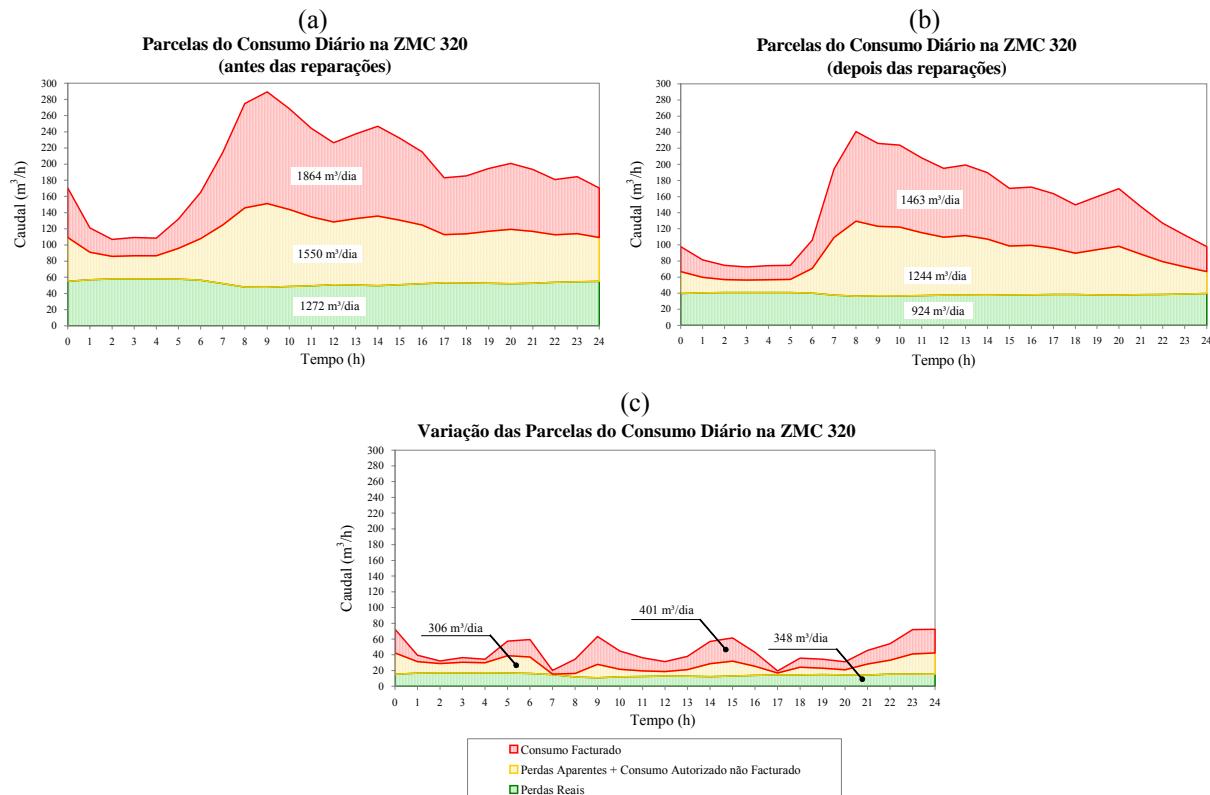


Figura 5.17 – Parcelas do consumo de água diário na ZMC 320: (a) antes das reparações, (b) depois das reparações e (c) variação entre antes e depois das reparações.

Neste caso específico, a campanha contou com duas vertentes de trabalho: uma com acções relacionadas ao controlo activo de fugas, que se reflectem directamente nas perdas reais; e outra que validou todos os ramais com ponto de abastecimento, procedendo-se ao acerto dos consumidores clandestinos ligados nestes ramais (i.e., consumiam água ilegalmente), combatendo assim as perdas aparentes.

Deve lembrar-se que os dados de caudal e pressão foram obtidos com o isolamento temporário da ZMC 320 através do fechamento de 10 válvulas de seccionamento. Este isolamento traduz-se numa redução da pressão na zona. Estando as perdas reais directamente relacionadas com a pressão, estas são inferiores às calculadas durante o funcionamento normal da ZMC. Por outro lado, grande parte do consumo também é afectado pelas pressões, e que um aumento da pressão média de serviço dá origem a um aumento nos consumos, e, consequentemente, de perdas aparentes. Neste contexto, considera-se que, em condições normais de funcionamento do sistema (i.e., com as pressões mais elevadas), a relação entre as perdas reais e as aparentes se mantenham aproximadamente como as obtidas neste estudo.

### 5.5.2 Comparação entre os Resultados da Abordagem *Top-down*

O objectivo de se confrontar os resultados da aplicação da abordagem *top-down* aos dados da 1<sup>a</sup> e da 8<sup>a</sup> semana, consiste apenas na verificação da consistência dos cálculos, e não propriamente na avaliação da eficiência da campanha de detecção de fugas, visto que a extração de consumos médios semanais para um período de um ano é objecto de uma grande incerteza.

O Quadro 5.8 apresenta de forma sintetizada os resultados da aplicação do balanço hídrico anual com base nos dados da 1<sup>a</sup> e da 8<sup>a</sup> semana.

Quadro 5.8 – Parcelas de consumo da ZMC 320 obtidas pela abordagem *top-down* – antes e depois das reparações.

<b>Valores médios anuais</b>	<b>Antes</b>		<b>Depois</b>		<b>Redução dos caudais</b>
	<b>Caudal</b>	<b>% do caudal entrado no sistema</b>	<b>Caudal</b>	<b>% do caudal entrado no sistema</b>	
Água entrada no sistema	1 710 237 m <sup>3</sup> /ano	100	1 325 077 m <sup>3</sup> /ano	100	23%
Consumo facturado	680 234 m <sup>3</sup> /ano	40	533 867 m <sup>3</sup> /ano	40	22%
Perdas reais	662 461 m <sup>3</sup> /ano	39	508 878 m <sup>3</sup> /ano	38	23%
Perdas aparentes	337 194 m <sup>3</sup> /ano	20	259 020 m <sup>3</sup> /ano	20	23%
Consumo autorizado não facturado	30 347 m <sup>3</sup> /ano	2	23 312 m <sup>3</sup> /ano	2	23%

Observa-se que apesar dos valores absolutos das parcelas de consumo serem bastante diferentes, a distribuição destas parcelas em relação à *água entrada no sistema* é muito semelhante nos dois casos, evidenciando a consistência dos dados utilizados.

### 5.5.3 Comparação entre os Resultados das duas Abordagens

Seguindo a sugestão do *Passo 9*, da metodologia de cálculo do balanço hídrico anual proposta pela IWA, procede-se à comparação dos resultados do balanço hídrico (abordagem *top-down*) com os resultados obtidos através da análise do caudal mínimo nocturno com base em simulações hidráulicas dinâmicas (abordagem *bottom-up*).

Para facilitar a comparação dos resultados, apresenta-se no Quadro 5.9, em analogia ao Quadro 5.7, os resultados da avaliação de perdas pela abordagem *bottom-up* extrapolada para valores anuais, ou seja em m<sup>3</sup>/ano. Dado que a metodologia utilizada nesta abordagem não permitiu separar as parcelas de *perdas aparentes* do *consumo autorizado não facturado*, pressupõem-se percentuais de 90% e 10%, respectivamente para estas parcelas.

Quadro 5.9 – Parcelas de consumo da ZMC 320 obtidas pela abordagem *bottom-up* extrapoladas para o período de um ano – antes e depois das reparações.

Valores médios anuais	Antes		Depois		Redução dos caudais
	Caudal	% do caudal entrado no sistema	Caudal	% do caudal entrado no sistema	
Água entrada no sistema	1 710 237 m <sup>3</sup> /ano	100	1 325 077 m <sup>3</sup> /ano	100	23%
Consumo facturado	680 234 m <sup>3</sup> /ano	40	533 867 m <sup>3</sup> /ano	40	22%
Perdas reais	464 368 m <sup>3</sup> /ano	27	337 251 m <sup>3</sup> /ano	26	23%
Perdas aparentes	509 072 m <sup>3</sup> /ano	33	408 563 m <sup>3</sup> /ano	31	23%
Consumo autorizado não facturado	56 564 m <sup>3</sup> /ano	3	45 396 m <sup>3</sup> /ano	3	23%

A comparação dos resultados obtidos por cada uma das abordagens, *top-down* (*cf.* Quadro 5.8) e *bottom-up* (*cf.* Quadro 5.9) permite concluir o seguinte:

- (i) a parcela de *perdas reais*, antes das reparações, pela abordagem *bottom-up* (464 368 m<sup>3</sup>/ano) é muito inferior à obtida pela abordagem *top-down* (662 461 m<sup>3</sup>/ano), 27% e 39% respectivamente, evidenciando que os percentuais utilizados na determinação de *perdas aparentes* e do *consumo autorizado não facturado* no balanço hídrico da rede de distribuição global de Lisboa não se adequam à ZMC 320, encontrando-se estes últimos, significativamente subestimados na abordagem *top-down*;
- (ii) a parcela de *perdas aparentes* acrescida do *consumo autorizado não facturado*, antes das reparações, obtida pela abordagem *bottom-up* (565 635 m<sup>3</sup>/ano) corresponde a cerca de 36% da *água entrada no sistema*, e é muito superior ao valor obtido pela abordagem *top-down* (365 542 m<sup>3</sup>/ano), correspondente a 22%;

Para a ZMC analisada, a avaliação de perdas através da abordagem *bottom-up* é mais fiável do que pela abordagem *top-down*, uma vez que se baseia em análises detalhadas dos consumos nocturnos e na simulação do comportamento hidráulico da ZMC com base nas medições de caudal e pressão e conhecimento detalhado da zona. Além disso, os seus resultados permitem uma avaliação directa do ganho obtido com os trabalhos de reparação realizados durante a CDF, como apresentado em 5.5.1. No entanto, a extrapolação destes resultados para valores anuais deve ser efectuada com parcimónia, uma vez que o efeito da sazonalidade é muito significativo. Por outro lado, da abordagem *top-down* constitui uma boa ferramenta de análise global para ter uma ordem de grandeza de perdas no sistema; contudo, requer o conhecimento dos diferentes componentes do balanço hídrico, o que se torna, por vezes, difícil de obter para os subsistemas, como as ZMC.

## 5.6 INDICADORES DE DESEMPENHO

A partir dos resultados das parcelas de perdas determinadas para a ZMC 320, através da abordagem *bottom-up*, foi possível determinar alguns indicadores de desempenho utilizados na gestão de sistemas de distribuição de água. Entre os indicadores propostos pelo Grupo de Trabalho da IWA, encontram-se oito indicadores direcionados para a avaliação de perdas de água em sistemas de distribuição: sete indicadores de perdas de água e um indicador de água não medida. Estes indicadores estão organizados em três grupos: indicadores de recursos hídricos (*WR*), indicadores operacionais (*Op*) e indicadores económico-financeiros (*Fi*).

Considerando que a abordagem *bottom-up* estima, com maior fiabilidade e exactidão, as diferentes parcelas de consumo na ZMC em estudo, utilizaram-se os seus resultados como base para a determinação dos indicadores de desempenho. A utilização destes resultados, assim como a falta de informação a respeito das tarifas e custos envolvidos no processo, reduziram de oito para seis os indicadores calculados.

O Quadro 5.10 apresenta os resultados dos cálculos dos indicadores de desempenho associados às perdas, para a zona em análise, com base nos resultados obtidos pela abordagem *bottom-up*, antes e depois das reparações.

Quadro 5.10 – Indicadores de desempenho de perdas de água na ZMC 320 – antes e depois das reparações.

Categoría	Código	Nome	Nível	Antes	Depois	Valores de referência
Recursos hídricos	<i>WR1</i>	Ineficiência na utilização dos recursos hídricos (%)	<i>N1</i>	27	25	< 15
Operacional	<i>Op23</i>	Perdas de água por ramal (m <sup>3</sup> /ramal/ano)	<i>N1</i>	1 653	1 266	-
	<i>Op25</i>	Perdas aparentes (%)	<i>N3</i>	30	31	-
	<i>Op27</i>	Perdas reais por ramal (l/ramal/dia)	<i>N1</i>	2 160	1 569	< 1000
	<i>Op29</i>	Índice infra-estrutural de fugas (IIF) (-)	<i>N3</i>	54.7	32.9	< 10
	<i>Op39</i>	Água não medida (%)	<i>N1</i>	-	-	-
Económico-financeiro	<i>Fi46</i>	Água não facturada em termos de volume (%)	<i>N1</i>	60	60	-
	<i>Fi47</i>	Água não facturada em termos de custo (%)	<i>N3</i>	-	-	-

Do ponto de vista económico-financeiro, as perdas de água correspondem à água que não é facturada: o indicador *Fi46* aponta para 60% da água *entrada no sistema* como não facturada. Não foi possível determinar o indicador de água não facturada em termos de custo, por falta de dados sobre os custos correntes (i.e., custos totais líquidos de operação e manutenção e de pessoal, ou seja, sem incluir o reinvestimento em infra-estruturas) na ZMC 320 no período de referência.

Os valores obtidos para o *indicador de perdas aparentes* (*Op25*), não podem ser considerados aceitáveis (i.e., 30 e 31% antes e depois das reparações, respectivamente). Mesmo se fossem utilizados os valores de perdas aparentes obtidos na abordagem *top-down*, este indicador resultaria em cerca de 19%, que, apesar de muito inferior, também não é aceitável. Este indicador mantém-se praticamente constante quando avaliado utilizando os dados da 1<sup>a</sup> ou da 8<sup>a</sup> semana da campanha.

Quanto ao desempenho técnico, que pode ser avaliado pelos indicadores *Op27* e *Op29*, também se observam valores muito elevados, para os quais não foram encontradas referências.

Para o *indicador de perdas reais por ramal* (*Op27*), chegou-se a um resultado de 2 160 l/ramal/dia, antes das reparações; este valor desce para 1 569 l/ramal/dia, depois das reparações, o que representa uma redução de cerca de 27%. Contudo, mesmo após os trabalhos de reparação efectuados na ZMC durante a CDF, o valor obtido foi muito elevado, cerca de 64% superior ao maior valor apresentado na Figura 5.18a (956 l/ramal/dia), que reporta os resultados de 27 sistemas de distribuição localizados em 20 países, em todo o mundo. Este resultado não era esperado dado o nível de refinamento utilizado nos trabalhos de detecção de fugas.

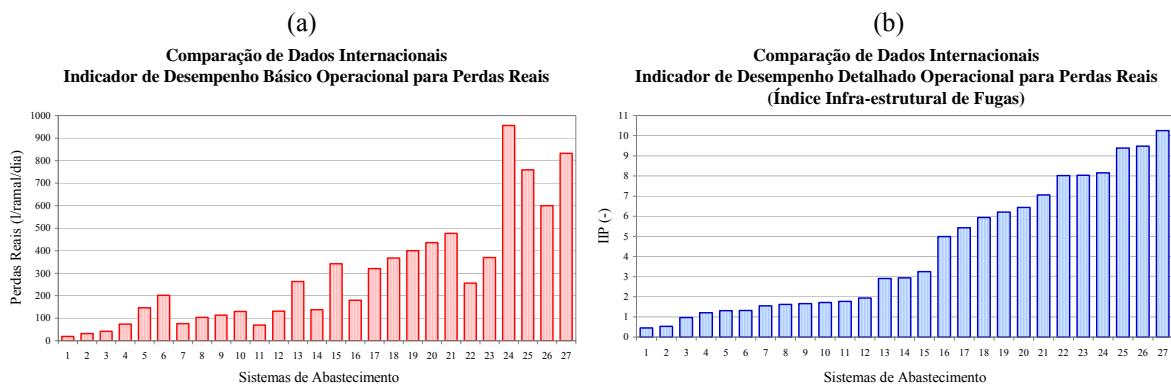


Figura 5.18 – Comparação de dados internacionais do indicador de desempenho operacional (a) básico (*Op27*) e (b) detalhado (*Op29*) para perdas reais, adaptado de Farley e Trow (2003).

Obtiveram-se valores para o *índice infra-estrutural de fugas* (*Op29*), de 54.7 antes das reparações e 32.9 depois das reparações. Refere-se que o valor ideal de referência do *Op29*, para sistemas com boa manutenção, é a unidade. Um índice infra-estrutural de fugas de 32.9 está muito acima da gama de valores apresentados na Figura 5.18b que varia de cerca de 0.5 a 10. A este indicador estão também associadas as incertezas do cálculo de *perdas reais inevitáveis médias* (PRIM), cuja determinação se baseou numa equação empírica deduzida a partir dos resultados de estudos experimentais realizados em sistemas bem construídos, operados e mantidos, de acordo com a Equação (2.2). Esta equação apresenta algumas restrições de utilização mostrando-se eficiente para sistemas com mais de 5 000 ligações de serviço, muito superior aos 633 ramais existentes na ZMC em estudo. Considerando-se que o *índice infra-estrutural de fugas* (*Op29*) corresponde à razão entre as *perdas reais ocorridas no sistema* (*Op27*) e as *perdas reais inevitáveis médias* (PRIM), calculadas conforme

Equação (2.3), conclui-se que os resultados obtidos (extremamente elevados e não passíveis de comparação) se devem, não só, aos elevados valores de perdas reais, mas também, à subavaliação de *perdas reais inevitáveis médias*, ou seja, a Equação (2.3) não se aplica ao sistema em estudo.

No âmbito da dimensão ambiental, interessa apenas avaliar os recursos hídricos utilizados devido às perdas reais (i.e., a água que poderia ser poupada se não houvessem fugas nem extravasamentos), uma vez que, nesta perspectiva, as perdas aparentes são irrelevantes pois não representam volumes de água efectivamente perdidos. Nesta conformidade, utiliza-se o indicador *WRI*, que representa a ineficiência na utilização dos recursos hídricos. O resultado deste indicador também foi muito elevado (i.e., 27 e 25%, antes e depois das reparações, respectivamente) quando comparado ao valor máximo recomendado pelo Instituto Regulador de Águas e Resíduos (IRAR), de 15%. Face aos problemas actuais enfrentados em Portugal pelas secas extremas cada vez mais frequentes e consequente escassez de recursos hídricos, é inaceitável uma ineficiência na ordem dos 27% como verificado na ZMC 320. Se fossem utilizados os valores obtidos através do cálculo do balanço hídrico (abordagem *top-down*), este indicador atingiria os 38%.

## 5.7 RECOMENDAÇÕES PRÁTICAS

Na aplicação das duas abordagens seguidas para a avaliação de perdas foram encontradas algumas dificuldades que se deveram essencialmente à limitação dos dados disponíveis para utilização nas simulações nomeadamente: dados de facturação bimestral ou semestral, séries de medições incompletas, e não existência de medições contínuas nos grandes consumidores nem em outros pontos de medição dentro da ZMC. Dada a importância do conjunto de dados disponíveis para a calibração do modelo matemático e aplicação do balanço hídrico por forma a que os resultados obtidos sejam fiáveis, apresentam-se algumas recomendações práticas com o objectivo de, no futuro, se poderem ultrapassar as dificuldades encontradas.

Antes de iniciar uma campanha de medições deve-se sempre analisar com cuidado a metodologia que vai ser seguida, os passos de cálculo e quais os dados necessários ao desenvolvimento da análise.

Para se determinarem as perdas de água numa ZMC, através do cálculo do balanço hídrico (abordagem *top-down*), é imprescindível dispor de medições fiáveis na zona (caudal e pressão) durante o período analisado. Estas medições não são habitualmente efectuadas na rede de distribuição, ou porque não existem medições contínuas nas ZMC permanentes, ou porque as ZMC são temporárias, requerendo um planeamento prévio da uma campanha de medições e o fechamento de válvulas que interferem com o funcionamento normal do sistema. Assim, as entidades gestoras deverão iniciar a avaliação de perdas por zonas menos complexas, eventualmente mais abrangente, cujo isolamento não se traduza em grandes interferências no funcionamento normal do sistema através do fechamento de válvulas, sob pena de perturbar o abastecimento aos consumidores por falta de pressão.

Durante a campanha de aquisição de dados, quaisquer factores que venham a provocar alterações no sistema (e.g., ocorrência de roturas, manobra de válvulas para reparações, uso para combate a incêndios, lavagens de ruas) devem ser registados com indicação da data, hora e local onde ocorrem. O ideal seria que nada interferisse no comportamento do sistema durante o período de campanha, não devendo ser agendadas quaisquer outras intervenções na zona em estudo durante esse período (contrariamente ao que foi efectuado no caso em estudo, como sejam a verificação de ramais e a reparação das fugas detectadas).

Para se determinar a **água entrada no sistema** e os **consumos facturados**, sugere-se um planeamento de uma campanha com as seguintes acções:

- (i) leituras dos contadores dos clientes na ZMC e de outros contadores da própria entidade gestora, ou da câmara municipal, antes de iniciar a campanha;
- (ii) medições de caudal e pressão durante o período da campanha, iniciadas imediatamente após a leitura dos contadores, através de *dataloggers* instalados à entrada da ZMC; em alguns pontos internos da ZMC (para permitir a calibração de modelos matemáticos); e nos grandes consumidores da zona;
- (iii) novas leituras de todos os contadores da ZMC no final da campanha.

Para avaliar o benefício resultante de uma campanha de detecção de fugas, este processo deveria ser aplicado antes e depois da campanha, contrariamente ao que foi efectuado na ZMC 320, em que se efectuaram oito semanas de medição quase-contínuas, sem qualquer leitura dos contadores dos clientes.

Para a caracterização dos consumos e avaliação de perdas com base em modelos de simulação é muito importante que sejam efectuadas medições contínuas de caudal nos grandes consumidores (e.g., o Jardim Zoológico) que permite não só determinar o consumo médio, como também o padrão diário de consumo específico destes consumidores, permitindo assim a eliminação da sua influência no padrão diário de consumos da população.

O **consumo facturado não medido** e o **consumo não facturado não medido** ficam razoavelmente bem caracterizados a partir de algumas informações complementares da ZMC, como sejam: (i) o número de consumidores de cada tipo (doméstico, comercial e serviço) que não disponham de contadores; (ii) o número de bocas de rega e a previsão de rega no referido mês; (iii) as lavagens de ruas ou de condutas de águas residuais; e (iv) o número de enchimentos de autotanques utilizados para lavagem de ruas ou para outros fins. A parcela destes consumos que não é conhecida pela entidade gestora, poderá ser estimada pela câmara municipal ou pela junta de freguesia. É necessário conhecer muito bem as relações comerciais entre a entidade gestora do sistema e as autarquias municipais no que se refere aos direitos e deveres de cada uma, para se poder identificar a água não medida como facturada ou não facturada.

Por fim, é muito importante conhecer a **variação anual de consumo**, para que os resultados do balanço hídrico possam ser extrapolados para um período mais alargado (e.g., anual). Esta variação pode ser obtida com base em valores de consumo mensais, de preferência para vários anos, aumentando, deste modo, a exactidão dos resultados.

Para a determinação de **perdas reais** com base nos caudais mínimos nocturnos (abordagem *bottom-up*), é muito importante um cadastro actualizado da rede de distribuição, no qual sejam conhecidos o diâmetro e material das tubagens, a localização e a identificação de válvulas, reservatórios, estações elevatórias, ramais, ou qualquer outra informação pertinente para a caracterização da rede.

Além dos dados de caudal e pressão à entrada da zona, é necessário dispor de medições de caudal e pressão em pontos intermédios da rede, permitindo uma melhor calibração do modelo de simulação hidráulica da rede.

Outro dado importante na aplicação desta metodologia é a fiabilidade do **consumo facturado** e da sua variação ao longo do ano (i.e., a sazonalidade verificada na zona), que conjuntamente com o **padrão diário de consumo** afectam directamente o resultado de **perdas reais** e, como consequência, as **perdas aparentes**.

Finalmente, uma vez modelado o sistema no EPANET e efectuada a avaliação de perdas, é muito importante que se mantenham actualizados os modelos matemáticos do sistema quanto à topologia da rede e aos dados de facturação mais recentes, para que possam continuar a ser utilizados para o mesmo, ou outros fins. Assim, é necessário que os dados de facturação estejam ligados a uma base cadastral geo-referenciado da rede, e dispor de uma aplicação que faça a interface entre esta e o modelo matemático utilizado, permitindo uma sua actualização sempre que necessário.

## 5.8 CONCLUSÕES

### 5.8.1 Síntese

Neste capítulo, procedeu-se à avaliação de perdas e à quantificação das parcelas de consumo na ZMC 320 através do cálculo do balanço hídrico (abordagem *top-down*) e de simulações dinâmicas conjugadas a uma análise do caudal mínimo nocturno (abordagem *bottom-up*), assim como ao cálculo de alguns indicadores de desempenho relativos às perdas de água.

Na abordagem *top-down*, os valores de **perdas reais** foram muito superiores à parcela de **perdas aparentes** acrescida do **consumo autorizado não facturado**, em oposição ao resultado obtido pela abordagem *bottom-up*, o qual se considerou retratar com maior fiabilidade as parcelas de consumo da ZMC. Conclui-se assim que, as percentagens ou índices utilizados na determinação de **perdas aparentes** e do **consumo autorizado não facturado** (abordagem *top-down*) relativas ao sistema de distribuição de Lisboa, não se aplicam à realidade da ZMC 320.

A eficiência ou o ganho obtido com a campanha de detecção de fugas foram avaliados pela análise dos valores das parcelas de perdas reais antes e depois das reparações obtidos através da abordagem *bottom-up* (*cf.* Quadro 5.7). As *perdas reais*, que representam cerca de 26% da *água entrada no sistema*, sofreram uma redução de 53.0 para 38.5 m<sup>3</sup>/h acompanhado de um aumento da pressão média de 15%, evidenciando que a redução efectiva de *perdas reais* conseguida com a campanha seja superior aos 27% explicitamente observados, ou seja, da ordem dos 42%.

Os indicadores de desempenho evidenciam perdas muito elevadas. No âmbito económico-financeiro, verificou-se que 60% da *água entrada no sistema* não era facturada, da qual cerca de metade correspondia a *perdas aparentes*. Do ponto de vista técnico, o *indicador de perdas reais* resultou em 1 569 l/ramal/dia após as reparações executadas durante a campanha de detecção de fugas, correspondendo a um valor 64% superior às perdas de referência mais elevadas (956 l/ramal/dia). Ainda na avaliação do desempenho técnico, o *índice infra-estrutural de fugas*, cujo valor de referência é a unidade, resultou em 32.9 após as reparações. No âmbito ambiental, o *indicador de recursos hídricos* apontou para uma ineficiência de 27%, muito superior ao valor de 15% recomendado pelo IRAR, como limite máximo.

### 5.8.2 Recomendações para a Entidade Gestora

Através dos dados de caudal recolhidos ficou clara a utilização ilegal de marcos e bocas de incêndio para o enchimento de autotanques, que, à partida, deveriam ser operados exclusivamente pelos serviços de bombeiros. Uma vez que, durante a CDF, foram verificadas todas as ligações domiciliárias existentes na zona, resta à entidade gestora **implementar processos de medição e controlo mais eficientes da parcela de água usada pelas autarquias e pelas entidades gestoras dos sistemas de drenagem da zona**.

Como o sistema de combate a incêndio no interior dos edifícios não dispõe de contador (para evitar a ocorrência de perdas de carga localizadas), é relativamente vulgar o uso ilegal dos dispositivos de incêndio destes sistemas, cabendo também à entidade gestora **definir procedimentos para minorar o uso abusivo dos dispositivos de incêndio no interior dos edifícios**.

Quanto à componente de perdas aparentes associada aos erros de medição, a entidade gestora deverá promover e implementar **acções de combate aos erros de medição** (*e.g.*, planos para a substituição de contadores). Tendo em conta que uma parte significativa das construções e respectivas infra-estruturas de abastecimento de água da ZMC têm mais de 40 anos (cerca de 60%), é de esperar que os erros de medição, mesmo em condições normais, sejam muito elevados. Outro problema ainda relacionado com os erros de medição prende-se com a dificuldade de leituras por falta de acesso aos contadores dos clientes. Apesar deste problema estar fora do controlo da entidade gestora, cabe a esta **estimular a realização de auto-leituras ou combinar horários de leitura com os clientes**. Além disso, recomenda-se a **utilização de um sistema de medição mais exacto e eficiente** (*e.g.*, telemedição) que

permita reduzir o intervalo de leitura dos contadores e aumentar a automação do processo de facturação da água, o qual, se considera uma das razões associados às elevadas perdas aparentes na ZMC. Actualmente, a telemedição domiciliária já atinge preços competitivos, e pode vir a reduzir significativamente este problema.

O consumo autorizado pode incluir combate a incêndios, lavagem de condutas e colectores de esgoto, lavagem de ruas, rega de espaços verdes municipais, alimentação de fontes e fontanários, protecção contra congelação, fornecimento de água para obras, os quais podem ser facturados ou não facturados, medidos ou não medidos, de acordo com a prática local. O consumo autorizado inclui também as fugas de água e o desperdício, por parte de clientes registados, que não são medidos. A **determinação das parcelas de consumo autorizado (facturada, não facturada, medida e não medida) com a maior precisão possível**, constitui uma informação muito importante na determinação de um balanço hídrico fiável para uma zona de medição e controlo.



## 6 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO HIDRÁULICO

### 6.1 INTRODUÇÃO

A necessidade prioritária de implementar a melhoria da qualidade dos serviços de abastecimento de água prestados aos utilizadores é clara, contudo, o conceito de serviço de boa qualidade depende do estado de evolução da entidade gestora e do sistema em questão. Em geral, a qualidade dos serviços do sistema de abastecimento de água pode dividir-se em três vertentes principais, consoante o objectivo principal da entidade gestora: (i) a abrangência do atendimento; (ii) a qualidade técnica dos serviços prestados; ou (iii) o estado de desenvolvimento *sustentável* em termos sociais, económicos e ambientais. Em Portugal, encontram-se exemplos das duas primeiras vertentes de qualidade, embora a necessidade de afirmar a terceira seja reconhecida sócio-politicamente, como uma meta indiscutível (Coelho e Alegre, 1999).

Numa visão actual, é necessário o uso de medidas que permitam avaliar os níveis de serviço prestados, permitindo às entidades gestoras conhecerem o impacto dos investimentos ou das acções realizadas. Deste modo, os indicadores de qualidade de serviço vêm dar resposta a esta necessidade como instrumentos de apoio à gestão.

O presente capítulo centra-se na determinação de índices técnicos de desempenho hidráulico e operacional para o sistema de distribuição de água da ZMC 320, complementando as análises já efectuadas nos capítulos anteriores.

### 6.2 METODOLOGIA

#### 6.2.1 Introdução

Alegre (1992) e Coelho e Alegre (1999) propõem uma abordagem sistemática para a avaliação do desempenho técnico de sistemas de saneamento básico. Esta abordagem baseia-se na apreciação quantificada do comportamento de um sistema, em função de objectivos previamente definidos. Esta análise pode ser aplicada sob vários domínios, que poderão ser relevantes para o desempenho técnico e operacional dos sistemas (e.g., hidráulico, qualidade da água e fiabilidade).

A metodologia apresentada em Coelho e Alegre (1999) permite classificar um aspecto de um dado domínio relevante na gestão técnica de uma rede, de acordo com uma escala de mérito em relação ao nível de serviço prestado.

#### 6.2.2 Componentes do Método

O método baseia-se na aplicação de penalizações sobre os valores de uma *propriedade* ou de uma *variável de estado* que represente os aspectos em análise (e.g., pressão no domínio da

distribuição de água). Estabelece-se um procedimento normalizado, em que uma gama pré-definida de valores numéricos é utilizada para classificar o desempenho técnico do sistema, desde o serviço nulo até ao óptimo (i.e., uma *curva de penalidade*). Esta classificação é aplicada ao nível elementar de cada nó ou trecho da rede e, posteriormente, generalizada para toda a rede através de um operador apropriado (i.e., uma *função de generalização*). Apresentam-se, de seguida, as três componentes principais para o desenvolvimento do referido método, bem como, formas adequadas de apresentação dos resultados obtidos.

#### **6.2.2.1 Propriedade ou Variável de Estado da Rede**

Uma vez seleccionado o domínio em relação ao qual se pretende avaliar o desempenho técnico do sistema, escolhem-se, os aspectos específicos a serem apreciados. Entre as propriedades ou variáveis de estado da rede, definem-se as que melhor traduzem cada aspecto a ser avaliado (e.g., a pressão é uma variável de estado adequada para avaliar os níveis de serviço do sistema de distribuição de água).

A ferramenta mais adequada para a previsão dos valores das variáveis de estado, para um determinado cenário de apreciação, é a modelação matemática, com os modelos que lhe estão habitualmente associados como sejam os de qualidade da água e de fiabilidade. Tendo em conta que os modelos de simulação, em geral, representam uma rede por um conjunto de nós ligados entre si por trechos de tubagem, a escolha da propriedade ou variável de estado da rede para efeitos da avaliação do desempenho, é feita em termos dos elementos da rede, ou seja, do nó ou do trecho.

#### **6.2.2.2 Curvas de Penalidade**

A curva de penalidade, elemento básico do método de avaliação do desempenho, relaciona os valores da variável de estado ou propriedade da rede, ao nível elementar do nó ou do trecho, com a respectiva classificação em termos de desempenho ou nível de serviço.

O índice de desempenho varia entre a ausência de serviço (desempenho nulo) e o serviço óptimo (desempenho máximo), e as curvas destinam-se a penalizar qualquer desvio deste óptimo. As curvas poderão traduzir qualquer tipo de classificação que o utilizador tenha em mente para um tipo específico de análise ou diagnóstico, evidenciando-se a flexibilidade da metodologia proposta (Coelho e Alegre, 1999). No entanto, estes autores recomendam que as curvas sejam mantidas o mais simples possível, uma vez que uma maior complexidade na definição das curvas se traduz em dificuldades adicionais na posterior interpretação dos resultados.

A convenção adoptada por Alegre (1992) e Coelho e Alegre (1999) quanto à escala de desempenho considera valores de 0 a 4: 4 – serviço óptimo; 3 – serviço adequado; 2 – serviço minimamente aceitável (limiar de aceitabilidade); 1 – serviço inaceitável; e 0 – ausência / interrupção do serviço. Dias (2004) redefine a escala de desempenho para um intervalo de 0 a 100%, como é adoptada neste estudo.

### 6.2.2.3 Função de Generalização

Após obtido o valor do desempenho para cada elemento em causa (i.e., nó ou trecho), pretendem-se agregar estes valores para a globalidade do sistema em análise. O termo função de generalização é usado para designar o operador que permite calcular o valor global a partir da população de valores elementares, e terá a seguinte forma:

$$P = W(pm_i) \quad (6.1)$$

onde

- $P$  : desempenho global;
- $W$  : função de agregação;
- $pm_i$  : desempenho no elemento i.

A função de agregação pode apresentar-se de várias formas (e.g., média aritmética, média ponderada, percentis, máximos, mínimos), conforme o objectivo da análise.

### 6.2.3 Formas de Apresentação

O modo de apresentar os resultados da avaliação do desempenho influenciará na sua potencial utilidade para o apoio à gestão técnica e operacional de sistemas de saneamento básico (Coelho e Alegre, 1999). Contudo, dada a grande quantidade de resultados produzidos, a representação gráfica é certamente o veículo ideal para se mostrar este tipo de informação. A metodologia propõe a execução de dois tipos de gráficos normalizados para retratar a variação dos índices de desempenho obtidos: *gráfico de sistema* e *gráfico de simulação dinâmica*.

O *gráfico de sistema* destina-se a representar o resultado de uma gama previsível de solicitações ao sistema, onde cada solicitação é traduzida por uma simulação estática, cujos consumos médios nodais são afectados por um determinado factor de carga. Os factores de carga variam entre os limites mínimo e máximo que poderão ocorrer no sistema (i.e., considerando-se variações diárias, anuais e de crescimento populacional). Obtém-se desta forma um gráfico adimensional, que não depende do tipo nem do tamanho da rede (*cf.* Figura 6.1a).

O *gráfico de simulação dinâmica* traduz o resultado de uma simulação dinâmica, representando o desempenho do sistema em contínuo, durante um intervalo de tempo significativo, tipicamente 24 horas. Para tal é necessária uma simulação dinâmica representativa das condições que se pretende estudar. O gráfico resultante é função do intervalo de tempo considerado sendo tipicamente usados intervalos de 1 hora (*cf.* Figura 6.1b).

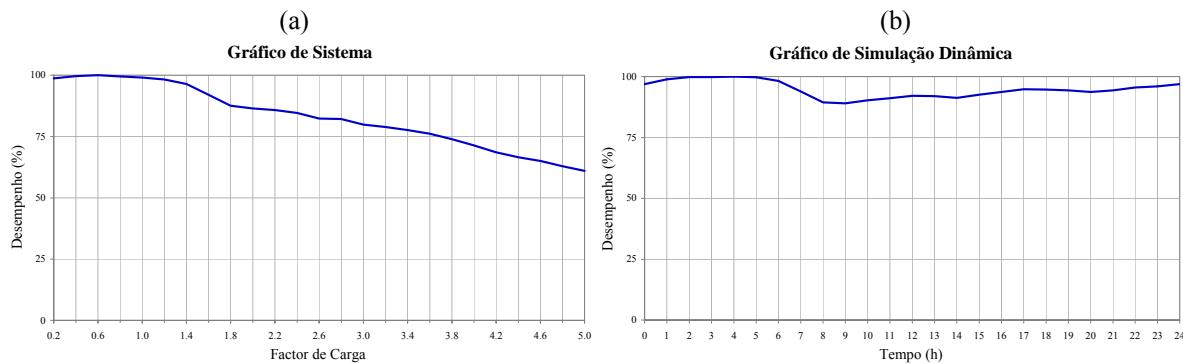


Figura 6.1 – Exemplo de (a) um gráfico de sistema e (b) um gráfico de simulação dinâmica referente ao desempenho da flutuação de pressão numa rede de distribuição de água.

Contudo, estes gráficos não transmitem qualquer informação acerca da distribuição dos valores elementares nos nós da rede. Coelho e Alegre (1999), na sequência da referida metodologia, sugerem a utilização de curvas de percentil, com um determinado espaçamento (e.g., de 25% em 25%, cf. Figura 6.2), para uma melhor caracterização dos resultados do desempenho. Cada percentil representa a percentagem da rede com desempenho inferior ou igual à curva, durante as 24 horas de simulação.

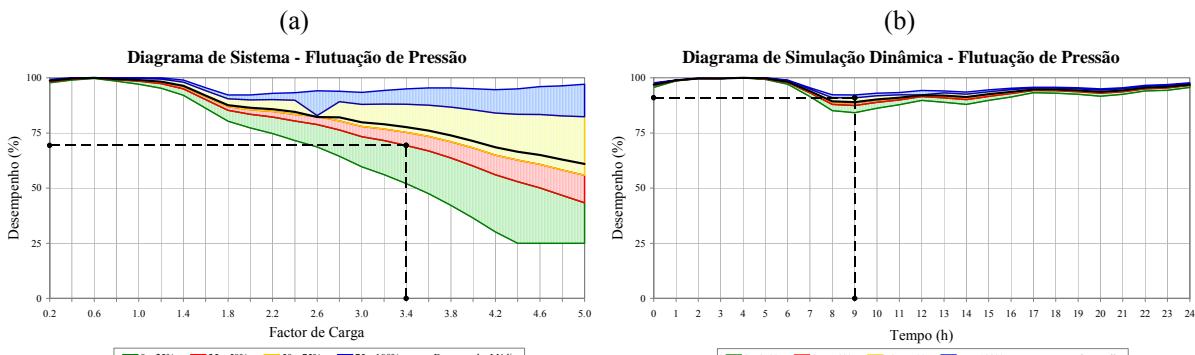


Figura 6.2 – Exemplo de (a) um *diagrama de sistema* e (b) um *diagrama de simulação dinâmica*, da flutuação de pressão de uma rede de distribuição de água, com distribuição em percentis de 25%.

Os percentis do *diagrama de sistema* (cf. Figura 6.2a) devem ser lidos do seguinte modo: se  $(x,y)$  são as coordenadas de um dado ponto na curva do percentil  $P\%$ , significa que, para um factor de carga  $x$ , a percentagem de água distribuída com um desempenho inferior a  $y$ , é  $P\%$  (e.g., para um factor de carga de 3.4, 25% da água é distribuída com uma desempenho em relação à flutuação de pressão inferior ou igual a 69%, cf. Figura 6.2a). No *diagrama de simulação dinâmica* lê-se: se  $(t,y)$  são as coordenadas de um dado ponto na curva do percentil  $P\%$ , significa que, no instante  $t$ , a percentagem do consumo total de água, distribuída com um desempenho inferior a  $y$ , é  $P\%$  (e.g., às 9:00 h, 75% da água é distribuída com uma desempenho em relação à flutuação de pressão inferior ou igual a 91%, cf. Figura 6.2b).

Outra forma de apresentação dos resultados do desempenho é a *representação gráfica espacial*, que consiste numa representação dos valores elementares do desempenho sobre um

esquema da rede, seja numericamente, seja através de um código de cores, o que constitui um complemento valioso ao método apresentado.

## 6.3 DESEMPENHO HIDRÁULICO

### 6.3.1 Introdução

Na abordagem tradicional ao projecto de sistemas de abastecimento de água, os principais objectivos considerados consistiam na minimização do investimento inicial e dos custos operacionais, ficando o desempenho hidráulico, frequentemente, relegado para segundo plano. Esta abordagem vem sendo modificada, passando a dar-se ênfase à eficiência, que pode ser obtida através de uma análise dirigida ao modo como o sistema se comporta para diferentes cenários possíveis. A utilização de modelos de simulação é de grande valia na análise da resposta do sistema para diferentes condições operacionais. Contudo, os resultados dos modelos de simulação podem ser complexos e pouco intuitivos, mostrando-se de difícil interpretação. Deste modo, a metodologia apresentada neste trabalho pode ser uma valiosa ferramenta de auxílio a projectistas, consultores e gestores na avaliação do desempenho.

Com este espírito, aplica-se a metodologia de análise do desempenho técnico ao sistema de distribuição de água da ZMC 320, no domínio do desempenho hidráulico. Pretende-se avaliar aspectos do funcionamento que estejam relacionados com o nível de perdas de água do sistema. Assim sendo, segue-se a descrição dos parâmetros utilizados (i.e., as variáveis escolhidas, critérios e sensibilidades que levaram à concepção das curvas de penalidade e à escolha das funções de generalização), à apresentação dos resultados (i.e., os *gráficos de sistema* e de *simulação dinâmica*, a representação espacial das variáveis analisadas e os desempenhos), e à discussão desses resultados.

### 6.3.2 Parâmetros de Simulação

A avaliação do desempenho hidráulico do sistema de distribuição de água da ZMC 320 é efectuada para duas grandezas hidráulicas: a *pressão*, que é uma propriedade nodal, e a *velocidade*, que é uma propriedade dos trechos da rede.

#### 6.3.2.1 Pressão na Rede

Do ponto de vista hidráulico, para o bom funcionamento de um sistema de distribuição de água, a pressão em cada nó da rede, deve situar-se entre um *mínimo* e um *máximo* admissível e não apresentar *flutuações* significativas ao longo do tempo (Alegre, 1992).

A pressão mínima de serviço ( $p_{min}$ ) é, provavelmente, a condição mais importante, uma vez que abaixo desta os consumos não podem ser garantidos. Este nível é normalmente definido pela altura média dos edifícios a serem abastecidos sem a utilização de bombas sobrepressoras locais, em conformidade com a alínea e), ponto 1 do Art. 21º do DR23/95, conforme Equação (6.2):

$$p_{min} = 10 + 4 \cdot n \quad (6.2)$$

sendo

- $p_{min}$  : pressão mínima de serviço (m);  
 $n$  : número de pisos acima do solo incluindo o piso térreo (-).

Nesta alínea também é referido que a pressão de serviço mínima admissível é de 10 m para qualquer dispositivo de utilização predial.

Outra razão para se desejar manter as pressões no sistema acima de um determinado limite mínimo, prende-se com a necessidade de se evitar depressões na rede, que possam causar instabilidade hidráulica ou permitir a contaminação do sistema, comprometendo a qualidade da água na rede.

Quanto à pressão máxima admissível ( $p_{max}$ ), que é estabelecida em conformidade com a capacidade estrutural das condutas, as preocupações prendem-se com as fugas de água e com o conforto de utilização nas torneiras domésticas. A alínea c), ponto 1 do Art. 21º do DR23/95 estabelece em 60 m este limite.

A curva de penalidade de pressão foi determinada com base na curva proposta por Coelho e Alegre (1999), no entanto, foram efectuadas algumas adaptações consideradas convenientes, de forma a adequá-la às exigências da área de estudo e tornar mais directa a interpretação dos resultados do desempenho. Adoptou-se a escala de desempenho de 0 a 100% (i.e., conforme utilizado por Dias, 2004 e Dias *et al.*, 2005), uma vez que permite a interpretação dos resultados de forma mais intuitiva a qual se traduz em: 100% – serviço óptimo; 75% – serviço adequado; 50% – serviço minimamente aceitável (limiar de aceitabilidade); 25% – serviço inaceitável; e 0% – ausência / interrupção do serviço.

As outras alterações prendem-se com o desdobramento da curva de pressão em duas, penalizando separadamente as pressões mínimas e as máximas (Godinho, 2004), além do desenvolvimento global da curva propriamente dito. Atribui-se desempenho nulo às pressões inferiores a 10 m, que é a pressão mínima admissível estabelecida no regulamento português (DR23/95), dado que abaixo deste valor o abastecimento não está garantido. O desempenho óptimo das pressões (100%) é atribuído à pressão mínima de serviço ( $p_{min}$ ), uma vez que esta representa a menor pressão que satisfaz as exigências de consumo, levando à minimização de perdas por fugas e do custo de energia. A pressão mínima de serviço adoptada foi de 30 m, correspondente aos objectivos da entidade gestora (EPAL, S.A.). Entre a pressão mínima de serviço e a pressão máxima regulamentar, acrescida de aproximadamente 10% (65 m), as penalizações aumentam com o aumento da pressão, tendo sido atribuída uma queda de desempenho menos acentuada aos primeiros 20 m acima da pressão mínima de serviço. Assim sendo, considera-se um desempenho de 75% para os 50 m, chegando-se aos 25% para os 65 m. A partir deste valor, o desempenho mantém-se em 25% para um aumento de pressão, uma vez que as exigências de consumo são satisfeitas admitindo que o , embora, com elevados volumes de perda e provavelmente, um gasto desnecessário de energia. O

desenvolvimento da curva de penalidade de pressão faz-se por trechos lineares que ligam os pontos em destaque, conforme apresentada na Figura 6.3a.

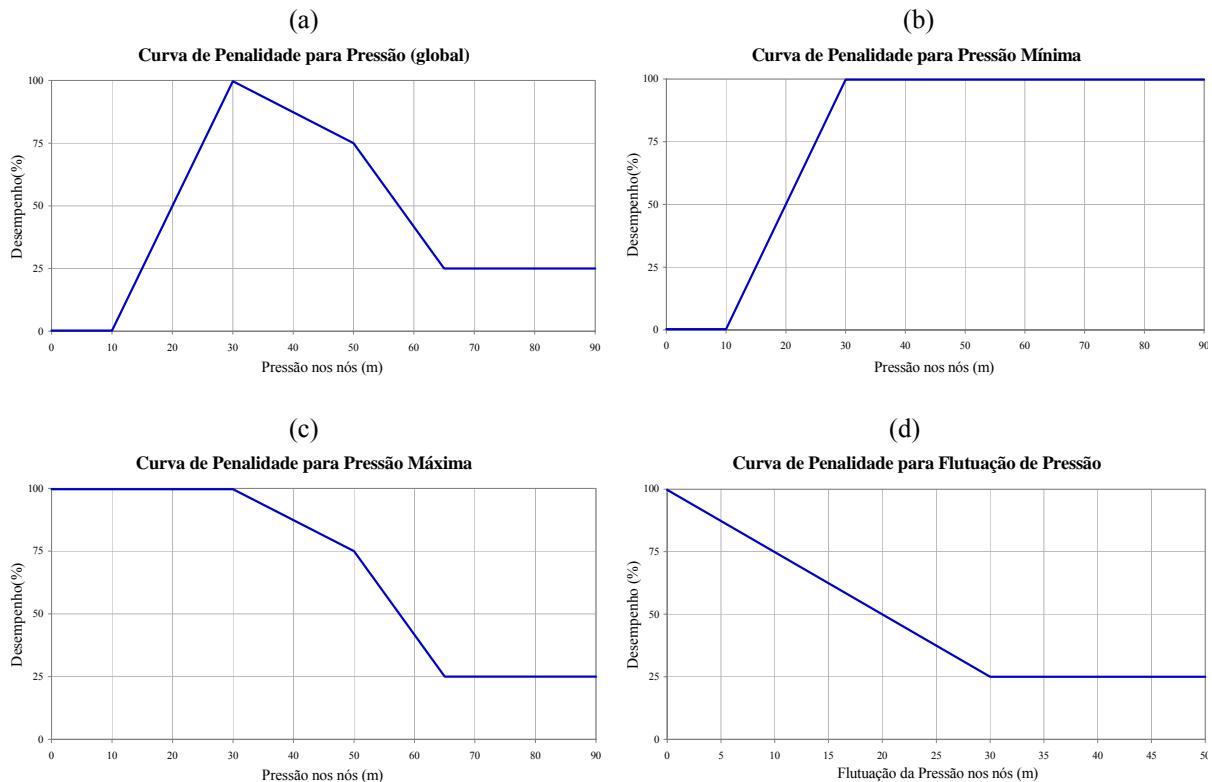


Figura 6.3 – Curvas de penalidade para: (a) pressão (global), (b) pressão mínima, (c) pressão máxima e (d) flutuação de pressão.

A separação da curva de penalidade de pressões em duas, onde se penalizam separadamente, as pressões baixas (*cf.* Figura 6.3b) e as pressões elevadas (*cf.* Figura 6.3c), permite uma análise independente dos factores avaliados (e.g., satisfação da pressão mínima, resistência infra-estrutural e perdas no sistema) resultando numa identificação mais fácil de possíveis problemas existentes.

Outro factor a analisar é a flutuação da pressão, que não é deseável durante a operação rotineira dos sistemas, indicando a sensibilidade deste a pequenas alterações operacionais, resultando em inconvenientes para os utilizadores. Para garantir o conforto e a satisfação dos clientes, de acordo com a alínea d), ponto 1 do Art. 21º do DR23/95, a flutuação máxima de pressão em cada nó do sistema, ao longo do dia, não deve exceder os 30 m.

A flutuação de pressão é sempre calculada relativamente às pressões máximas encontradas em cada nó, no intervalo simulado.

O desempenho óptimo (100%) é atribuído à flutuação de pressão nula, o que sugere pressões constantes ao longo do período considerado. A partir do óptimo, o desempenho decresce linearmente até 25%, que corresponde ao limiar da aceitabilidade para o sistema, para flutuações iguais à máxima regulamentar de 30 m, também adoptada pela EPAL. A partir de

30 m, o desempenho permanece constante para o aumento da flutuação de pressão. A Figura 6.3d representa a curva de penalidade de flutuação de pressão.

Uma vez determinados os desempenhos em cada nó do sistema, é necessário aplicar a estes resultados uma função generalizadora que os converta num valor médio, representativo da globalidade da rede ou de uma parte dela. Dado que as medidas avaliadas (i.e., pressão e flutuação da pressão) têm relevância para o consumo afecto a cada nó, justifica-se atribuir a cada valor do desempenho nodal, um peso proporcional ao consumo do referido nó. Assim sendo, a função de agregação ( $W$ ), utilizada na função generalizadora dos desempenhos de pressão, conforme Equação (6.3), e de flutuação de pressão, conforme Equação (6.4), é uma média ponderada pelos consumos nodais, conforme proposta por Coelho e Alegre (1999), e cujo peso nodal é dado pela Equação (6.5):

$$P_P = \sum_{i=1}^N (w_{Pi} \cdot pm_{Pi}) \quad (6.3)$$

$$P_{FP} = \sum_{i=1}^N (w_{FPI} \cdot pm_{FPI}) \quad (6.4)$$

$$w_{Pi} = w_{FPI} = \frac{Q_i}{\sum_{j=1}^N Q_j} \quad (6.5)$$

sendo

- $P_P$  : desempenho de pressão global (%);
- $N$  : número de nós do sistema (-);
- $w_{Pi}$  : peso do desempenho de pressão no nó i (-);
- $pm_{Pi}$  : desempenho de pressão no nó i (%);
- $P_{FP}$  : desempenho de flutuação de pressão global (%);
- $w_{FPI}$  : peso do desempenho de flutuação de pressão no nó i (-);
- $pm_{FPI}$  : desempenho de flutuação de pressão no nó i (%);
- $Qi$  : consumo no nó i.

O desempenho associado às pressões máximas traduz uma maior ou menor apetência da rede para as fugas e roturas, o que não depende dos consumos nos nós mas dos comprimentos, materiais e idade das condutas. Para esta variável (pressão máxima), e no contexto de perdas, poder-se-ia adoptar uma função de ponderação que não dependesse dos consumos nodais, mas que tivesse em conta o comprimento e, eventualmente, o material e idade das tubagens confluentes no nó em causa. No entanto, não foi esta a função de ponderação adoptada no presente estudo.

### 6.3.2.2 Velocidade de Escoamento

A necessidade de se manter algum controlo sobre as velocidades de escoamento verificadas na rede de distribuição de água é essencialmente para (i) minimizar o custo total do sistema,

(i.e., o custo das condutas e os encargos de exploração em termos de energia), (ii) evitar roturas nas condutas devido transitórios hidráulicos e (iii) minimizar o tempo de retenção da água nas condutas que se reflecte na qualidade da água (e.g., velocidades demasiado baixas reflectem-se em níveis de cloro residual também muito baixos). Nesta conformidade, o desempenho da velocidade de escoamento constitui uma medida da proximidade entre os valores deste parâmetro nas condutas da rede de distribuição e na velocidade de referência ( $V_{ref}$ ) definida em função do diâmetro ( $D$ ) da respectiva conduta.

A alínea a) do Art. 21º do DR23/95 estabelece que a velocidade de escoamento em condutas em pressão em sistemas de distribuição de água, para o caudal de ponta no horizonte de projecto, não deve exceder o valor resultante da aplicação da seguinte expressão:

$$V_{max} = 0.127 \cdot D^{0.4} \quad (6.6)$$

em que

$V_{max}$  : velocidade máxima (m/s);  
 $D$  : o diâmetro interior da conduta (mm).

A alínea b) do mesmo Artigo estabelece que a velocidade, para o caudal de ponta no ano de início de exploração, não deve ser inferior a 0.3 m/s.

Coelho e Alegre (1999) propõem a Equação (6.6) para determinar a velocidade de referência de um trecho de conduta, utilizada na determinação da curva de penalidade para a velocidade. A curva de penalidade da velocidade é determinada com base na curva proposta por Duarte *et al.* (2005), devidamente adaptada, a uma escala de desempenho de 0 a 100%.

O desempenho óptimo de velocidade (100%) é atribuído à velocidade de referência do respectivo trecho. Abaixo da velocidade de referência, o desempenho reduz-se linearmente até um desempenho aceitável (75%) para a velocidade mínima admissível (0.3 m/s), seguindo a mesma tendência até atingir um desempenho inaceitável (25%) para a velocidade nula. Acima da velocidade de referência, o desempenho também se reduz linearmente até um desempenho inaceitável (25%) para o dobro da velocidade de referência, continuando a diminuir, até se tornar nulo (0%) para o triplo desta velocidade. A curva de penalidade da velocidade encontra-se na Figura 6.4a.

A aplicação de penalidades elevadas para as velocidades mais altas prende-se com a elevada perda de carga verificada nos trecho nestas condições, e a possibilidade destas provocarem regimes hidráulicos indesejáveis e problemas estruturais nas condutas. No entanto, a adopção de penalidades mais baixas para as velocidades baixas, não atingindo o desempenho nulo (0%) nem para a velocidade nula, deve-se ao facto destas velocidades poderem sofrer perturbações repentinas (e.g., provocadas pela abertura de uma torneira no período nocturno) e atingirem valores razoáveis num espaço curto de tempo, mas o suficiente para promover o varrimento das condutas, evitando assim eventuais problemas de qualidade da água transportada.

A separação da curva de penalidade de velocidades em duas, onde se avaliam separadamente as velocidades baixas (*cf.* Figura 6.4b) e as velocidades elevadas (*cf.* Figura 6.4c), permite uma análise independente dos parâmetros avaliados (e.g., problemas estruturais e qualidade da água) facilitando a identificação de problemas existentes.

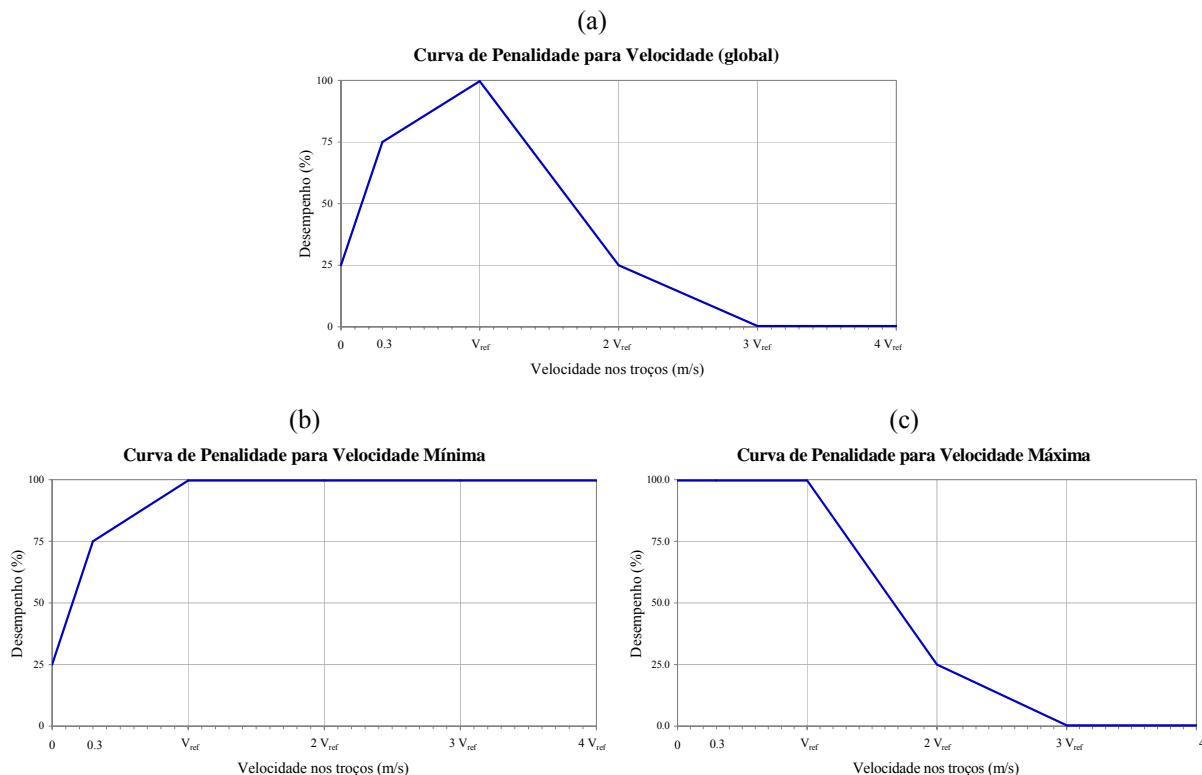


Figura 6.4 – Curvas de penalidade para: (a) velocidade, (b) velocidade mínima e (c) velocidade máxima.

A função de generalização utilizada, neste caso, é menos intuitiva. Também se utiliza uma média ponderada como função de agregação e, por forma a ter em conta tanto o comprimento como o diâmetro das condutas, utilizou-se o volume do trecho como factor de ponderação. Assim, a função de agregação ( $W$ ) utilizada na função generalizadora dos desempenhos de pressão, conforme Equação (6.7), corresponde a uma média ponderada em função dos volumes dos trechos de condutas, conforme proposta por Coelho e Alegre (1999), e cujo peso de cada trecho é dado pela Equação (6.8):

$$P_V = \sum_{i=1}^{NL} (w_{Vi} \cdot pm_{Vi}) \quad (6.7)$$

$$w_{Vi} = \frac{D_i^2 \cdot L_i}{\sum_{j=1}^{NL} (D_j^2 \cdot L_j)} \quad (6.8)$$

sendo

- $P_V$  : desempenho de velocidade global (%);
- $NL$  : número de trechos do sistema (-);
- $w_{Vi}$  : peso do desempenho de velocidade no trecho i (-);
- $pm_{Vi}$  : desempenho de velocidade no trecho i (%);
- $D_i$  : diâmetro do trecho i;
- $L_i$  : comprimento do trecho i.

### 6.3.3 Resultados

A apresentação dos resultados do desempenho hidráulico da ZMC 320 é efectuada com base na análise da pressão na rede e da velocidade de escoamento, para uma simulação dinâmica ao longo de 24 horas, dando origem aos *diagramas de simulação dinâmica*, e para uma sequência de simulações estáticas cujos consumos foram afectados por factores de carga diferentes, dando origem ao *diagramas de sistema*.

Para facilitar a aplicação da metodologia desenvolveu-se uma rotina em Visual Basic, aplicada ao Microsoft Excel®, que, partindo dos resultados das simulações hidráulicas da rede, determinasse, de forma eficiente, os *diagramas de simulação dinâmica e de sistema*, com as curvas de desempenho global médio e as suas bandas de percentil. Para a representação espacial das variáveis e dos seus desempenhos, utilizaram-se as ferramentas de representação gráfica do EPANET.

#### 6.3.3.1 Diagramas de Simulação Dinâmica

Os *diagramas de simulação dinâmica* destinam-se a representar os desempenhos globais médios do sistema e as suas bandas de percentis de 25% em 25%, para uma simulação dinâmica decorrente num período de 24 horas.

##### Desempenho das Pressões na Rede

A Figura 6.5a apresenta a curva de desempenho global médio da pressão no sistema, ao longo das 24 horas. Esta curva apresenta o máximo no período nocturno (i.e., correspondendo aos consumos mínimos) e o mínimo por volta das 9:00 h (i.e., quando se verifica o maior consumo diário). Contudo, esta curva desenvolve-se sempre acima dos 75% de desempenho, o que corresponde a um nível de serviço entre bom e óptimo.

Ao analisar as bandas de percentis, observa-se que as duas bandas mais baixas (0 a 25% e 25 a 50%) atingem valores inferiores a 75% de desempenho. A banda dos 25 aos 50% apresenta uma pequena parcela do consumo com nível de serviço inferior ao bom, durante o período das 7:00 às 15:00 h. A banda do percentil mais baixo apresenta desempenhos nulos durante todo o período simulado, evidenciando problemas de pressões baixas, dada a penalidade das pressões altas limitar-se em 25% do desempenho (*cf.* Figura 6.3a). No entanto, o facto da largura desta banda ser extremamente superior à das outras três bandas, permite concluir que os nós com problemas sejam em número reduzido, e que intervenções localizadas poderão melhorar significativamente o desempenho do sistema.

A análise isolada deste diagrama não permite uma avaliação mais profunda da situação, em particular, se o resultado dos desempenhos entre os 25% e os 75% se devem às pressões baixas ou às elevadas.

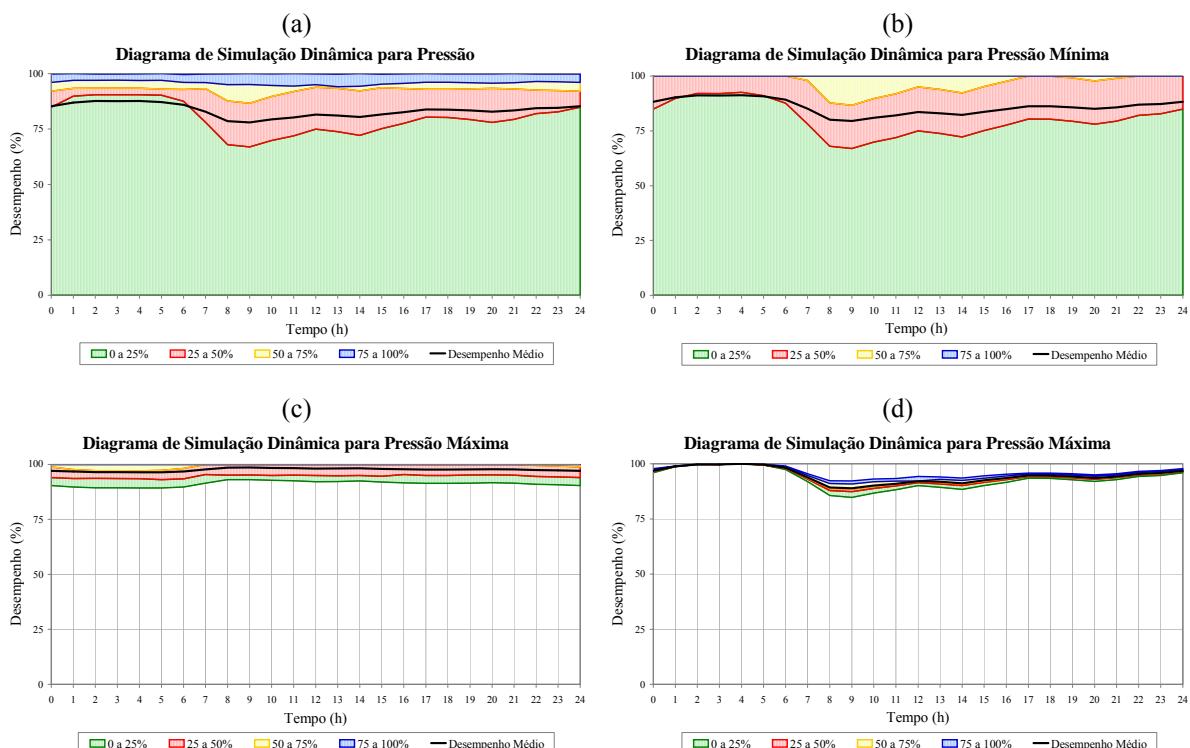


Figura 6.5 – Diagrama de simulação dinâmica para: (a) pressão, (b) pressão mínima, (c) pressão máxima e (d) flutuação de pressão.

Ao analisar-se separadamente os desempenhos das pressões mínimas (*cf.* Figura 6.5b) e das máximas (*cf.* Figura 6.5c), através dos *diagramas de simulação dinâmica*, evidenciam-se que os problemas se devem essencialmente às pressões baixas, e são quase inexistentes em relação às pressões elevadas, cuja curva de desempenho global médio, durante as 24 horas, se encontra próxima da óptima.

De qualquer forma, a análise dos diagramas de desempenho deve vir complementada pelas representações espaciais dos valores de desempenho e dos valores da própria variável analisada, permitindo uma avaliação mais precisa do desempenho do sistema. A

representação espacial permite conhecer a localização exacta dos nós do sistema que apresentam desempenhos indesejáveis ou que se encontram numa determinada faixa de valores do parâmetro analisado, o que permite direcionar as intervenções no sistema.

Por outro lado, a representação espacial do desempenho de pressão (*cf.* Figura 6.6) evidencia uma pequena mancha *verde* correspondente aos nós da rede com desempenhos inaceitáveis, mesmo na hora de maior consumo. Contudo, a representação espacial dos valores de pressão (*cf.* Figura 6.7) mostra que uma grande parte da ZMC, durante a campanha de detecção de fugas, funciona com pressões inferiores à mínima aceitável pela entidade gestora (i.e., 30 m). Esta situação é perfeitamente natural e resulta do isolamento da ZMC através do fechamento de válvulas, por forma a que tivesse um único ponto de entrada e saída de caudal, e não significa que durante o seu funcionamento normal tenha pressões tão baixas.

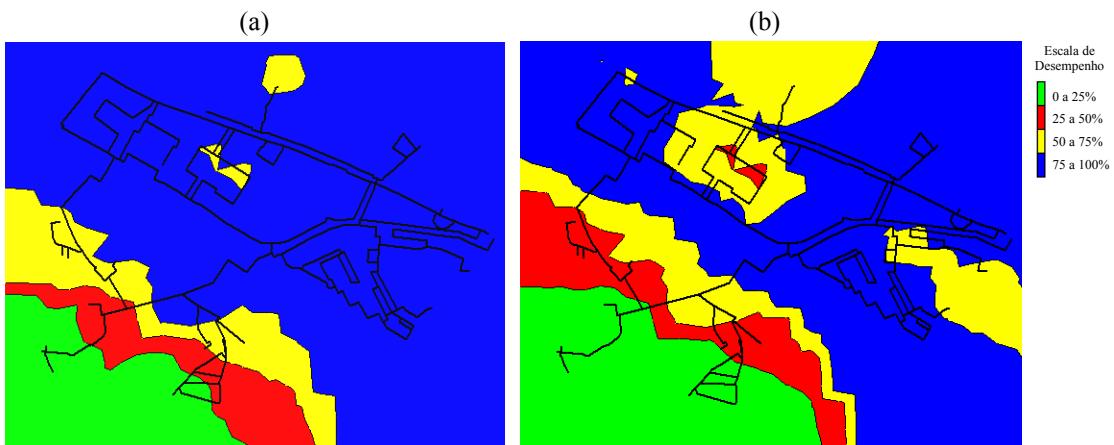


Figura 6.6 – Representação espacial do desempenho da pressão<sup>7</sup> para a hora de (a) menor e (b) maior consumo.

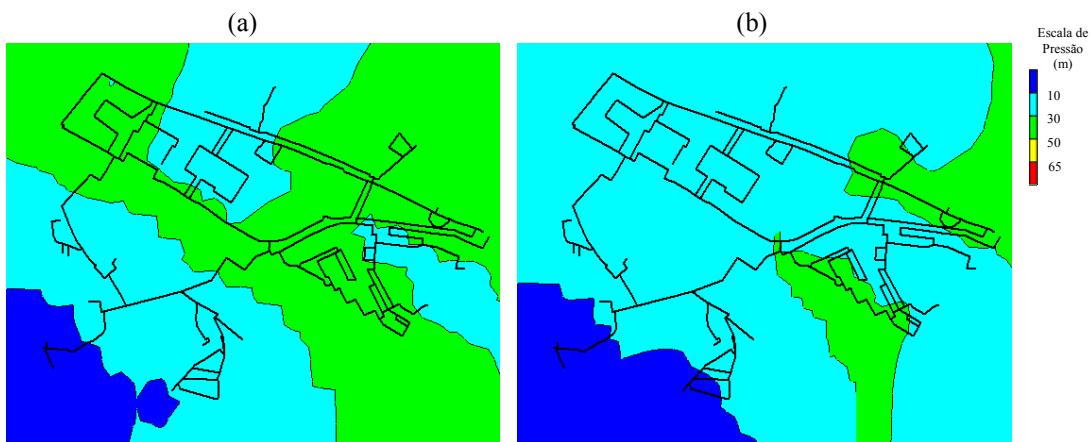


Figura 6.7 – Isolinhas de pressão para a hora de (a) menor e de (b) maior consumo.

O desenvolvimento da curva de desempenho da flutuação de pressão apresenta-se entre os níveis de serviço bom e óptimo, com desempenhos próximos do óptimo no período

<sup>7</sup> As representações espaciais do desempenho de pressão mínima foram omitidas dada a sua semelhança às de pressão global assim como as de pressão máxima e flutuação de pressão, pelo facto de se encontrarem numa única faixa de desempenho.

nocturno, e sofrendo uma pequena redução no período de maior consumo. As bandas de percentis são bastante compactas, chegando a sobrepor-se à curva de desempenho global médio no período nocturno, o que revela um comportamento muito homogéneo do sistema.

### Desempenho das Velocidades de Escoamento

A Figura 6.8a mostra a curva de desempenho global médio da velocidade que se desenvolve acima do nível inaceitável (25%), mas não ultrapassa, em muito, o limiar da aceitabilidade (50%), para todo o período de simulação. Ao contrário do desempenho da pressão, nesta curva, evidencia-se o máximo por volta das 9:00 h (i.e., quando se verifica o maior consumo diário) e o mínimo no período nocturno (i.e., correspondendo aos consumos mínimos).

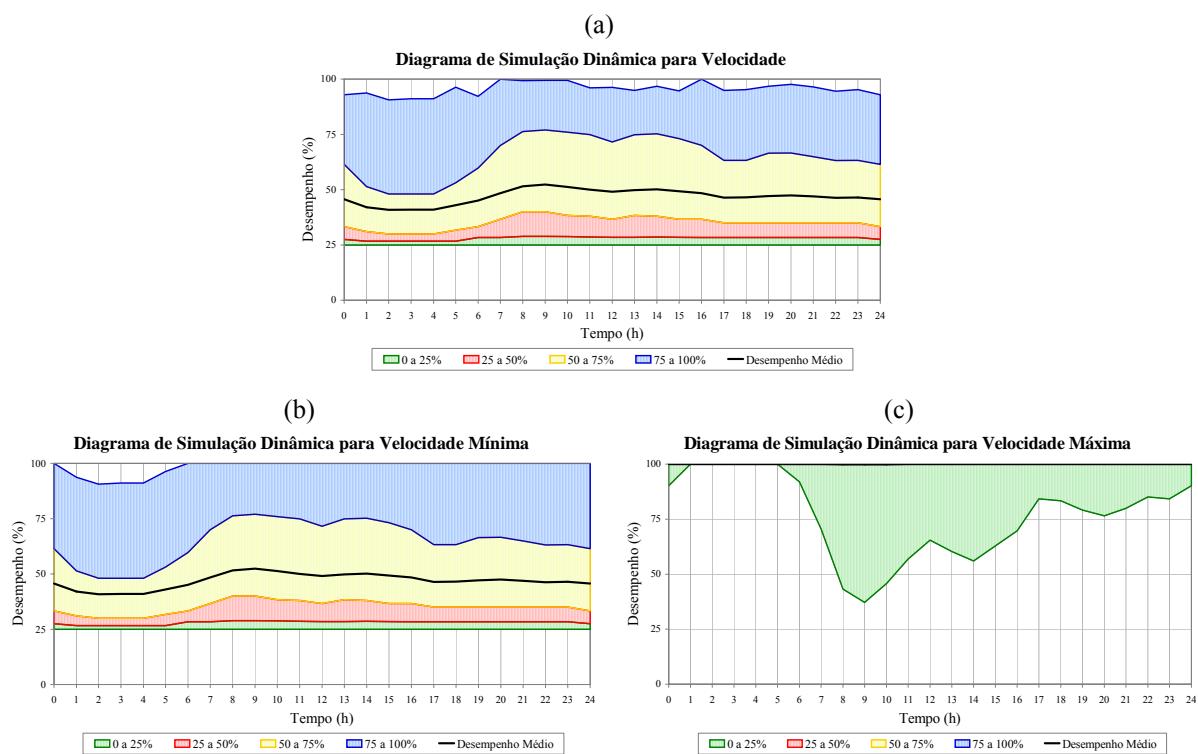


Figura 6.8 – Diagrama de Simulação Dinâmica para: (a) velocidade, (b) velocidade mínima e (c) velocidade máxima.

Na análise das bandas de percentis, apresentada na Figura 6.8a, verifica-se que mais de 50% do escoamento se dá com desempenho de velocidade abaixo do desempenho global médio do sistema. O facto da largura das bandas de percentil mais baixas serem muito estreitas, revela que o problema não é pontual, abrangendo um grande número de trechos da rede. O facto do desempenho mínimo limitar-se ao limiar de inaceitabilidade (25%) mostra que as velocidades nunca ultrapassam o dobro das velocidades de referência do respectivo trecho (*cf.* Figura 6.4a). Contudo, não se consegue identificar a faixa de velocidades que determina os baixos desempenhos (i.e., velocidades próximas de zero ou do dobro da velocidade de referência do trecho).

Quando se analisam, separadamente, os desempenhos referentes às velocidades mínimas (*cf.* Figura 6.8b) e máximas (*cf.* Figura 6.8c), através dos *diagramas de simulação dinâmica*

evidencia-se que o problema se deve principalmente às velocidades baixas, existindo apenas problemas pontuais de velocidades elevadas. Na Figura 6.8c (i.e., que penaliza apenas as velocidades elevadas), observa-se a excessiva largura da banda de percentil mais baixa, contra uma dispersão nula das outras bandas, além do facto dos baixos desempenhos não conseguirem afectar a curva de desempenho média, que corresponde a um nível de serviço óptimo (100%). O diagrama da Figura 6.8b (i.e., que penaliza as velocidades baixas) é muito semelhante ao da Figura 6.8a (i.e., que penaliza toda a gama de velocidades) reforçando que o desempenho das velocidades elevadas não é penalizante para o sistema.

Através da representação espacial do desempenho de velocidade nas condutas do sistema (*cf.* Figura 6.9) verifica-se exactamente quais os trechos que apresentam velocidades indesejáveis, fornecendo às entidades gestoras indicações sobre onde se deve actuar na rede no sentido de melhorar os desempenhos.

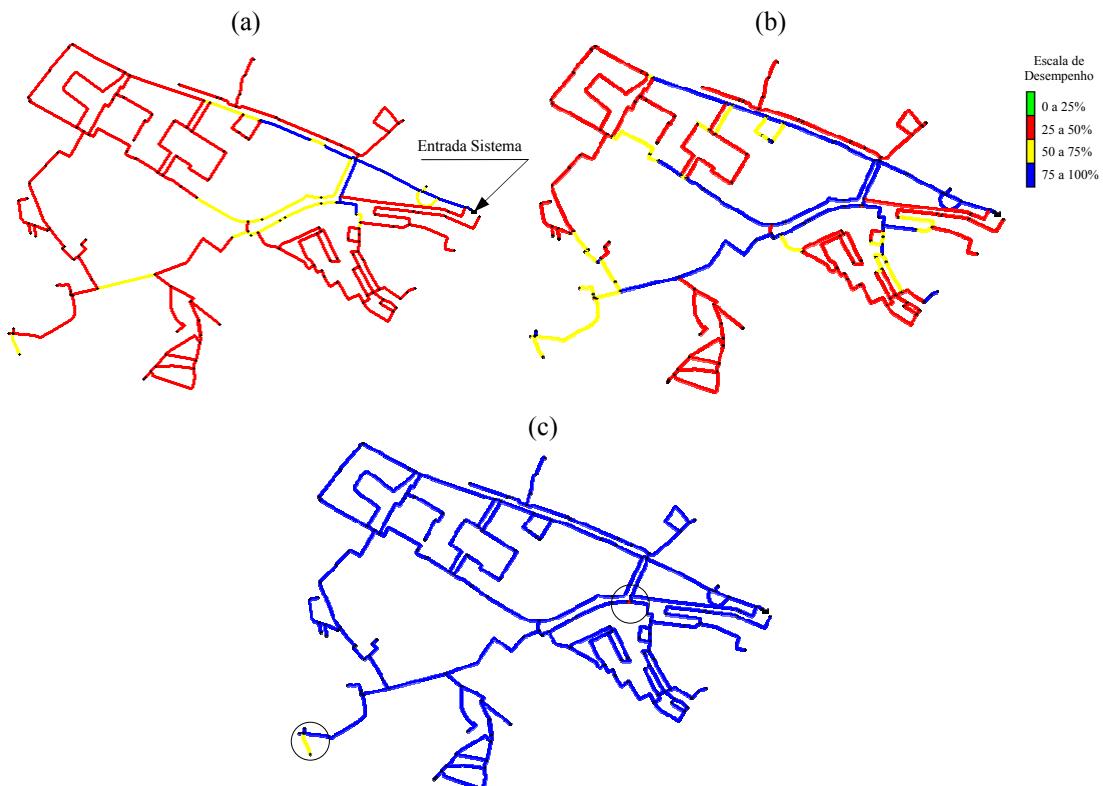


Figura 6.9 – Representação espacial do desempenho da velocidade<sup>8</sup> para a hora de (a) menor e (b) maior consumo, e da (c) velocidade máxima para hora de maior consumo.

A Figura 6.9 apresenta a distribuição espacial pelas condutas dos desempenhos da velocidade na hora de menor (Figura 6.9a) e maior (Figura 6.9b) consumo, e de velocidade máxima na hora de maior consumo (Figura 6.9c). Quando se comparam os desempenhos de velocidade nas horas de menor e maior consumo, observa-se uma melhoria do desempenho

<sup>8</sup> As representações espaciais do desempenho de velocidade mínima foram omitidas dada a sua semelhança às de velocidade global, e as de velocidade máxima na hora de menor consumo, pelo facto de se encontrar numa única faixa de desempenho.

durante a hora de maior consumo, conforme esperado, uma vez que os piores desempenhos se devem à ocorrência de velocidades baixas. Os melhores desempenhos são verificados nas condutas principais a partir da entrada do sistema onde os caudais são mais elevados.

Apresenta-se, também, na Figura 6.10 a representação espacial das velocidades através da qual se verificou que, durante o período analisado, na maior parte dos trechos ocorrem velocidades inferiores à velocidade mínima regulamentar (i.e., 0.30 m/s), mesmo na hora de maior consumo.

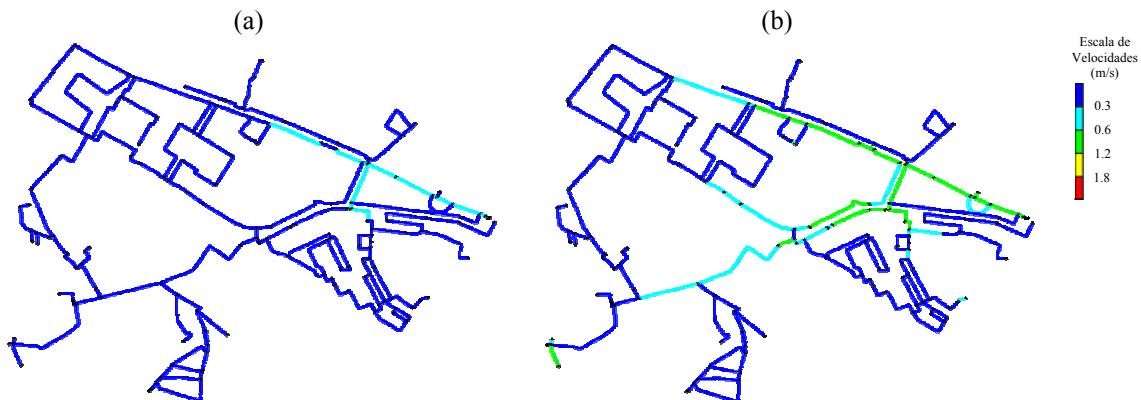


Figura 6.10 – Representação espacial das velocidades para a hora de (a) menor e de (b) maior consumo.

### 6.3.3.2 Diagramas de Sistema

Os *diagramas de sistema* representam os desempenhos médios do sistema e as suas bandas de percentis de 25% em 25%, para um conjunto de simulações estáticas com consumos associados que variam entre 0.2 e 5.0 vezes o consumo médio diário. Com estes diagramas pretende-se avaliar como se comporta o sistema em termos de desempenho face à variação do consumo.

#### Desempenho das Pressões na Rede

A Figura 6.11a mostra uma redução contínua do desempenho global médio de pressão, com o aumento do factor de consumo (i.e., crescimento dos caudais consumidos), ou seja, uma curva com perfil descendente em toda a gama de factores de carga simulada. Este perfil reflecte que as pressões na ZMC são muito sensíveis às variações de consumo, o que se traduz em desempenhos decrescentes (piores) para consumos mais elevados. Este resultado já era esperado, atendendo aos *diagramas de simulação dinâmica*, que apontam para problemas de pressões baixas no sistema de distribuição de água da ZMC 320.

Analogamente ao que foi observado nos *diagramas de simulação dinâmica* para a pressão, verifica-se nos *diagramas de sistema*, que uma pequena parcela dos nós apresenta pressões muito baixas para todas as simulações, dado o limite inferior e a largura da banda de percentil mais baixa. Contudo, a partir de 1.4 vezes o consumo médio diário, as duas bandas intermédias de percentil começam a alargar-se, e a segunda banda (25 a 50%) desce abaix

da curva de desempenho global médio, evidenciando problemas na garantia das pressões mínimas.

Ao contrário dos *diagramas de sistema* para a pressão mínima (*cf.* Figura 6.11b), o diagrama associado às pressões máximas (*cf.* Figura 6.11c) apresenta um aumento do desempenho com o aumento do factor de carga. A curva de penalidade da pressão máxima (*cf.* Figura 6.3c) é máxima para a pressão mínima de serviço, e as pressões mais elevadas decrescem com o crescimento do consumo, aproximando-se deste valor, ou seja, do desempenho máximo.

Para a flutuação de pressão, o diagrama da Figura 6.11d mostra uma variação suave com valores aceitáveis até factores de carga de 4.0, quando a banda de percentil mais baixo (0 a 25%), se torna inferior aos 50% de desempenho. A dispersão de valores é bastante reduzida revelando uma grande homogeneidade no comportamento do sistema. O declive suave da curva indica uma pequena sensibilidade do sistema aos factores de carga aplicados ao consumo.

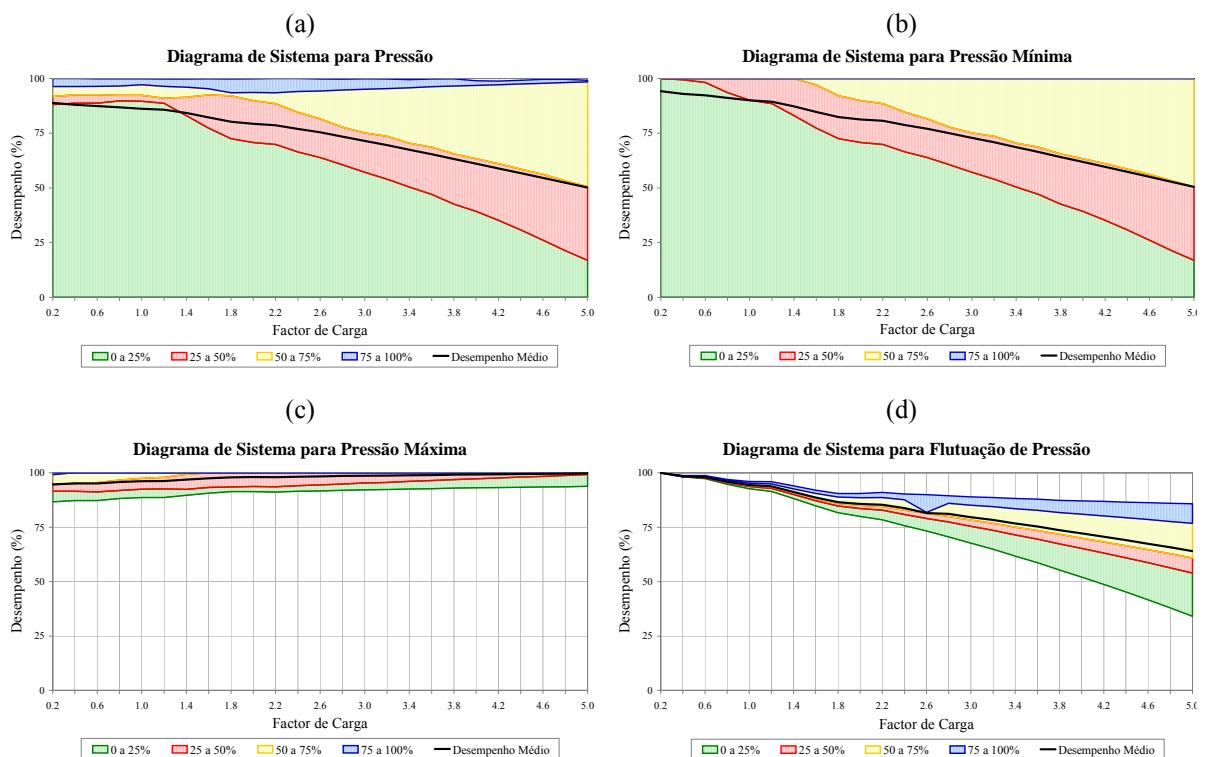


Figura 6.11 – *Diagrama de Sistema* para: (a) pressão, (b) pressão mínima, (c) pressão máxima e (d) flutuação de pressão.

### Desempenho da Velocidade de Escoamento

A curva de desempenho global médio em termos de velocidade (*cf.* Figura 6.12a) apresenta um pequeno crescimento, ultrapassando os 50% de desempenho, com um máximo por volta de 2.8 vezes o consumo médio, voltando a cair levemente até aos 50%. Este comportamento revela uma pequena sensibilidade das velocidades ao aumento de consumo, que se deve

essencialmente a um sobredimensionamento do sistema, com velocidades demasiado baixas até cerca de 3.0 vezes o consumo médio. Para nenhum factor de carga o desempenho consegue atingir valores médios aceitáveis, como já foi verificado na análise da simulação dinâmica.

A partir do factor de carga 1.8, as velocidades atingem valores superiores a duas vezes a velocidade de referência do trecho, evidenciada pela queda do desempenho abaixo do limiar de aceitabilidade (25%). Principalmente, a partir deste factor de carga, as bandas de dispersão são demasiado largas, o que juntamente com o andamento da curva média, reflecte a existência de velocidades tanto demasiado altas, como demasiado baixas, revelando um sistema heterogéneo neste ponto de vista.

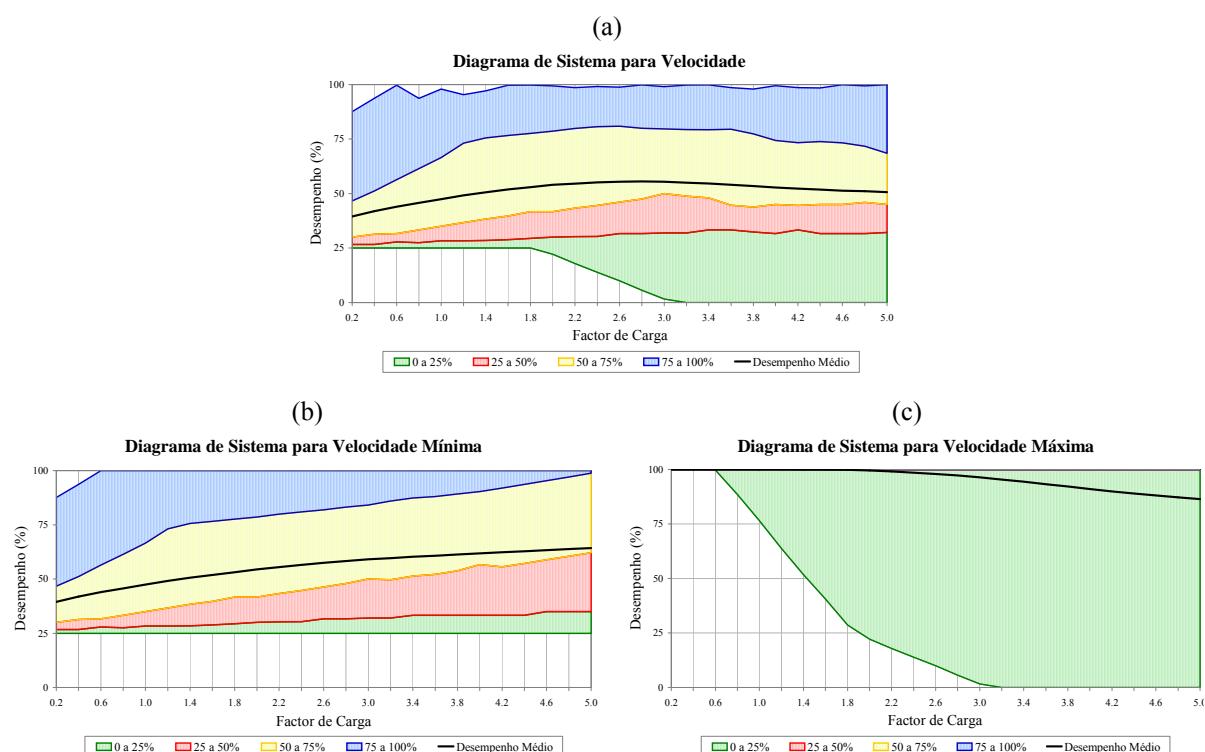


Figura 6.12 – Diagrama de Sistema para: (a) velocidade, (b) velocidade mínima e (c) velocidade máxima.

A análise, em separado, dos *diagramas de sistema* com penalizações da velocidade mínima (*cf.* Figura 6.12b) e máxima (*cf.* Figura 6.12c) permite verificar exactamente que as velocidades demasiado baixas aumentam com o aumento do consumo, resultando num aumento do desempenho, ainda assim, não suficiente para elevá-lo a valores aceitáveis. Em contrapartida, uma pequena parcela dos trechos com velocidades adequadas, a partir de um factor de consumo de 0.6 iniciam um acentuado declínio, chegando aos 50% de desempenho por volta de 1.4 vezes o consumo médio. A partir de um factor de consumo de 1.8 as velocidades atingem valores inaceitáveis com a continuidade do incremento de caudal. Este ponto marca o início da queda do desempenho global médio das velocidades máximas. Contudo, a largura da banda de percentil mais baixo contra a inexistência das outras bandas, em conjunto com o desempenho global médio próximo do óptimo, indica que as velocidades

elevadas ocorrem muito localmente. A representação gráfica espacial da velocidade e do seu desempenho permite confirmar esta situação.

## 6.4 CONCLUSÕES

No que se refere à *pressão*, verifica-se que a ZMC 320 (temporária) apresenta um bom desempenho global médio (superior a 75%) e apenas uma pequena parcela da rede (inferior a 25%, cf. Figura 6.7) apresenta pressões muito baixas podendo pontualmente comprometer o abastecimento de água aos consumidores nesta zona e a qualidade da água em todo o sistema caso ocorram pressões negativas. Não se verificaram pressões superiores 45 m.

Apesar do desempenho global médio em termos de pressões ser relativamente elevado, o que indicaria poucas perdas reais, verifica-se que as perdas reais mesmo após as reparações representam cerca de 27% da água entrada no sistema (cf. Quadro 5.7). Julga-se que as elevadas perdas reais se devam, essencialmente, à idade e material das condutas deste sector da rede (40 a 50 anos em FC e FF, respectivamente). Conclui-se que, o desempenho global da pressão não constitui, da forma como foi ponderado, um bom indicador de perdas reais, sendo apenas um indicador do conforto dos consumidores.

Relativamente à *flutuação de pressão*, verifica-se um desempenho global médio elevado (superior a 90%) e uma reduzida sensibilidade do sistema às flutuações de pressão, com variações de pressões máximas diárias da ordem dos 5 m, garantindo assim o conforto dos consumidores.

No que se respeita às *velocidades*, o desempenho global médio encontra-se abaixo do limiar da aceitabilidade (i.e., inferior a 25%), devido a velocidades excessivamente baixas em quase toda o sector da rede. Este resultado indica eventuais problemas de qualidade da água (devido à baixas concentrações de cloro) ou necessidade de concentrações mais elevadas de cloro para garantir valores mínimos de cloro residual. Quanto às velocidades elevadas, existem apenas dois trechos isolados com desempenhos globais abaixo do aceitável.

No entanto, ressalta-se o facto das medições de caudal e pressão utilizadas nas simulações hidráulicas que deram origem aos desempenhos terem ocorrido com o isolamento da zona (i.e., numa ZMC temporária com apenas um ponto de entrada de água), que foi conseguido pelo fechamento de dez válvulas de seccionamento. Este facto contribuiu para o abaixamento das pressões e da velocidade na ZMC no período de medição.

A aplicação desta metodologia permitiu concluir que:

- (i) a utilização de curvas de penalidade de variáveis hidráulicas (pressão, velocidade) que incluem simultaneamente a verificação de valores máximos e mínimos conforme proposto Coelho e Alegre (1999) (e.g., Figura 6.3a) não permitem identificar imediatamente o problema do sistema. Neste caso, os resultados dos desempenhos devem ser, sempre que possível, complementados com representações gráficas espaciais dos respectivos desempenhos, ou pelo menos, dos

valores da variável analisada, por forma a permitirem identificar a razão do problema e a sua localização na rede de distribuição, minimizando incertezas na identificação por parte da entidade gestora.

- (ii) a utilização de curvas de penalidade separadas para os valores máximos e mínimos das variáveis analisadas (e.g., Figura 6.3b e c) permite identificar um determinado problema e facilita a interpretação dos resultados (e.g., *não garantia de abastecimento* através das curvas de penalidade de pressão mínima, *elevadas perdas* através das curvas de pressão máxima, *aumentos de consumo* através das curvas de velocidade máxima).

A utilização destas curvas de penalidade torna-se ainda mais importante se não for possível obter-se a representação gráfica espacial dos resultados.

- (iii) com os recursos computacionais disponíveis actualmente, a determinação de mais um diagrama (e.g., necessidade de se separarem as curvas de pressão global em mínima e máxima), ou a representação espacial de uma determinada variável, não se colocam como problemas de tempo ou de recursos, e permitem uma melhor interpretação dos resultados.

## 7 CONCLUSÕES

### 7.1 SÍNTESE E CONCLUSÕES GERAIS

Neste trabalho, procedeu-se à avaliação de perdas reais e aparentes na Zona de Medição e Controlo de São Domingos de Benfica (ZMC 320), parte integrante do Sistema de Distribuição de Água de Lisboa.

Este estudo foi iniciado com o levantamento de metodologias e indicadores utilizados na quantificação e avaliação de perdas de água. Acompanhou-se uma Equipa da Unidade de Detecção de Fugas da EPAL, no planeamento e na execução de uma Campanha de Detecção de Fugas, o que permitiu conhecer o funcionamento de vários equipamentos utilizados na detecção e na localização de fugas numa rede de distribuição, perceber os procedimentos de recolha de dados na ZMC e ganhar sensibilidade quanto aos problemas enfrentados numa situação real de Controlo Activo de Fugas.

Procedeu-se à caracterização dos consumos da ZMC 320 com base numa análise sócio-demográfica e habitacional da zona e numa avaliação dos registos de caudal e pressão e dados de facturação. Esta análise permitiu utilizar os dados disponíveis, de forma mais consciente, nos cálculos subsequentes. Nesta caracterização, evidenciou-se que a ZMC 320 tinha duas zonas claramente distintas – a zona sul e a zona norte – e que deveriam ser conhecidos, separadamente e para todo o período analisado, os registos de caudal do seu grande consumidor, o Jardim Zoológico. A análise dos registos de caudal, com recurso a métodos estatísticos, permitiu evidenciar as diferenças entre os consumos dos diversos dias da semana e agrupá-los em três categorias: *dias úteis, sábados, e domingo e feriados*.

Procedeu-se à avaliação de perdas na ZMC 320, antes e depois da realização de uma campanha de detecção de fugas, com o objectivo de estimar as várias parcelas que contribuem para as perdas de água no sistema, e quantificar a redução de perdas conseguida com a realização da campanha. Para quantificar as parcelas de consumo foram utilizadas duas abordagens distintas: a abordagem *bottom-up*, que consiste na determinação do balanço hídrico anual e a abordagem *top-down*, que consiste numa análise do caudal mínimo nocturno e na utilização de simulações dinâmicas do sistema. A aplicação da abordagem *top-down* resultou em valores médios anuais das diversas parcelas de consumo, enquanto que a abordagem *bottom-up* resultou em curvas diárias das mesmas parcelas. Os resultados da abordagem *bottom-up* permitiram estimar a redução de perdas conseguida com a campanha e, convertidos em valores médios e extrapoladas para um período de um ano, proceder a comparações com os resultados obtidos pela abordagem *top-down*.

A comparação dos resultados obtidos por cada uma das abordagens permitiu concluir que a parcela de *perdas reais* pela abordagem *bottom-up* ( $464\ 368\ m^3/\text{ano}$ ) é muito inferior à obtida pela abordagem *top-down* ( $662\ 461\ m^3/\text{ano}$ ), ao contrário da parcela de *perdas aparentes* acrescida do *consumo autorizado não facturado*, onde pela abordagem *bottom-up*

(565 635 m<sup>3</sup>/ano) correspondente a cerca de 36% da água *entrada no sistema*, e pela abordagem *top-down* (365 542 m<sup>3</sup>/ano) corresponde a 22% da mesma. Considerando que os resultados da abordagem *bottom-up* representam com mais fiabilidade as perdas na ZMC, concluiu-se que as percentagens de *perdas aparentes* e de *consumo autorizado não facturado*, referentes à totalidade da rede de distribuição de Lisboa, utilizadas no cálculo do balanço hídrico, não se aplicam à ZMC 320 encontrando-se, significativamente, subestimados.

Relativamente aos resultados da abordagem *bottom-up*, efectuou-se o cálculo de seis indicadores de desempenho (Alegre *et al.*, 2004) relacionados com as perdas de água que, comparados a valores de referência nacionais e internacionais, evidenciaram a elevada ocorrência de perdas na zona em estudo.

Avaliou-se o desempenho hidráulico e operacional do sistema de distribuição de água da ZMC 320 através de dois parâmetros: a pressão e a velocidade. Foram calculados os desempenhos de pressão, de flutuação da pressão e de velocidade para cada elemento da rede (nó ou trecho) com base numa curva de penalidade. Estes resultados foram transformados em valores globais do sistema pela aplicação de uma função generalizadora. Os resultados deram origem a *diagramas de sistema* (i.e., que representam o comportamento do sistema para uma gama de factores de carga associados ao consumo) e a *diagramas de simulação dinâmica* (i.e., que representam o comportamento diário do sistema), e representações espaciais das variáveis analisadas e dos seus desempenhos. Concluiu-se que apenas uma pequena parcela da ZMC apresenta desempenhos de pressão abaixo do aceitável. Em termos de velocidade, os desempenhos não são muito elevados devido a velocidades baixas em grande parte do sistema. Em termos de flutuação de pressão, os desempenhos encontram-se excelentes. Desta análise, verificou-se também que as elevadas fugas não são uma consequência de pressões elevadas, uma vez que as pressões variam entre 30 e 45 m, mas resultado do estado de conservação e idade das condutas.

Contudo, conclui-se que os investimentos no controlo activo das fugas e perdas aparentes não foram suficientes para reduzir, a níveis aceitáveis, as perdas no sistema.

A estratégia de controlo de perdas assenta na análise de custo-benefício entre os investimentos necessários e os benefícios financeiros resultantes. O controlo de perdas requer, essencialmente, a divisão criteriosa da rede de distribuição num conjunto de zonas discretas denominadas por Zonas de Medição e Controlo, que permitam o controlo das entradas e saídas de água, por campanhas temporárias ou permanentes de medição de caudais. As ZMC facilitam também a implementação de planos de acção, no âmbito das políticas de controlo de perdas reais e aparentes.

No âmbito do controlo de perdas reais salientam-se as seguintes medidas: (i) *a gestão das pressões*, que requer um modelo matemático do sistema, devidamente calibrado e com os consumos actualizados; (ii) *o controlo activo das fugas*, através de campanhas, bem planeadas, de detecção e localização de fugas acompanhado de um plano adequado e

eficiente de reparações; e (iii) *um plano de reabilitação de condutas* que tenha em conta as características da rede (e.g., idade, material das condutas) e o histórico das reparações.

No âmbito da redução das perdas aparentes, destacam-se os seguintes acções: (i) *a verificação de ligações ilícitas* através da inspecção de zonas com obras em curso ou com construções clandestinas, e análise do histórico de facturação dos grandes consumidores; (ii) *combate ao uso fraudulento de bocas de incêndio*, que deveriam ser de uso exclusivo dos serviços de bombeiros, através da proibição do enchimento dos autotanques dos serviços municipalizados; (iii) *acções de avaliação das avarias dos contadores acompanhadas por um plano de substituição* dos mesmos; (iv) *minimização dos erros existentes no processo de facturação*, desde a leitura dos contadores até a emissão das facturas; e (v) *instalação de contadores* em pontos de entrega para usos dos serviços municipalizados (e.g., rega de espaços públicos e enchimento de autotanques), minimizando as facturações por estimativa.

## 7.2 RECOMENDAÇÕES PARA ESTUDOS FUTUROS

No estudo efectuado relativo a avaliação de perdas em sistemas de abastecimento de água, foi necessário recorrer a metodologias existentes na bibliografia, a simplificações e a hipóteses, dada a não existência de referências ou elementos mais adequados ao caso em estudo. Entre dificuldades encontradas e simplificações efectuadas deixam alguns problemas em aberto e sugerem linhas de investigação para estudos futuros que se passam a descrever.

Na aplicação da abordagem *bottom-up* foi necessário proceder à análise e determinação das diferentes componentes de consumo dos caudais mínimos nocturnos. Para o efeito, recorreu-se à metodologia proposta no *Report F – Using Night Flow Data* (WRC, 1994) que apresenta valores de referência determinados com base em medições efectuadas em sistemas de distribuição do Reino Unido. No entanto, não se pode afirmar que estes valores sejam os mais adequados às redes de distribuição de Portugal, uma vez existem diferenças na concepção dos sistemas (e.g., existência de reservatório no topo dos edifícios no Reino Unido) e hábitos de consumo. Desta forma, é necessário desenvolver **um estudo dos sistemas de distribuição portugueses** (similar ao apresentado no *Report F*), que valide os valores propostos para o caso do Reino Unido ou sugira novos valores de referência mais adequados ao caso de Portugal. O referido estudo seria igualmente importante para a determinação das perdas reais anuais médias (PRIM), utilizadas para o cálculo do indicador de desempenho *Op29*.

Para a avaliação de perdas com base em simulações hidráulicas dinâmicas do sistema, é importante ter uma boa estimativa da curva diária de consumos domésticos. Para este feito, é necessário desenvolver **um modelo estocástico de previsão de consumos domésticos**, devidamente fundamentado e validado com base em medições em sistemas de distribuição reais, que permitisse obter uma estimativa mais realista do valor e do padrão temporal de consumos, em função da dimensão e das características socio-económicas e habitacionais da população.

No presente caso, o modelo matemático do sistema de distribuição foi construído com base no cadastro da rede, nos dados de facturação e em medições de pressão e de caudal. As maiores dificuldades encontradas foram fazer a correspondência entre os dados de facturação (tabelas de consumos identificados pelo número de ramal) e o cadastro da rede, e transportar os dados do cadastro (características das condutas e dados de consumo) para o modelo matemático do sistema. Para simplificar esta tarefa e viabilizar a sua aplicação a sistemas reais complexos, é necessário que os **dados de facturação estejam ligados a uma base cadastral geo-referenciada** da rede, e dispor de uma **aplicação que faça a interface entre esta e o modelo matemático** utilizado, permitindo uma sua actualização sempre que necessário.

A avaliação do desempenho do sistema em termos de pressões máximas resultou num desempenho óptimo (superior 90%), o que poderia indicar poucas perdas reais, ao contrário do verificado no estudo (uma vez que estas representam cerca de 27% da água entrada no sistema). Este indicador não constituiu, da forma como foi ponderado, um bom indicador de perdas reais no sistema representando apenas uma medida de conforto dos consumidores. Para avaliar perdas reais através do desempenho em termos de pressões máximas, é necessário **definir uma função de generalização** que não dependa dos consumos nodais, mas que tenha em conta o comprimento, a idade e, eventualmente, o material e estado de conservação das tubagens. A definição desta função é subjectiva e requer um estudo mais aprofundado.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [01] Alegre, H. (1992). *Instrumento de Apoio à Gestão Técnica de Sistemas de Distribuição de Água*. Tese de Doutoramento, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
- [02] Alegre, H. (1994). *Metodologia para elaboração de estudos de caracterização de consumos de água*. In Recursos Hídricos Volume 15, Nº. 3, Outubro, 37-46.
- [03] Alegre, H., Baptista, J. M., Coelho, S. T. e Praça, P. (2002). *Performance Indicators for Network Rehabilitation*. In Proceedings of the 1<sup>st</sup> International Conference Computer Aided Rehabilitation of Water Networks – CARE-W, Dresden, Alemanha, Novembro, ISBN 3-86005-335-3.
- [04] Alegre, H. e Coelho, S. T. (1995). *Caracterização das Origens de Fugas e Outras Perdas nas Redes de Distribuição de Água*. In Industria da Água, Nº. 15, EPAL, S.A., Lisboa, Junho, 37-46.
- [05] Alegre, H. e Coelho, S. T. (1998). *Princípios Relevantes para a Eficiente Gestão Técnica de Sistemas de Abastecimento de Água*. In 8º Encontro Nacional de Saneamento Básico, Barcelos 27 a 30 de Outubro.
- [06] Alegre, H., Coelho, S., Aleida, M. e Vieira, P. (2005). *Controlo de Perdas de Água em Sistemas Públicos de Adução e Distribuição*. Série: *Guias Técnicos – Versão Provisória*. IRAR, Instituto da Água e LNEC, Lisboa, Julho.
- [07] Alegre, H., Hirner, W., Baptista, J. e Parená, R. (2004). *Indicadores de desempenho para serviços de água, Manual de boa prática*, (versão portuguesa actualizada e adaptada de *Performance indicators for water supply services, IWA Publishing, 2000*). IRAR e LNEC, ISBN 972 99354 2 4 (278 pág.).
- [08] Alonso, J. M., Alvarruiz, F., Guerrero, D., Hernández, V., Ruiz, P. A., Vidal, A. M., Martínez, F., Vercher, J. e Ulanicki, B. (2000). *Parallel Computing in Water Network Analysis and Leakage Minimization*. In Journal of Water Resources Planning and Management, Vol. 126, Nº 4, Julho/Agosto, pp. 251-260.
- [09] Araujo, L. (2005). *Controlo de Perdas na Gestão Sustentável dos Sistemas de Abastecimento de Água*. Tese de Doutoramento, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
- [10] Araujo, L. S., Coelho, S. T. e Ramos, H. (2004a). *Estimativa de Fugas e Consumos nas Redes de Distribuição de Água em Função da Pressão*. In XI Silubesa, Natal – RN, Brasil, 28 de Março a 2 Abril.

- [11] Araujo, L. S., Coelho, S. T. e Ramos, H. (2004b). *Maximização do Desempenho de Redes de Distribuição de Água através da Inserção e Ajuste de Válvulas*. In XI Silubesa, Natal – RN, Brasil, 28 de Março a 2 Abril.
- [12] Araujo, L. S., Ramos, H. e Coelho, S. T. (2003a). *Optimisation of the Use of Valves in a Network Distribution System for Leakage minimization*. In: Advances in Water Supply Management: An International Conference Organized by CCWI – Computers and Control in the Water Industry and the water save Network, Imperial College London, UK, 15 a 17 de Setembro.
- [13] Araujo, L. S., Coelho, S. T., Ramos, H. (2003b). *Estimation of Distributed Pressure-Dependent Leakage and Consumer Demand in Water Supply Networks*. In: Advances in Water Supply Management: An International Conference Organized by CCWI – Computers and Control in the Water Industry and the water save Network, Imperial College London, UK, 15 a 17 de Setembro.
- [14] Brothers, K. J. (2003a). *A practical approach to water loss reduction*. In Water21 magazine, Junho, 54-55.
- [15] Brothers, K. J. (2003b). *International Approach to Water Loss Reduction in Halifax, Nova Scotia, Canada*. In AWWA DSS: Distribution and Plant Operations Conference & Exposition, Setembro.
- [16] Coelho, S. T. (1990). *A System for Demand Analysis and Forecasting in Water Supply Systems*. In INCH 3l, Laboratório Nacional de Engenharia Civil – LNEC, Lisboa.
- [17] Coelho, S. T. e Alegre, H. (1999). *Indicadores de Desempenho de Sistemas de Saneamento Básico*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil – LNEC, Lisboa.
- [18] Conroy, P. J., Kowalski, M., Taylor, K. e Hulance, J. (2002). *CARE-W Approach and Software Prototype*. In Proceedings of the 1<sup>st</sup> International Conference Computer Aided Rehabilitation of Water Networks – CARE-W, Dresden, Alemanha, Novembro, ISBN 3-86005-335-3.
- [19] Covas, D. (1998). *Detecção e Localização de Fugas em Redes de Distribuição de Água: Método de Análise Hidrodinâmica*. Tese de Mestrado em Hidráulica e Recursos Hídricos, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
- [20] Decreto Regulamentar n.º 23/95, de 23 de Agosto.
- [21] Dias, N. (2004). *Diagnóstico de Sistemas de Abastecimento de Água para diferentes condições de Operacionalidade e segurança*. Trabalho Final de Curso de Licenciatura em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Universidade de Técnica de Lisboa, Lisboa.
- [22] Dias, N., Covas, D. e Ramos, H. (2005). *Leakage Reduction and Customer Level of Service Improvement by Pressure Management*. In 8<sup>th</sup> International Conference on Computing and

- Control for the Water Industry – CCWI, Universidade de Exeter, U.K., 5 a 7 Setembro.
- [23] Duarte, P., Farmani, R., Alegre, H., Savic, D., Walters, G. e Monteiro, J. (2005). *Water distributions Systems Optimisation and Technical Performance Assessment – Using technical performance assessment for comparing solutions*. In 8<sup>th</sup> International Conference on Computing and Control for the Water Industry – CCWI, Universidade de Exeter, U.K., 5 a 7 de Setembro.
- [24] EPAL, S.A. (2004). *Nota Técnica da Campanha de Descarga e Análise em Extremos de Rede e Válvulas de Descarga – ZMC 320 – São Domingos de Benfica*. Dezembro.
- [25] Fanner, P. (2004). *Assessing real water losses: a practical approach*. In Water21 magazine, Abril, 49-50.
- [26] Farley, M. e Liemberger, R. (2004). *Developing a Non-Revenue Water Reduction Strategy Part 2: Planning and Implementing the Strategy*. In IWA's 4th World Water Congress, Marrakech, Setembro. (download em [www.liemberger.cc](http://www.liemberger.cc))
- [27] Farley, M. e Trow, S. (2003). *Losses in Water Distribution Networks – A Practitioner's to Assessment, Monitoring and Control*. ISBN 1 900222 11 6, IWA.
- [28] Farley, M. (2001). *A Best Practice Training Manual – Leakage Management and Control*. WHO. (consultado em [www.who.int/docstore/water\\_sanitation\\_health/leakage/begin.html](http://www.who.int/docstore/water_sanitation_health/leakage/begin.html))
- [29] Germanopoulos, G. (1995). *A technical note on the inclusion of pressure dependent demand and leakage terms in water supply network models*. Civil Engineering Systems, Vol. 2, Setembro, pp. 171-179.
- [30] Godinho, G. (2004). *Modelação, Planeamento e Análise de Sistemas de Distribuição de Água*. Tese de Mestrado em Hidráulica e Recursos Hídricos, Instituto Superior Técnico, Universidade de Técnica de Lisboa, Lisboa.
- [31] Hirner, W. e Lambert, A. (2000). *Losses from Water Supply Systems: Standard Terminology and Recommended Performance Measures*. In IWA blue pages, Outubro. (download em [www.conservewatergeorgia.net/subupdate/images/IWAStdTerms.pdf](http://www.conservewatergeorgia.net/subupdate/images/IWAStdTerms.pdf) )
- [32] Jacob, A., Covas, D. e Ramos, H. (2006). *Avaliação de Perdas em Sistemas de Distribuição de Água*. In XII Silubesa, Figueira da Foz, Portugal, 13 a 17 de Março.
- [33] Jowitt, P. W. e Xu, C. (1990). *Optimal Valve Control in Water-Distribution Networks*. In Journal of Water Resources Planning and Management, Vol. 116, Nº 4, Julho/Agosto, pp. 455-472, ISSN 0733-9496.
- [34] Lambert, A. (2000). *What do we know about Pressure: Leakage Relationships in Water Distribution Systems?* In IWA Conference “System Approach to Leakage Control and Water Distribution Systems Management”, Brno, Republica Checa, Maio. (download em [www.liemberger.cc](http://www.liemberger.cc))

- [35] Lambert, A. (2001). *International Report on Water Loss Management and Techniques*. In IWA Congress, Berlin, Outubro. (download em [www.liemberger.cc](http://www.liemberger.cc))
- [36] Lambert, A. (2003). *Assessing non-revenue water and its components: a practical approach*. In Water21 magazine, Agosto, 50-51.
- [37] Lambert, A., Brown, T. G., Takizawa, M. e Weimer, D. (1999). *A Review of Performance Indicators for Real Losses from Water Supply Systems*. In AQUA Volume 48, Nº. 6, Dezembro, IWA, Londres, UK, ISSN 0003-7214,.
- [38] Lambert, A. e McKenzie, R. D. (2002). *Practical Experience in using the Infrastructure Leakage Index*. In International Water Association Conference ‘Leakage Management: A Practical Approach’, Lemesos, Cyprus, November. (download em [www.liemberger.cc](http://www.liemberger.cc))
- [39] Lambert, A., Myers, S. e Trow, S. (1998). *Managing Water Leakage: economic and technical issue*. Financial Times Energy, London.
- [40] Leitão, E. (2005). *Da Importância da Nova Lei da Água*. In Revista Ingenium, nº 88, Julho e Agosto. ([www.ordemengenheiros.pt](http://www.ordemengenheiros.pt))
- [41] Liemberger, R. e Farley, M. (2004). *Developing a Non-Revenue Water Reduction Strategy Part 1: Investigating and Assessing Water Losses*. In IWA's 4th World Water Congress, Marrakech, Setembro. (download em [www.liemberger.cc](http://www.liemberger.cc))
- [42] Liemberger, R. e McKenzie, R. (2003). *Aqualibre™ – A New Innovative Water Balance Software*. In IWA Efficient Conference, Tenerife, Abril. (download em [www.liemberger.cc](http://www.liemberger.cc))
- [43] LNEC e IRAR (2005). *Curso sobre Controlo de Perdas de Água em Sistemas de Adução e Distribuição*. In CCDR Alentejo, Évora, 2 a 4 de Fevereiro.
- [44] Lobato de Faria, A. e Alegre, H. (1996). *Paving the way to excellence in water supply systems: a national framework for levels-of-service assessment based on consumer satisfaction, The Maarten Schalekamp Award – 1995*. In AQUA Volume 45, Nº. 1, Fevereiro, IWSA, Londres, UK.
- [45] Martínez, F., Conejos, P e Vercher, J. (1999). *Developing and Integrated model for water distribution systems considering both distributed leakage and pressure-dependent demands*. In Proceedings of the 26<sup>th</sup> ASCE Water Resources Planning and Management Division Conference, Tempe, Arizona, Junho.
- [46] Matos, J. (2001). *Fundamentos de Informação Geográfica*. Ed. Lidel.
- [47] McKenzie, R. e Lambert, A. (2004). *Best practice performance indicators: a practical approach*. In Water21 magazine, Junho, 43-45.
- [48] McKenzie, R., Lambert, A., Kock, J. e Mtshweni, W. (2002). *Benchmarking of Leakage for Water Suppliers in South Africa – User Guide for the Benchleak Model*. South African

- Water Research Commission, Report TT 159/01, Janeiro, ISBN 1 86845 773 7.
- [49] Morrison, J. (2004). *Managing leakage by District Metered Areas: a practical approach*. In Water21 magazine, Fevereiro, 44-46.
- [50] National Water Council Department of the Environment (1980) – Standing Technical Committee Report 26: Leakage Control Policy and Pratice.
- [51] Pilcher, R. (2003). *Leak detection practices and techniques: a practical approach*. In Water21 magazine, Dezembro, 44-45.
- [52] Pisco, B., Ganhão, A., Reis, C. e Mendes, J. (2004). *Relatório das Campanhas de Medição de Caudais e Detecção Sistemática de Fugas – ZMC 320 – São Domingos de Benfica*. Departamento de Manutenção da Distribuição, EPAL, S.A., Outubro.
- [53] Quintela, A. C. (1981). *Hidráulica*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.
- [54] Ramos, H. (2003). *Folhas de Apoio à Disciplina de Sistema Elevatórios e Hidroeléctricos*. Mestrado em Hidráulica e Recursos Hídricos. Lisboa: Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa.
- [55] Ramos, H., Almeida, A. B., Portela, M. M. e Almeida, H. P. (2000). *Guidelines for Design of Small Hydropower Plants*. North Ireland: Western Regional Energy Agency & Network e Department of Economic Development.
- [56] Rizzo, A., Pearson, D., Stephenson, M. e Harper, N. (2004). *Apparent water losses control: a practical approach*. In Water21 magazine, Junho, 44-45.
- [57] Rossman, L. (2004). *Manual do utilizador do EPANET 2.0 – Simulação hidráulica e de parâmetros de qualidade em sistemas de transporte e distribuição de água*. Tradução e adaptação: Dália Loureiro e Sérgio Teixeira Coelho, Série Guias Técnicos, IRAR.
- [58] Thornton, J. (2003). *Managing leakage by managing pressure: a practical approach*. In Water21 magazine, Outubro, 43-44.
- [59] Trow, S. e Farley, M. (2003). *Developing a Strategy for Leakage Management in Water Distribution Systems*. In 2nd International Conference on Efficient Use and Management of Urban Water Supply, Tenerife, 2-4 April. (download em [www.liemberger.cc](http://www.liemberger.cc))
- [60] Vairavamoorthy, K. e Lumbers, J. (1998). *Leakage Reduction in Water Distribution Systems: Optimal Valve Control*. In Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 124, Nº 11, pp. 1146-1154, ISSN 0733-9429.
- [61] WRC (1994). *Water Industry: Managing Leakage (Reports A to J)*. Engineering and Operations Committee, UK.



## **ANEXOS**



## ANEXO 1 INDICADORES DE DESEMPENHO DA IWA

Neste anexo apresentam-se os indicadores de desempenho da *International Water Association* (IWA), apresentados por Alegre *et al.* (2004), com indicação do nível de importância proposto para cada indicador, consoante o interesse (i) de uma entidade gestora, (ii) de uma entidade reguladora, ou (iii) na óptica dos clientes.

Quadro A1.1 – Indicadores de recursos hídricos

Indicador	Unidade	Entidade Gestora	Entidade Reguladora	Cliente
WR1 - Ineficiência na utilização dos recursos hídricos	(%)	N1	N1	N3
WR2 - Disponibilidade de recursos hídricos	(%)	N2	N2	N3
• WR3 - <i>Disponibilidade de recursos hídricos próprios</i>	(%)	N3	N3	N3
WR4 - Água reutilizada no abastecimento	(%)	N3	N3	N3

Quadro A1.2 – Indicadores de recursos humanos

Indicador	Unidade	Entidade Gestora	Entidade Reguladora	Cliente
<b>PESSOAL TOTAL</b>				
Pe1 - Empregados por ramal <sup>9</sup>	(n.º/1000 ramais)	N1	-	-
Pe2 - Empregados por água produzida <sup>9</sup>	(n.º/(106 m <sup>3</sup> /ano))	N1	-	-
<b>PESSOAL POR FUNÇÃO PRINCIPAL</b>				
Pe3 - Pessoal afecto à gestão global	(%)	N2	-	-
Pe4 - Pessoal afecto à gestão de recursos humanos	(%)	N2	-	-
Pe5 - Pessoal afecto à gestão financeira e comercial	(%)	N2	-	-
Pe6 - Pessoal afecto à gestão de clientes	(%)	N2	-	-
Pe7 - Pessoal afecto à gestão técnica por ramal	(%)	N2	-	-
• Pe8 - <i>Pessoal afecto ao planeamento, ao projecto e à construção por ramal</i>	(%)	N3	-	-
• Pe9 - <i>Pessoal afecto à operação e à manutenção por ramal</i>	(%)	N3	-	-
<b>PESSOAL AFECTO À GESTÃO TÉCNICA POR TIPO DE ACTIVIDADE</b>				
Pe10 - Pessoal afecto à gestão dos recursos hídricos e origens de água	(n.º/(106 m <sup>3</sup> /ano))	N3	-	-
Pe11 - Pessoal afecto à captação e ao tratamento	(n.º/(106 m <sup>3</sup> /ano))	N3	-	-

<sup>9</sup> Deve ser utilizado apenas o indicador Pe1 ou o Pe2, em alternativa. O Pe2 aplica-se se a densidade de ramais < 20/km de rede (por exemplo, no caso de sistemas de produção e adução).

Indicador	Unidade	Entidade Gestora	Entidade Reguladora	Cliente
<i>Pe12 - Pessoal afecto aos sistemas de adução, armazenamento e distribuição</i>	(n.º /100 km)	<i>N3</i>	-	-
<i>Pe13 - Pessoal afecto à monitorização da qualidade da água</i>	(n.º/(10000 testes/ano))	<i>N3</i>	-	-
<i>Pe14 - Pessoal afecto à gestão de contadores</i>	(n.º/1000 contadores)	<i>N3</i>	-	-
<i>Pe15 - Pessoal dos serviços de apoio</i>	(%)	<i>N3</i>	-	-
<b>QUALIFICAÇÃO DO PESSOAL</b>				
<i>Pe16 - Pessoal com formação universitária</i>	(%)	<i>N3</i>	-	-
<i>Pe17 - Pessoal com escolaridade mínima obrigatória</i>	(%)	<i>N3</i>	-	-
<i>Pe18 - Pessoal com outras qualificações</i>	(%)	<i>N3</i>	-	-
<b>FORMAÇÃO DO PESSOAL</b>				
<i>Pe19- Tempo total de formação</i>	(horas/empregado/ano)	<i>N3</i>	-	-
• <i>Pe20 - Formação interna</i>	(horas/empregado/ano)	<i>N3</i>	-	-
• <i>Pe21 - Formação externa</i>	(horas/empregado/ano)	<i>N3</i>	-	-
<b>SAÚDE E SEGURANÇA DO PESSOAL</b>				
<i>Pe22 - Acidentes de trabalho</i>	(n.º/100 empregados/ano)	<i>N3</i>	-	-
<i>Pe23 - Absentismo</i>	(dias/empregado/ano)	<i>N3</i>	-	-
• <i>Pe24 - Absentismo por acidente de trabalho ou doença</i>	(dias/empregado/ano)	<i>N3</i>	-	-
• <i>Pe25 - Absentismo por outras razões</i>	(dias/empregado/ano)	<i>N3</i>	-	-
<b>HORAS EXTRAORDINÁRIAS</b>				
<i>Pe26 - Horas extraordinárias</i>	(%)	<i>N3</i>	-	-

Quadro A1.3 – Indicadores Infra-estruturais

Indicador	Unidade	Entidade Gestora	Entidade Reguladora	Cliente
<b>TRATAMENTO</b>				
<i>Ph1 - Utilização das estações de tratamento</i>	(%)	<i>N1</i>	<i>N2</i>	-
<b>ARMAZENAMENTO</b>				
<i>Ph2 - Capacidade de reserva de água bruta</i>	(dias)	<i>N2</i>	<i>N3</i>	-
<i>Ph3 - Capacidade de reserva de água tratada</i>	(dias)	<i>N2</i>	<i>N3</i>	-
<b>BOMBEAMENTO</b>				
<i>Ph4 - Utilização da capacidade de bombeamento</i>	(%)	<i>N2</i>	-	-
<i>Ph5 - Consumo de energia normalizado</i>	(kWh/m <sup>3</sup> /100 m)	<i>N2</i>	-	-
<i>Ph6 - Consumo de energia reactiva</i>	(%)	<i>N3</i>	-	-
<i>Ph7 - Recuperação de energia</i>	(%)	<i>N3</i>	-	-

Indicador	Unidade	Entidade Gestora	Entidade Reguladora	Cliente
<b>ADUÇÃO E DISTRIBUIÇÃO</b>				
<i>Ph8 - Densidade de válvulas</i>	(n.º/km)	<i>N3</i>	-	-
<i>Ph9 - Densidade de hidrantes</i>	(n.º/km)	<i>N3</i>	-	-
<b>Medidores de caudal</b>				
• <i>Ph10 - Densidade de medidores de zmc</i>	(n.º/1000 ramais)	<i>N3</i>	-	-
• <i>Ph11 - Densidade de contadores de clientes</i>	(n.º/ramal)	<i>N2</i>	-	-
• <i>Ph12 - Clientes com contador</i>	(n.º cliente)	<i>N2</i>	<i>N2</i>	<i>N2</i>
• <i>Ph13 - Clientes domésticos com contador</i>	(n.º cliente)	<i>N3</i>	<i>N2</i>	<i>N2</i>
<b>AUTOMAÇÃO E controlo</b>				
<i>Ph14 - Grau de automação</i>	(%)	<i>N3</i>	-	-
<i>Ph15 - Grau de controlo remoto</i>	(%)	<i>N3</i>	-	-

Quadro A1.4 – Indicadores operacionais

Indicador	Unidade	Entidade Gestora	Entidade Reguladora	Cliente
<b>INSPECÇÃO E MANUTENÇÃO</b>				
<i>Op1 - Inspecção de grupos electrobomba</i>	(-/ano)	<i>N2</i>	-	-
<i>Op2 - Limpeza de reservatórios</i>	(-/ano)	<i>N2</i>	-	-
<i>Op3 - Inspecção de redes</i>	(%/ano)	<i>N2</i>	-	-
<i>Op4 - Controlo de fugas</i>	(%/ano)	<i>N2</i>	<i>N2</i>	-
<i>Op5 - Reparações por controlo activo de fugas</i>	(n.º/100 km/ano)	<i>N2</i>	-	-
<i>Op6 - Inspecção de hidrantes</i>	(-/ano)	<i>N3</i>	-	-
<b>Calibração de instrumentação</b>				
• <i>Op7 - Calibração de medidores de caudal de sistema</i>	(-/ano)	<i>N3</i>	-	-
• <i>Op8 - Substituição de medidores de caudal</i>	(-/ano)	<i>N2</i>	<i>N2</i>	<i>N3</i>
• <i>Op9 - Calibração de medidores de pressão</i>	(-/ano)	<i>N3</i>	-	-
• <i>Op10 - Calibração de medidores de nível</i>	(-/ano)	<i>N3</i>	-	-
• <i>Op11 - Ccalibração de equipamento de medição para monitorização de qualidade da água instalado em linha</i>	(-/ano)	<i>N3</i>	-	-
<b>Inspecção de equipamento eléctrico e de transmissão de sinal</b>				
<i>Op12 - Inspecção de equipamentos de emergência</i>	(-/ano)	<i>N3</i>	-	-
<i>Op13 - Inspecção de equipamentos de transmissão de sinal</i>	(-/ano)	<i>N3</i>	-	-
<i>Op14 - Inspecção de quadros eléctricos</i>	(-/ano)	<i>N3</i>	-	-
<i>Op15 - Disponibilidade de veículos</i>	(veículos/100 km)	<i>N3</i>	-	-
<b>REABILITAÇÃO DE CONDUTAS, DE VÁLVULAS E DE RAMAIS</b>				

Indicador	Unidade	Entidade Gestora	Entidade Reguladora	Cliente
<i>Op16 - Reabilitação de condutas</i>	(%/ano)	<i>N1</i>	<i>N1</i>	-
• <i>Op17 - Renovação de condutas</i>	(%/ano)	<i>N2</i>	<i>N2</i>	-
• <i>Op18 - Substituição de condutas</i>	(%/ano)	<i>N2</i>	<i>N2</i>	-
• <i>Op19 - Substituição de válvulas</i>	(%/ano)	<i>N2</i>	<i>N2</i>	-
<i>Op20 - Reabilitação de ramais</i>	(%/ano)	<i>N1</i>	<i>N2</i>	-
<b>REABILITAÇÃO DE BOMBAS</b>				
• <i>Op21 - Recuperação de bombas</i>	(%/ano)	<i>N2</i>	-	-
• <i>Op22 - Substituição de bombas</i>	(%/ano)	<i>N2</i>	-	-
<b>PERDAS DE ÁGUA</b>				
<i>Op23 - Perdas de água por ramal</i> <sup>10</sup>	(m <sup>3</sup> /ramal/ano)	<i>N1</i>	<i>N1</i>	<i>N3</i>
<i>Op24 - Perdas de água por comprimento de conduta</i> <sup>10</sup>	(m <sup>3</sup> /km/dia)	<i>N1</i>	<i>N1</i>	<i>N3</i>
• <i>Op25 - Perdas aparentes por ramal</i> <sup>11</sup>	(m <sup>3</sup> /ramal/ano)	<i>N3</i>	<i>N3</i>	-
• <i>Op26 - Perdas aparentes por comprimento de conduta</i> <sup>11</sup>	(m <sup>3</sup> /km/dia)	<i>N3</i>	<i>N3</i>	-
• <i>Op27 - Perdas reais por ramal</i> <sup>12</sup>	(l/ramal/dia com sistema em pressão)	<i>N1</i>	<i>N1</i>	<i>N3</i>
• <i>Op28 - Perdas reais por comprimento de conduta</i> <sup>12</sup>	(l/km /dia com sistema em pressão)	<i>N1</i>	<i>N1</i>	<i>N3</i>
• <i>Op29 - Índice infra-estrutural de fugas</i>	(-)	<i>N3</i>	<i>N3</i>	-
<b>AVARIAS</b>				
<i>Op30 - Avarias em grupos electrobomba</i>	(dias/grupo/ano)	<i>N2</i>	<i>N2</i>	<i>N3</i>
<i>Op31 - Avarias em condutas</i>	(n.%/100 km/ano)	<i>N1</i>	<i>N1</i>	<i>N3</i>
<i>Op32 - Avarias em ramais</i>	(n.%/1000 ramais/ano)	<i>N1</i>	<i>N2</i>	<i>N3</i>
<i>Op33 - Avarias em hidrantes</i>	(n.%/1000 hidrantes/ ano)	<i>N2</i>	-	-
<i>Op34 - Falhas de abastecimento eléctrico</i>	(horas/estação elevatória/ano)	<i>N2</i>	-	-
<i>Op35 - Falhas de fontanários</i>	(%)	<i>N2</i>	-	-
<b>MEDIÇÃO DE CAUDAL</b>				
<i>Op36 - Eficiência de leitura dos contadores dos clientes</i> <sup>13</sup>	(-)	<i>N1</i>	<i>N3</i>	-
<i>Op37 - Eficiência de leitura dos contadores domésticos</i> <sup>13</sup>	(-)	<i>N1</i>	<i>N3</i>	-

<sup>10</sup> Deve ser utilizado apenas o indicador *Op23* ou o *Op24*, em alternativa. O *Op24* aplica-se se a densidade de ramais < 20/km de rede (por exemplo, no caso de sistemas de produção e adução).

<sup>11</sup> Deve ser utilizado apenas o indicador *Op25* ou o *Op26*, em alternativa. O *Op26* aplica-se se a densidade de ramais < 20/km de rede (por exemplo, no caso de sistemas de produção e adução).

<sup>12</sup> Deve ser utilizado apenas o indicador *Op27* ou o *Op28*, em alternativa. O *Op28* aplica-se se a densidade de ramais < 20/km de rede (por exemplo, no caso de sistemas de produção e adução).

<sup>13</sup> Deve ser utilizado apenas o indicador *Op36* ou *Op37*, em alternativa.

Indicador	Unidade	Entidade Gestora	Entidade Reguladora	Cliente
<i>Op38 - Percentagem de contadores operacionais</i>	(%)	N2	N2	N3
<i>Op39 - Água não medida</i>	(%)	N1	N1	-
<b>MONITORIZAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA TRATADA</b>				
<i>Op40 - Análises realizadas</i>	(%)	N1	N1	N3
• <i>Op41 - Análises organolépticas realizadas</i>	(%)	N2	N2	N3
• <i>Op42 - Análises microbiológicas realizadas</i>	(%)	N2	N2	N3
• <i>Op43 - Análises físico-químicas realizadas</i>	(%)	N2	N2	N3
• <i>Op44 - Análises de radioactividade realizadas</i>	(%)	N3	N3	N3

Quadro A1.5 – Indicadores de qualidade de serviço.

Indicador	Unidade	Entidade Gestora	Entidade Reguladora	Cliente
<b>SERVIÇO</b>				
<i>QS1 - Fogos servidos<sup>14</sup></i>	(%)	N1	N1	N1
<i>QS2 - Edifícios servidos<sup>14</sup></i>	(%)	N1	N1	N1
<i>QS3 - População servida<sup>14</sup></i>	(%)	N1	N1	N1
• <i>QS4 - População servida por ramais</i>	(%)	N2	N2	N2
• <i>QS5 - População servida por fontanários ou outros pontos de consumo público</i>	(%)	N2	N2	N2
<b>Fontanários ou outros pontos de consumo público</b>				
• <i>QS6 - Pontos de consumo público operacionais</i>	(%)	N1	N1	N1
• <i>QS7 - Distância média dos pontos de consumo público aos consumidores</i>	(m)	N1	N1	N1
• <i>QS8 - Capitação de água consumida em pontos de consumo público</i>	(l/hab./dia)	N1	N1	N1
• <i>QS9 - População por torneira pública</i>	(hab./torneira)	N2	N2	N2
<i>QS10 - Adequação da pressão de serviço<sup>15</sup></i>	(%)	N2	N2	N2
<i>QS11 - Adequação do abastecimento na adução<sup>15</sup></i>	(%)	N2	N2	N2
<i>QS12 - Continuidade do abastecimento</i>	(%)	N1	N1	N1
<i>QS13 - Interrupções de fornecimento<sup>16</sup></i>	(%)	N2	N2	N2
<i>QS14 - Interrupções por ramal<sup>16</sup></i>	(n.º/1000 ramais/ano)	N2	N2	N2

<sup>14</sup> Deve ser utilizado apenas o indicador *QS1*, *QS2* ou *QS3*, em alternativa.<sup>15</sup> Deve ser utilizado apenas o indicador *QS10* ou o *QS11*, em alternativa. O *QS11* aplica-se se a densidade de ramais < 20/km de rede (por exemplo, no caso de sistemas de produção e adução).<sup>16</sup> Deve ser utilizado apenas o indicador *QS13*, o *QS14* ou o *QS15* em alternativa, sendo o primeiro mais informativo mas de cálculo mais complexo. O indicador *QS14* é aplicável quando a densidade de ramais ≥ 20/km de rede (sistemas de distribuição urbanos); o *QS15* aplica-se se a densidade de ramais < 20/km de rede (sistemas de distribuição rurais e sistemas de produção e adução).

Indicador	Unidade	Entidade Gestora	Entidade Reguladora	Cliente
QS15 - Interrupções por ponto entrega <sup>16</sup>	(n.º/ponto de entrega/ano)	N2	N2	N2
QS16 - População sujeita a restrições ao uso de água <sup>17</sup>	(%)	N2	N2	N1
QS17 - Dias com restrições ao uso de água <sup>17</sup>	(%)	N2	N2	N1
QS18 - Qualidade da água fornecida	(%)	N1	N1	N1
• QS19 - Qualidade organoléptica	(%)	N2	N2	N2
• QS20 - Qualidade microbiológica	(%)	N2	N2	N2
• QS21 - Qualidade físico-química	(%)	N2	N2	N2
• QS22 - Qualidade relativa à radioactividade	(%)	N3	N3	N3
QS23 - Eficiência no estabelecimento de ligações	(dias)	N2	N2	N2
QS24 - Tempo de instalação de novos contadores	(dias)	N2	N2	N1
QS25 - Eficiência na reparação de ligações	(dias)	N2	N2	N1

#### RECLAMAÇÕES

QS26 - Reclamações de serviço <sup>18</sup>	(n.º reclamações/1000 ramais/ano)	N1	N1	N1
QS27 - Reclamações de serviço por cliente <sup>18</sup>	(n.º reclamações/cliente/ano)	N1	N1	N1
• QS28 - Reclamações sobre a pressão	(%)	N2	N2	N2
• QS29 - Reclamações sobre a continuidade do serviço	(%)	N2	N2	N2
• QS30 - Reclamações sobre a qualidade da água	(%)	N2	N2	N2
• QS31 - Reclamações sobre restrições ou interrupções	(%)	N2	N2	N2
QS32 - Reclamações e pedidos de esclarecimento relativos à facturação	(n.º /cliente/ano)	N1	N1	N1
QS33 - Outras reclamações e pedidos de esclarecimento	(n.º /cliente/ano)	N2	N2	N2
QS34 - Resposta a reclamações escritas	(%)	N2	N2	N2

Quadro A1.6 – Indicadores de económico-financeiros.

Indicador	Unidade	Entidade Gestora	Entidade Reguladora	Cliente
<b>PROVEITOS</b>				
Fi1 - Proveito unitário	(US\$/m <sup>3</sup> )	N2		-
• Fi2 - vendas	(%)	N2		-

<sup>17</sup> Deve ser utilizado apenas o indicador QS16 ou o QS17, em alternativa.

<sup>18</sup> Deve ser utilizado apenas o indicador QS26 ou o QS27, em alternativa. O QS27 aplica-se se a densidade de ramais < 20/km de rede (por exemplo, no caso de sistemas de produção e adução).

Indicador	Unidade	Entidade Gestora	Entidade Reguladora	Cliente
• <i>Fi3 - outros proveitos</i>	(%)	<i>N2</i>		-
<b>CUSTOS</b>				
<i>Fi4 - Custo unitário total</i>	(US\$/m <sup>3</sup> )	<i>N2</i>		-
• <i>Fi5 - custos unitários correntes</i>	(US\$/m <sup>3</sup> )	<i>N1</i>		-
• <i>Fi6 - custos unitários de capital</i>	(US\$/m <sup>3</sup> )	<i>N3</i>		-
<b>Composição dos custos correntes por tipo de custo</b>				
• <i>Fi7 - Custos de pessoal</i>	(%)	<i>N3</i>		-
• <i>Fi8 - Custos de serviços externos</i>	(%)	<i>N3</i>		-
• <i>Fi9 - Custos da água importada (bruta e tratada)</i>	(%)	<i>N3</i>		-
• <i>Fi10 - Custos de energia eléctrica</i>	(%)	<i>N3</i>		-
• <i>Fi11 - Outros custos correntes</i>	(%)	<i>N3</i>		-
<b>Composição dos custos correntes por tipo de função da entidade gestora</b>				
• <i>Fi12 - Custos das funções de gestão global</i>	(%)	<i>N3</i>		-
• <i>Fi13 - Custos das funções de gestão de recursos humanos</i>	(%)	<i>N3</i>		-
• <i>Fi14 - Custos das funções financeiras e comerciais</i>	(%)	<i>N3</i>		-
• <i>Fi15 - Custos das funções de gestão de clientes</i>	(%)	<i>N3</i>		-
• <i>Fi16 - Custos das funções de gestão técnica</i>	(%)	<i>N3</i>		-
<b>Composição dos custos correntes por tipo de actividade</b>				
• <i>Fi17 - Custos da gestão dos recursos hidrícos e origens de água</i>	(%)	<i>N3</i>		-
• <i>Fi18 - custos da captação e do tratamento</i>	(%)	<i>N3</i>		-
• <i>Fi19 - Custos da adução, do armazenamento e da distribuição</i>	(%)	<i>N3</i>		-
• <i>Fi20 - Custos da monitorização da qualidade da água</i>	(%)	<i>N3</i>		-
• <i>Fi21 - Custos da gestão de contadores</i>	(%)	<i>N3</i>		-
• <i>Fi22 - Custos dos serviços de apoio</i>	(%)	<i>N3</i>		-
<b>Composição dos custos de capital</b>				
• <i>Fi23 - Custos de amortizações</i>	(%)	<i>N3</i>		-
• <i>Fi24 - Custos dos juros líquidos</i>	(%)	<i>N3</i>		-
<b>INVESTIMENTO</b>				
<i>Fi25 - Investimento unitário</i>	(US\$/m <sup>3</sup> )	<i>N2</i>		-
• <i>Fi26 - Investimento para construção de sistemas ou reforço dos existentes</i>	(%)	<i>N3</i>		-
• <i>Fi27 - Investimento para substituição e renovação de infra-estruturas existentes</i>	(%)	<i>N3</i>		-
<b>PREÇO MÉDIO DE VENDA DE ÁGUA</b>				

Indicador	Unidade	Entidade Gestora	Entidade Reguladora	Cliente
<i>Fi28</i> - Preço médio de venda para consumo directo	(US\$/m <sup>3</sup> )	<i>N1</i>	<i>N1</i>	<i>N1</i>
<i>Fi29</i> - Preço médio de venda de água exportada	(US\$/m <sup>3</sup> )	<i>N1</i>	<i>N1</i>	<i>N1</i>
<b>INDICADORES DE EFICIÊNCIA</b>				
<i>Fi30</i> - Rácio de cobertura dos custos	(-)	<i>N1</i>		-
<i>Fi31</i> - Rácio de cobertura dos custos correntes	(-)	<i>N1</i>		-
<i>Fi32</i> - Atraso médio de recebimentos	(dias equivalentes)	<i>N3</i>		-
<i>Fi33</i> - Taxa de reposição do imobilizado	(-)	<i>N2</i>		-
<i>Fi34</i> - Taxa de cobertura do investimento	(%)	<i>N1</i>		-
<i>Fi35</i> - Taxa de amortização acumulada do imobilizado corpóreo	(%)	<i>N2</i>		-
<i>Fi36</i> - Racio anual média de amortizações	(-)	<i>N3</i>		-
<i>Fi37</i> - Taxa de aumento de dívida dos clientes	(-)	<i>N2</i>		-
<i>Fi38</i> - Valor do inventário	(%)	<i>N3</i>		-
<b>INDICADORES DE “ALAVANCAGEM”</b>				
<i>Fi39</i> - Taxa de cobertura do serviço de dívida	(%)	<i>N2</i>		-
<i>Fi40</i> - Rácio de solvabilidade	(-)	<i>N2</i>		-
<b>INDICADOR DE LIQUIDEZ</b>				
<i>Fi41</i> - Rácio de liquidez geral	(-)	<i>N1</i>		-
<b>INDICADORES DE RENDIBILIDADE</b>				
<i>Fi42</i> - Taxa de retorno do activo fixo	(%)	<i>N2</i>		-
<i>Fi43</i> - Rendibilidade dos capitais próprios	(%)	<i>N2</i>		-
<i>Fi44</i> - Rendibilidade do capital investido	(%)	<i>N2</i>	<i>N2</i>	-
<i>Fi45</i> - Rácio de rotação do activo	(-)	<i>N2</i>		-
<b>PERDAS DE ÁGUA</b>				
<i>Fi46</i> - Água não facturada em termos de volume	(%)	<i>N1</i>	<i>N2</i>	<i>N3</i>
<i>Fi47</i> - Água não facturada em termos de custo	(%)	<i>N3</i>		-

## **ANEXO 2 REGISTOS DE CAUDAL E PRESSÃO NA ENTRADA DA ZMC 320 DURANTE A CAMPANHA DE DETECÇÃO DE FUGAS**

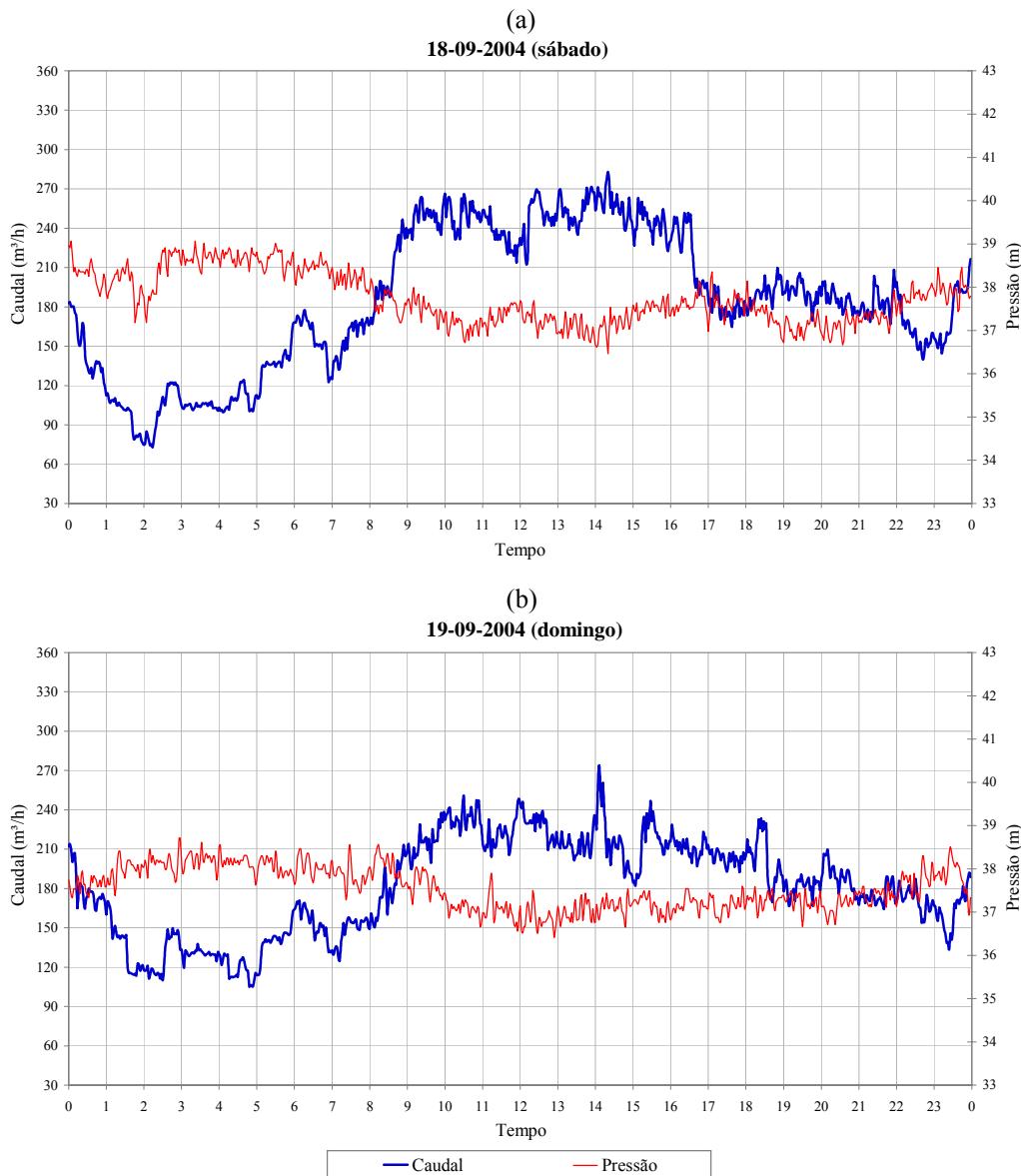


Figura A2.1 – Registos de caudal e pressão em (a) 18/09/2004 e (b) 19/09/2004.

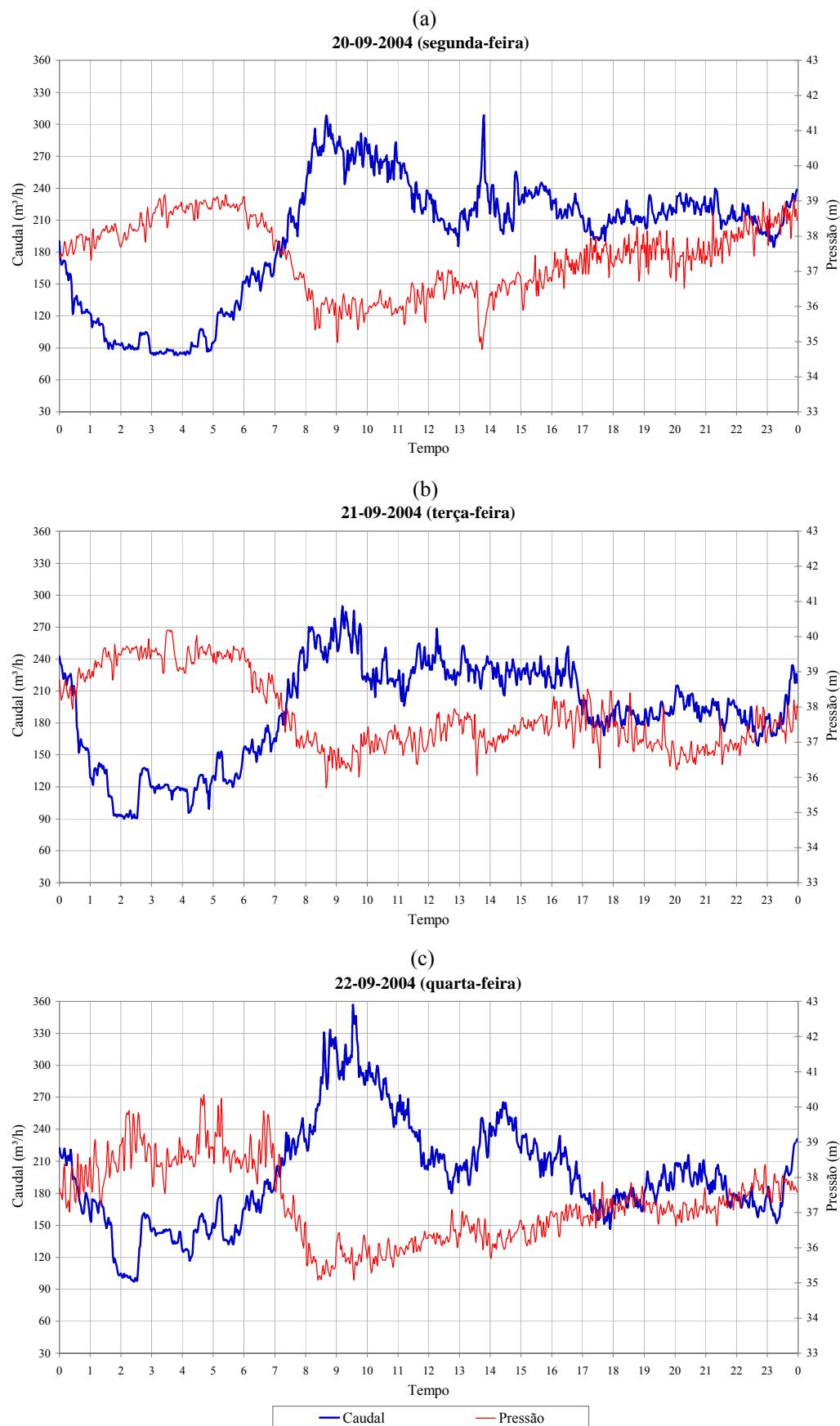


Figura A2.2 – Registros de caudal e pressão em (a) 20/09/2004, (b) 21/09/2004 e (c) 22/09/2004.

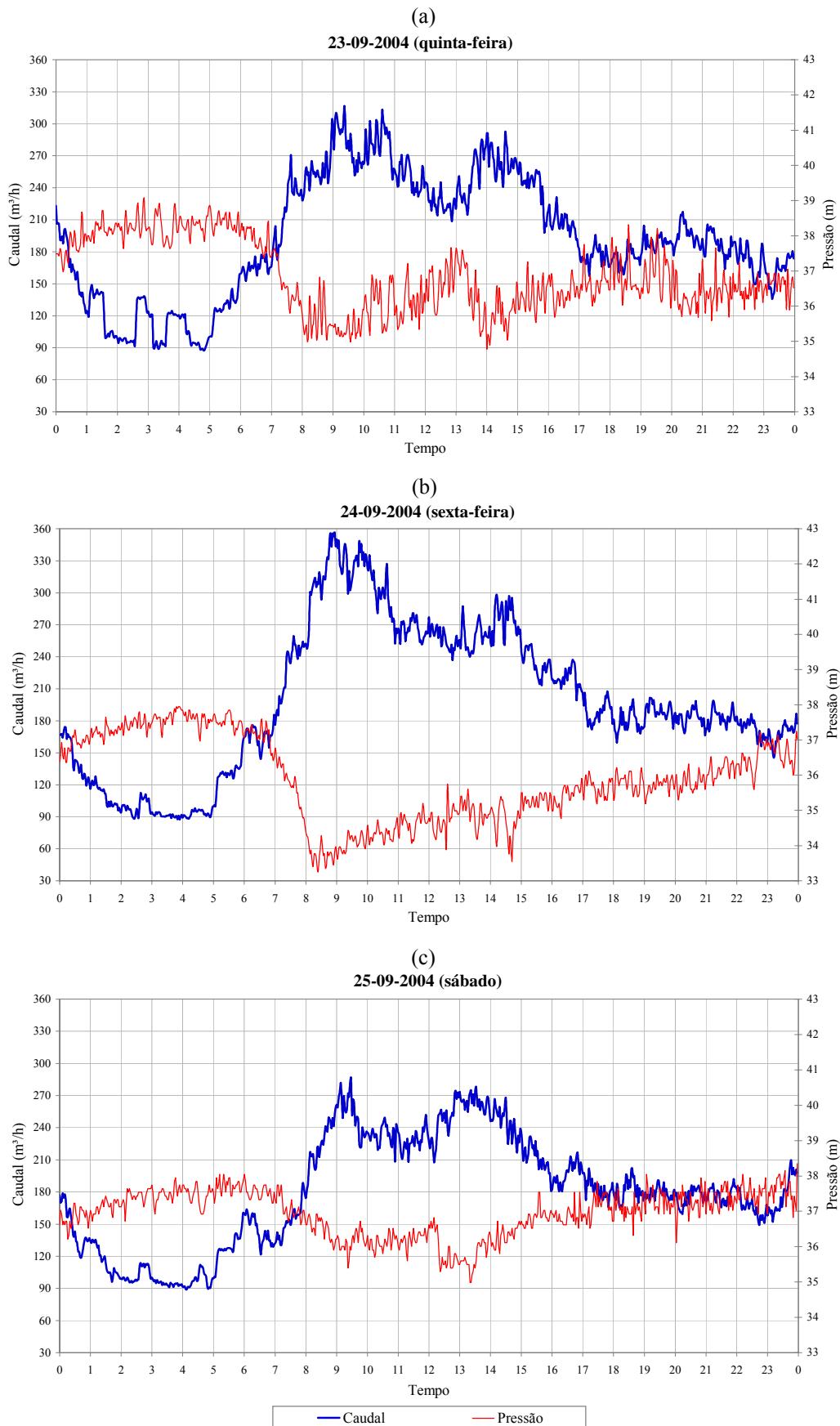


Figura A2.3 – Registos de caudal e pressão em (a) 23/09/2004, (b) 24/09/2004 e (c) 25/09/2004.

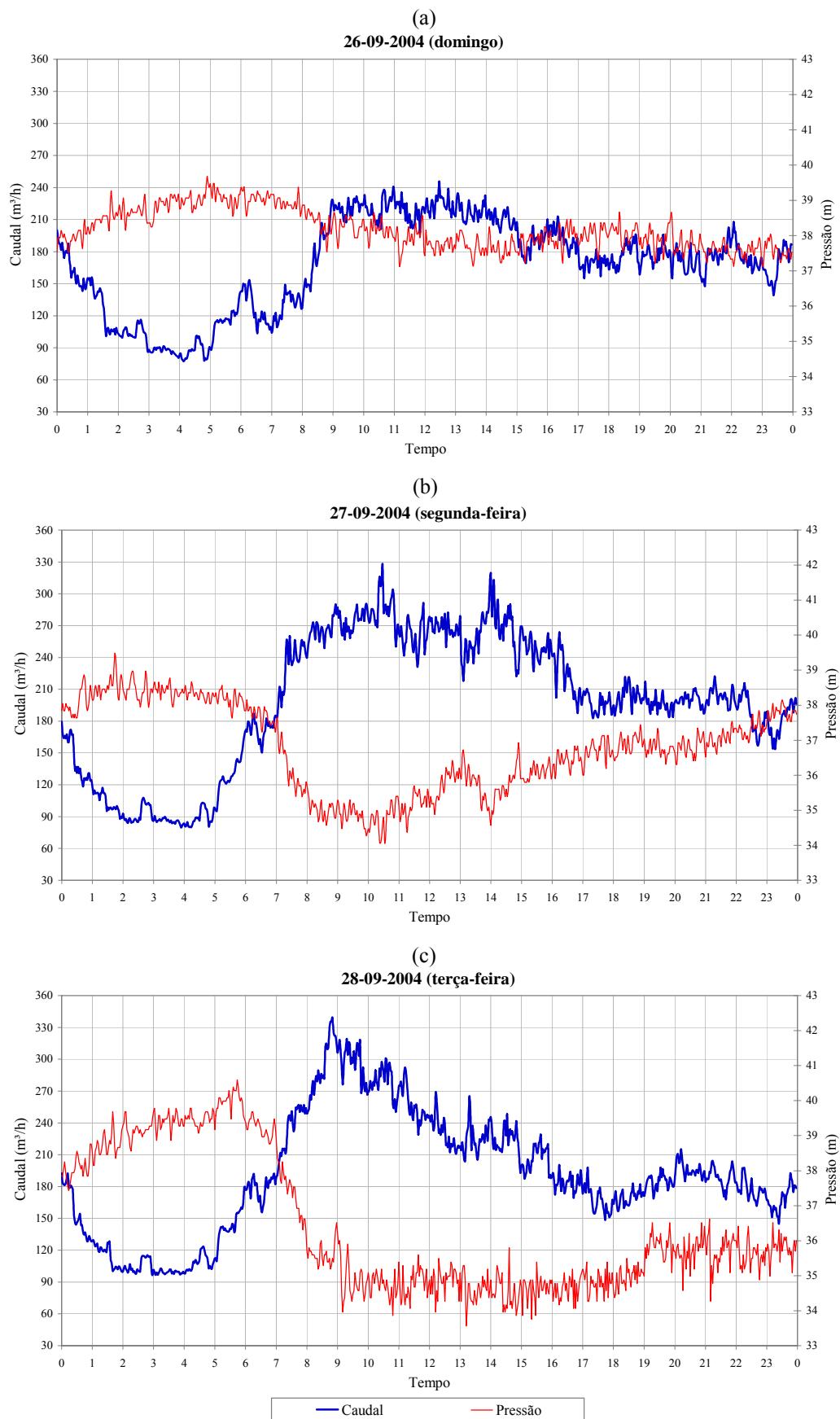


Figura A2.4 – Registros de caudal e pressão em (a) 26/09/2004, (b) 27/09/2004 e (c) 28/09/2004.

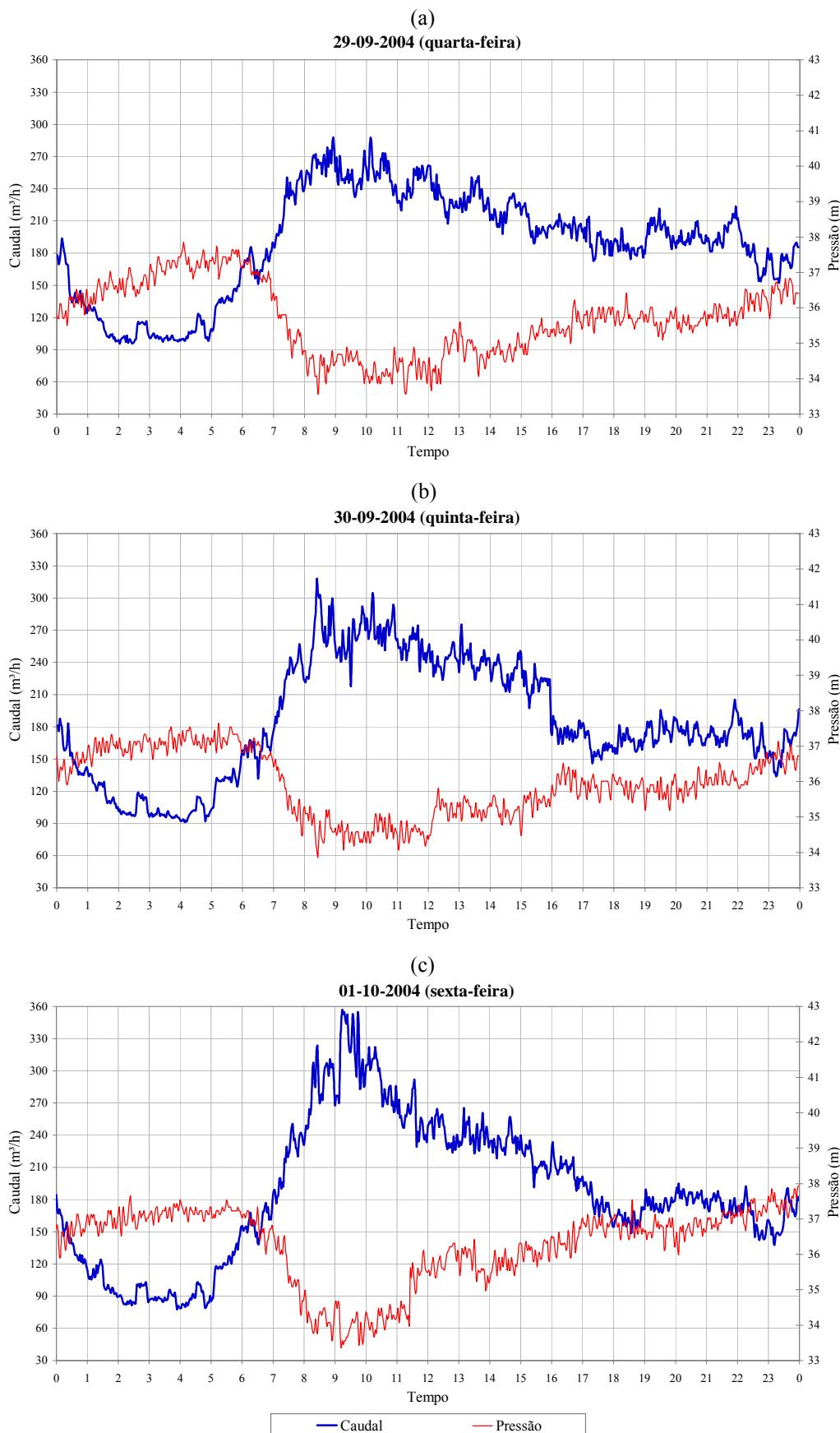


Figura A2.5 – Registos de caudal e pressão em (a) 29/09/2004, (b) 30/09/2004 e (c) 01/10/2004.

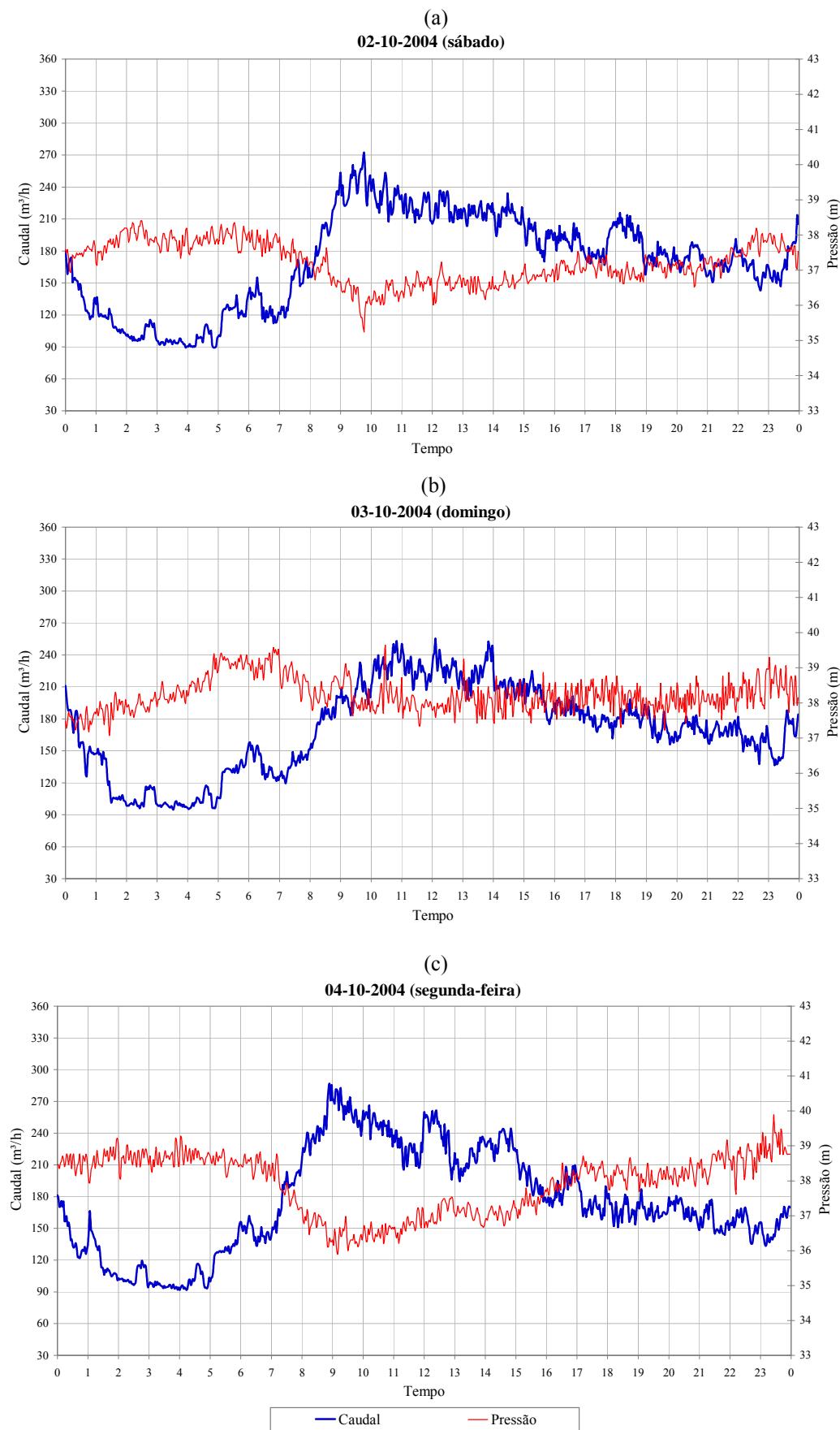


Figura A2.6 – Registos de caudal e pressão em (a) 02/10/2004, (b) 03/10/2004 e (c) 04/10/2004.

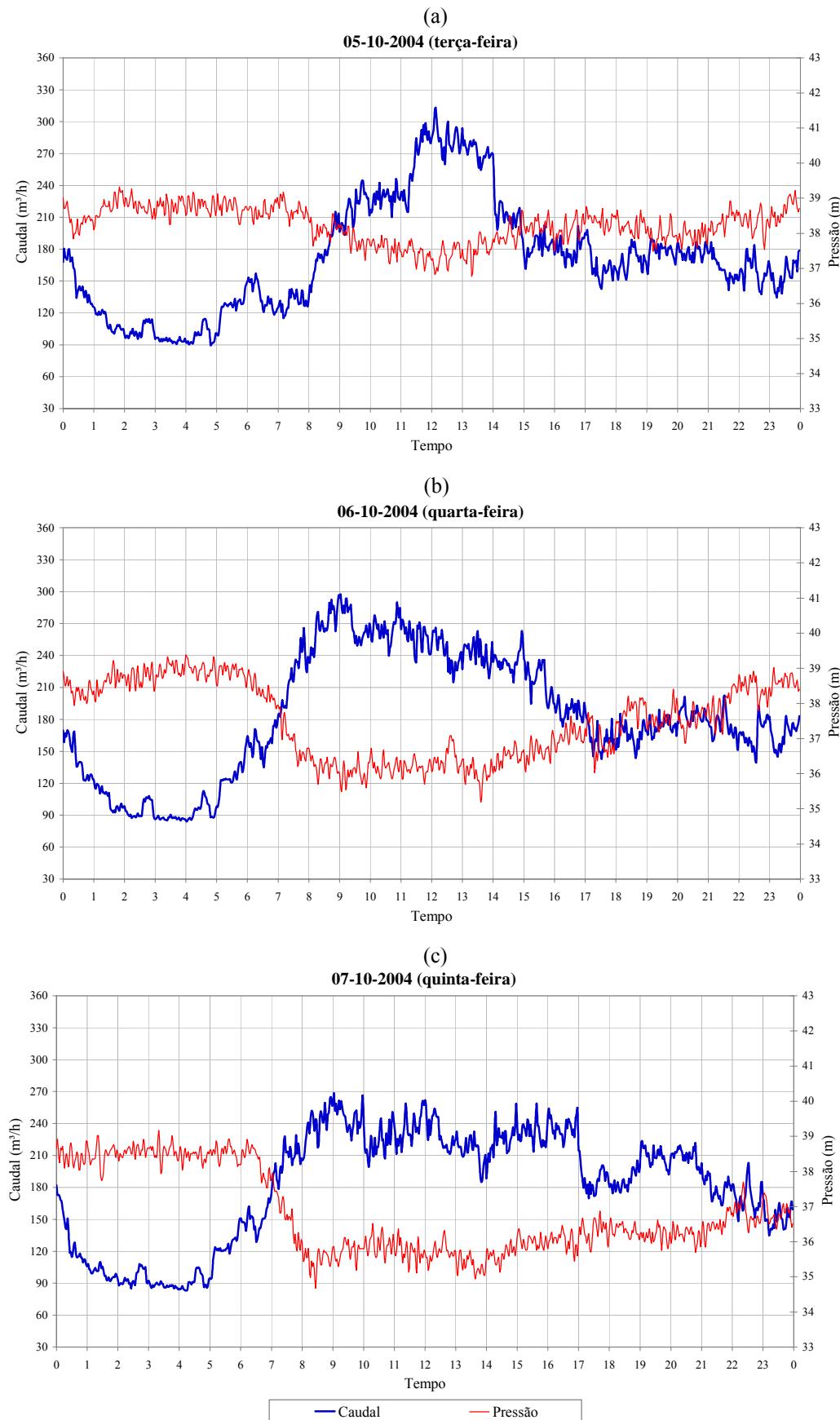


Figura A2.7 – Registos de caudal e pressão em (a) 05/10/2004, (b) 06/10/2004 e (c) 07/10/2004.

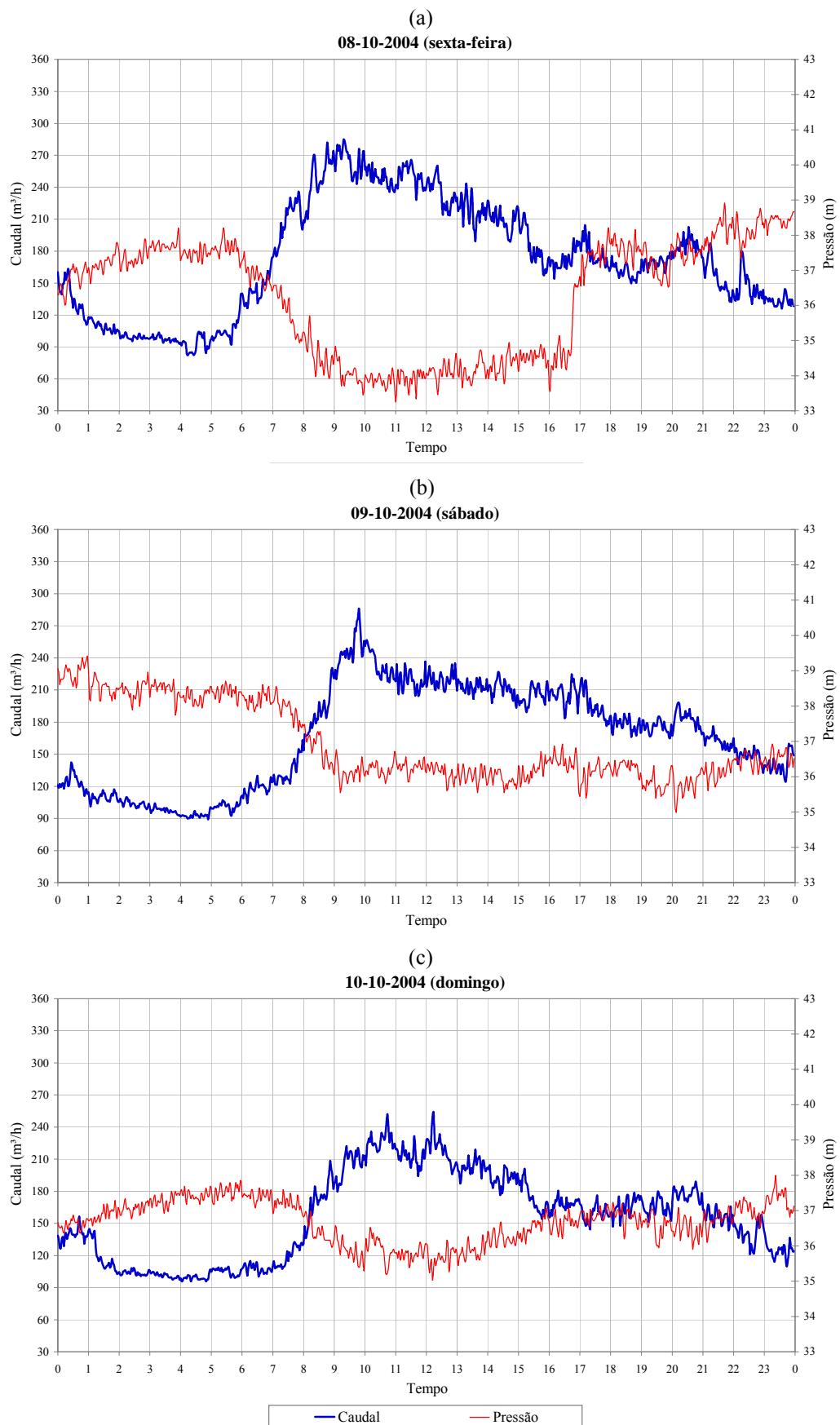


Figura A2.8 – Registros de caudal e pressão em (a) 08/10/2004, (b) 09/10/2004 e (c) 10/10/2004.

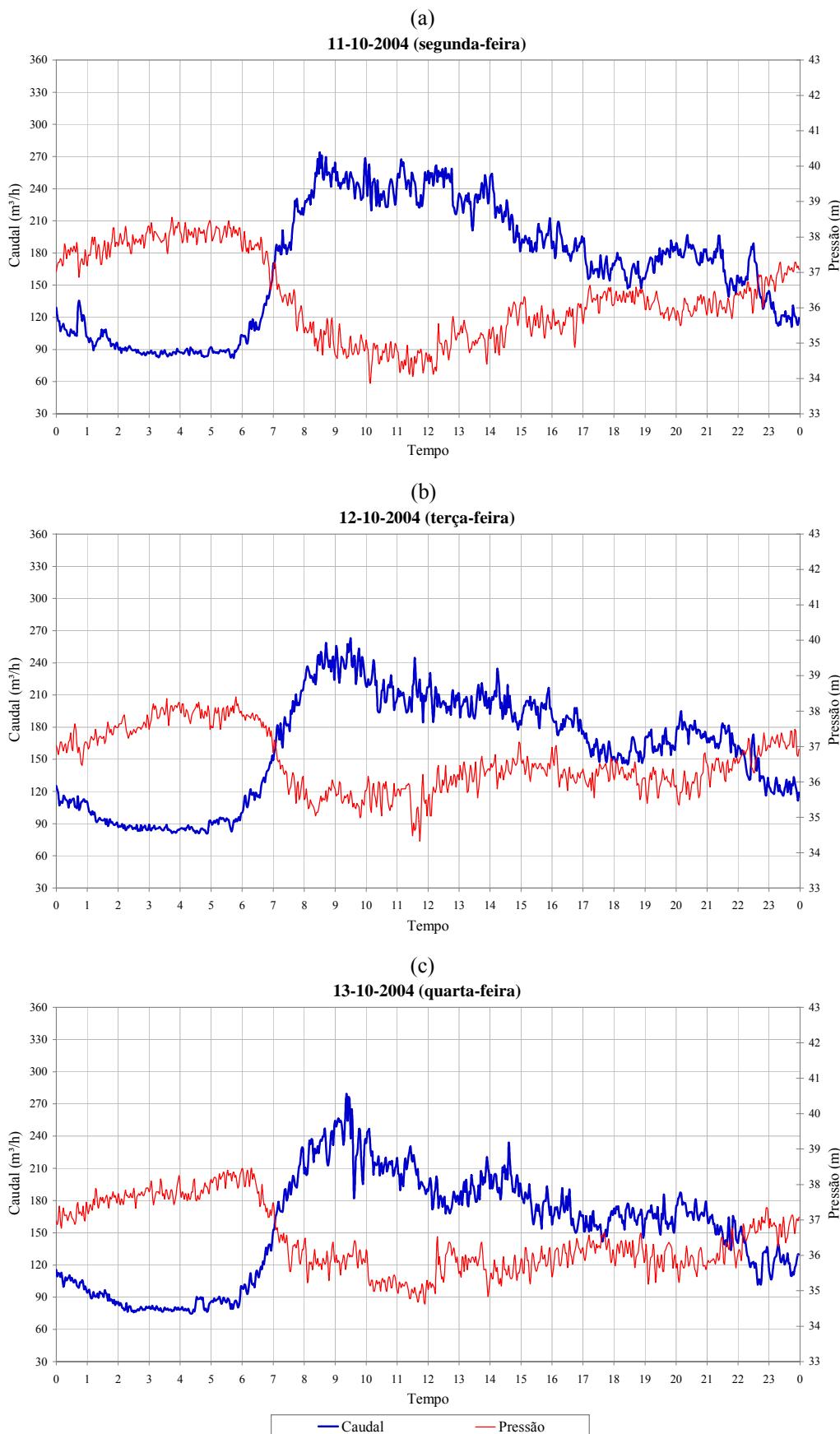


Figura A2.9 – Registos de caudal e pressão em (a) 11/10/2004, (b) 12/10/2004 e (c) 13/10/2004.

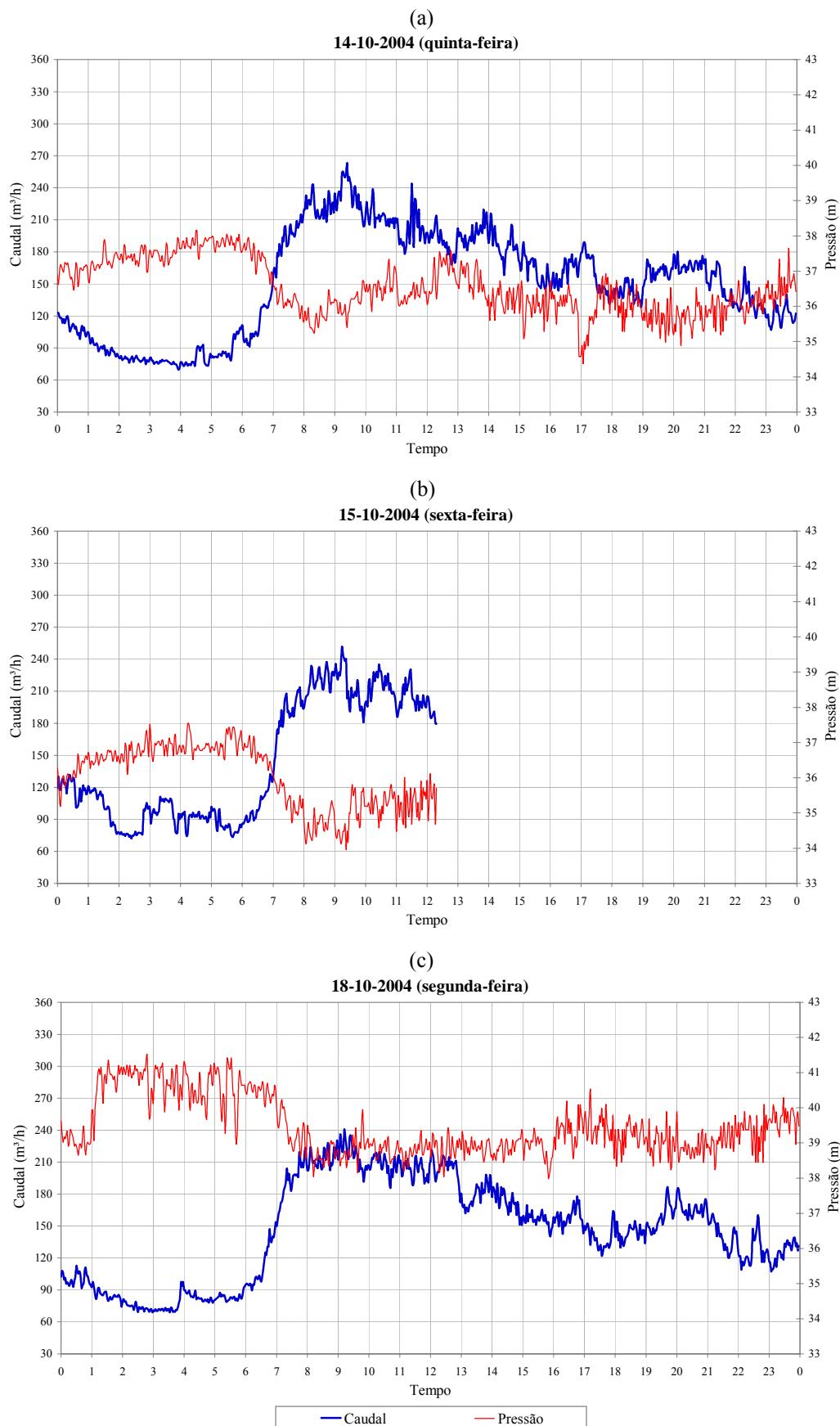


Figura A2.10 – Registos de caudal e pressão em (a) 14/10/2004, (b) 15/10/2004 e (c) 18/10/2004.

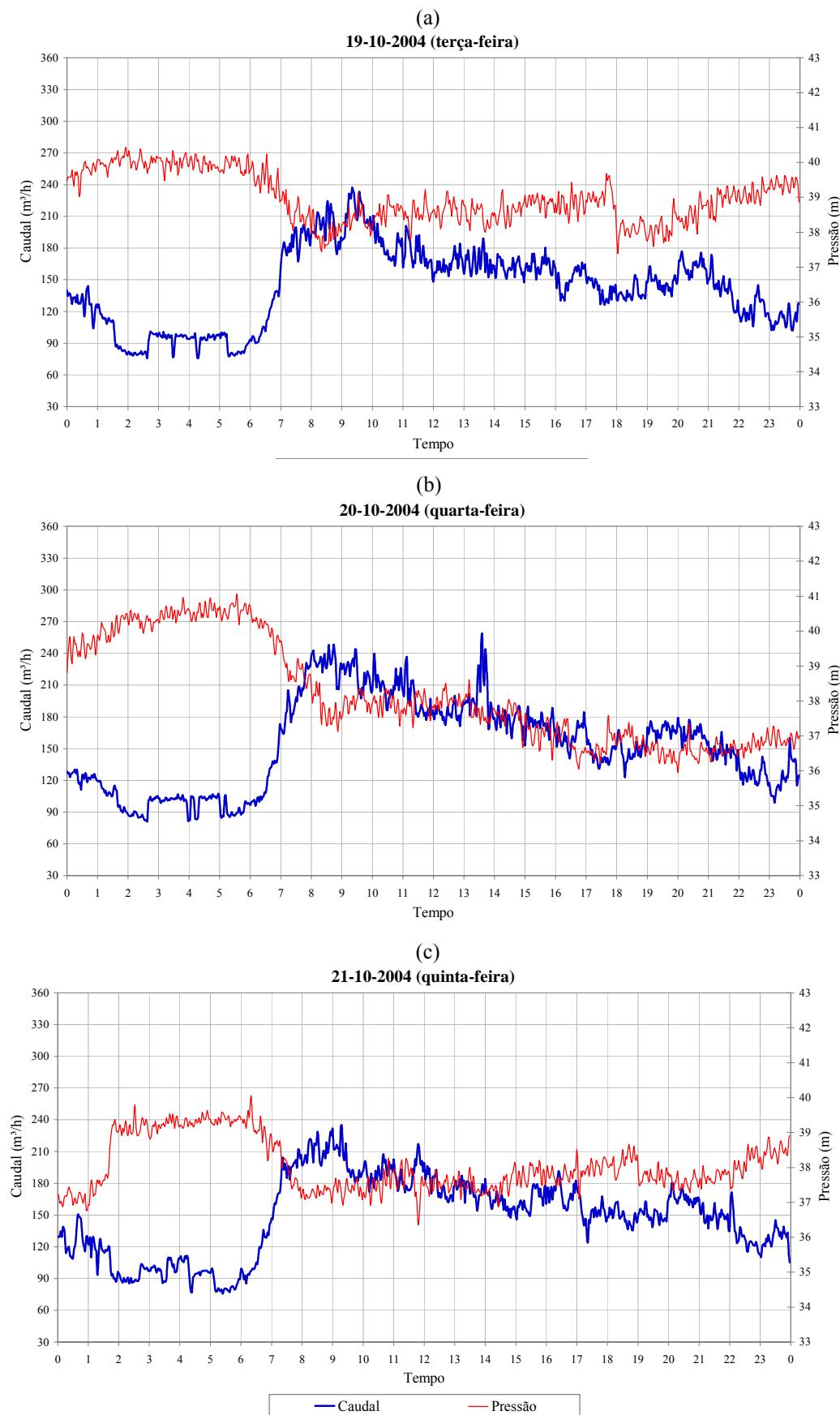


Figura A2.11 – Registos de caudal e pressão em (a) 19/10/2004, (b) 20/10/2004 e (c) 21/10/2004.

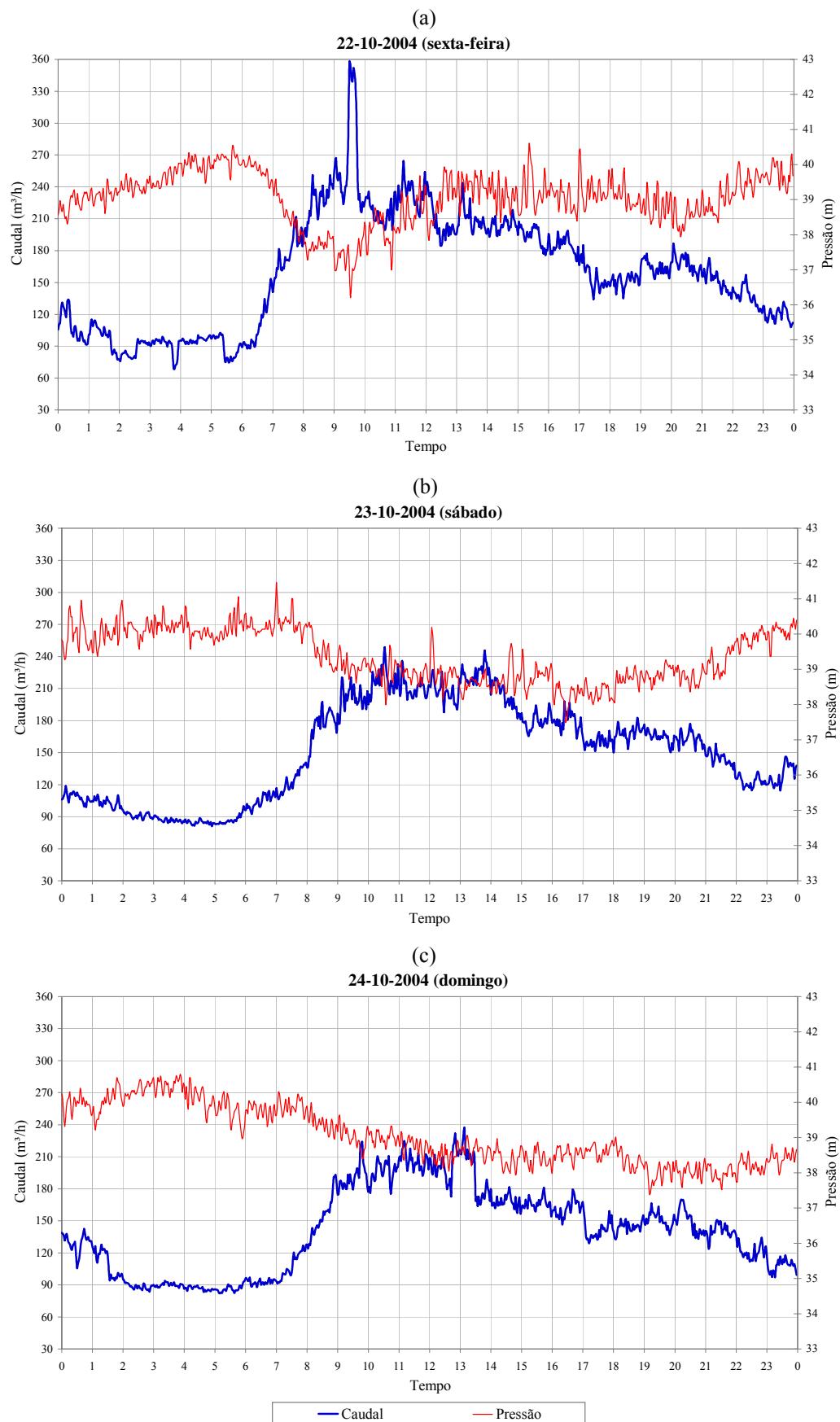


Figura A2.12 – Registos de caudal e pressão em (a) 22/10/2004, (b) 23/10/2004 e (c) 24/10/2004.

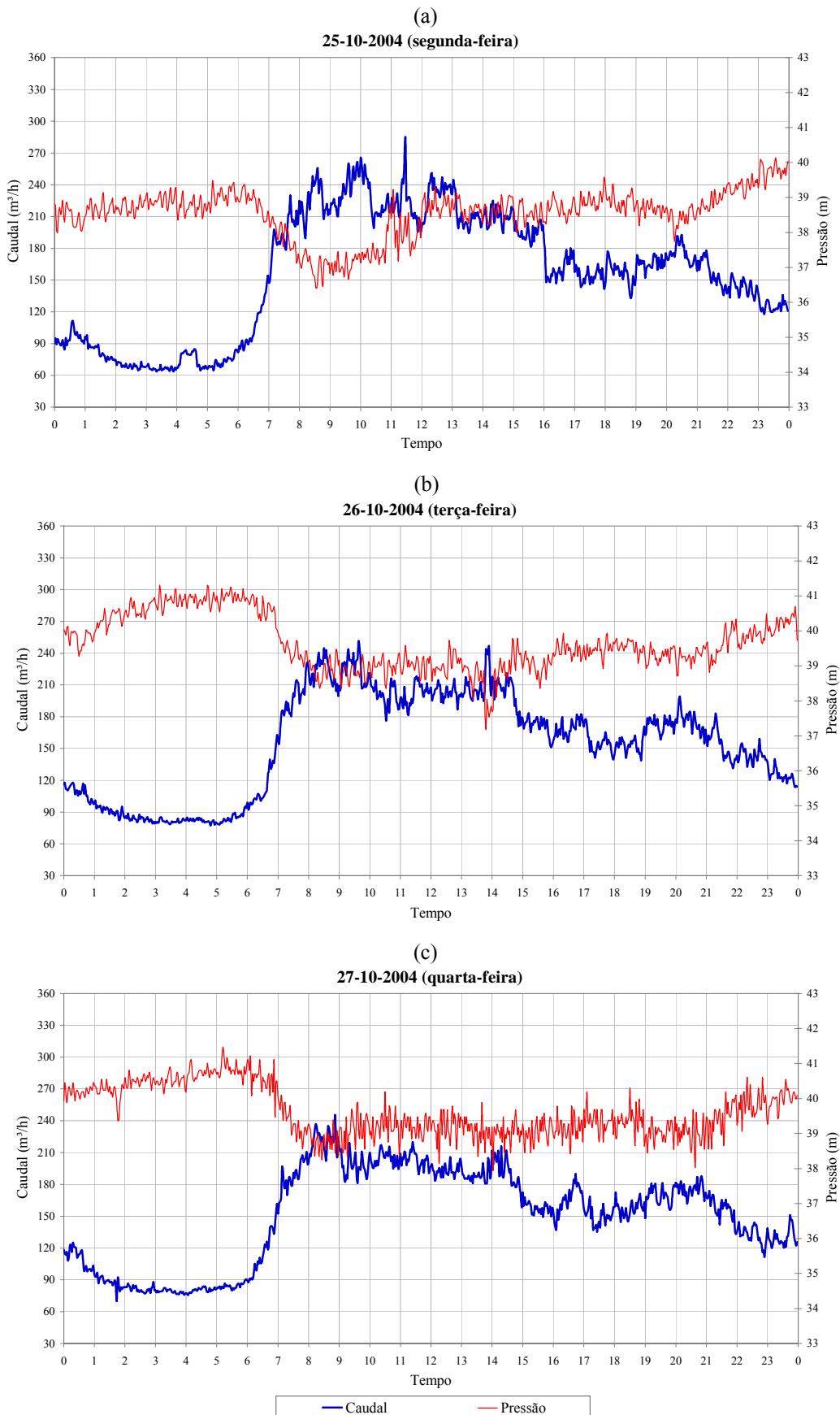


Figura A2.13 – Registos de caudal e pressão em (a) 25/10/2004, (b) 26/10/2004 e (c) 27/10/2004.

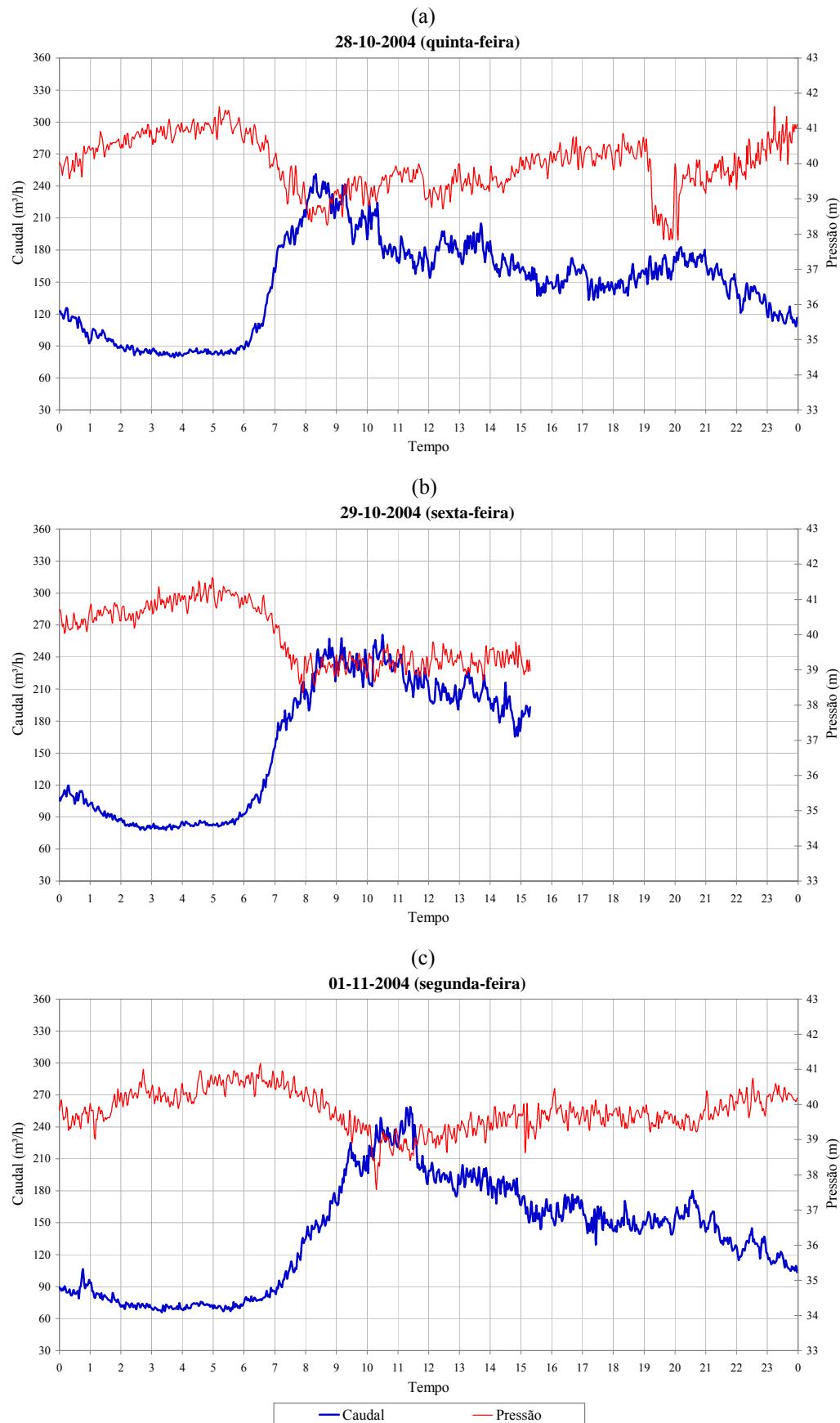


Figura A2.14 – Registos de caudal e pressão em (a) 28/10/2004, (b) 29/10/2004 e (c) 01/11/2004.

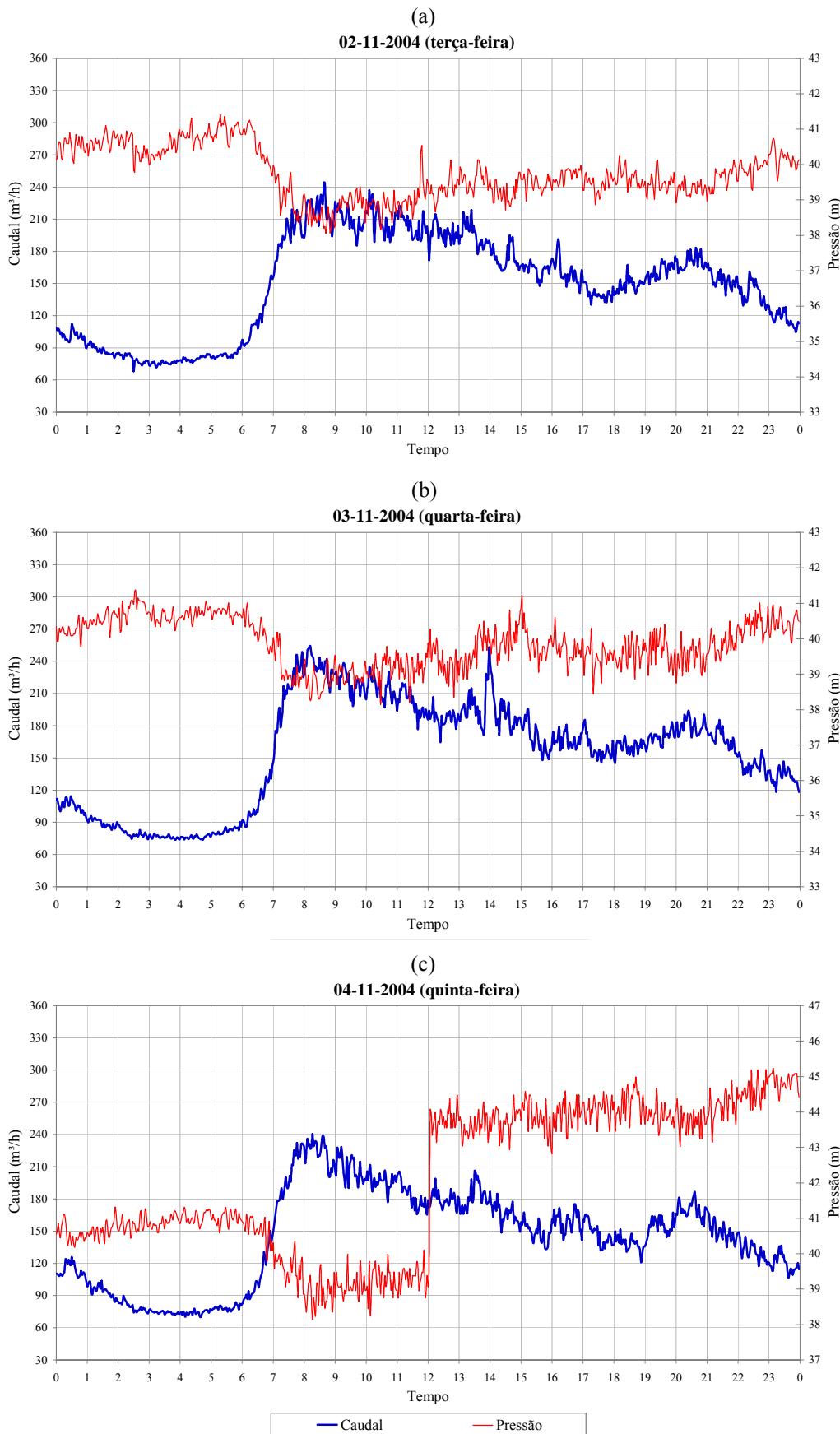


Figura A2.15 – Registos de caudal e pressão em (a) 02/11/2004, (b) 03/11/2004 e (c) 04/11/2004.

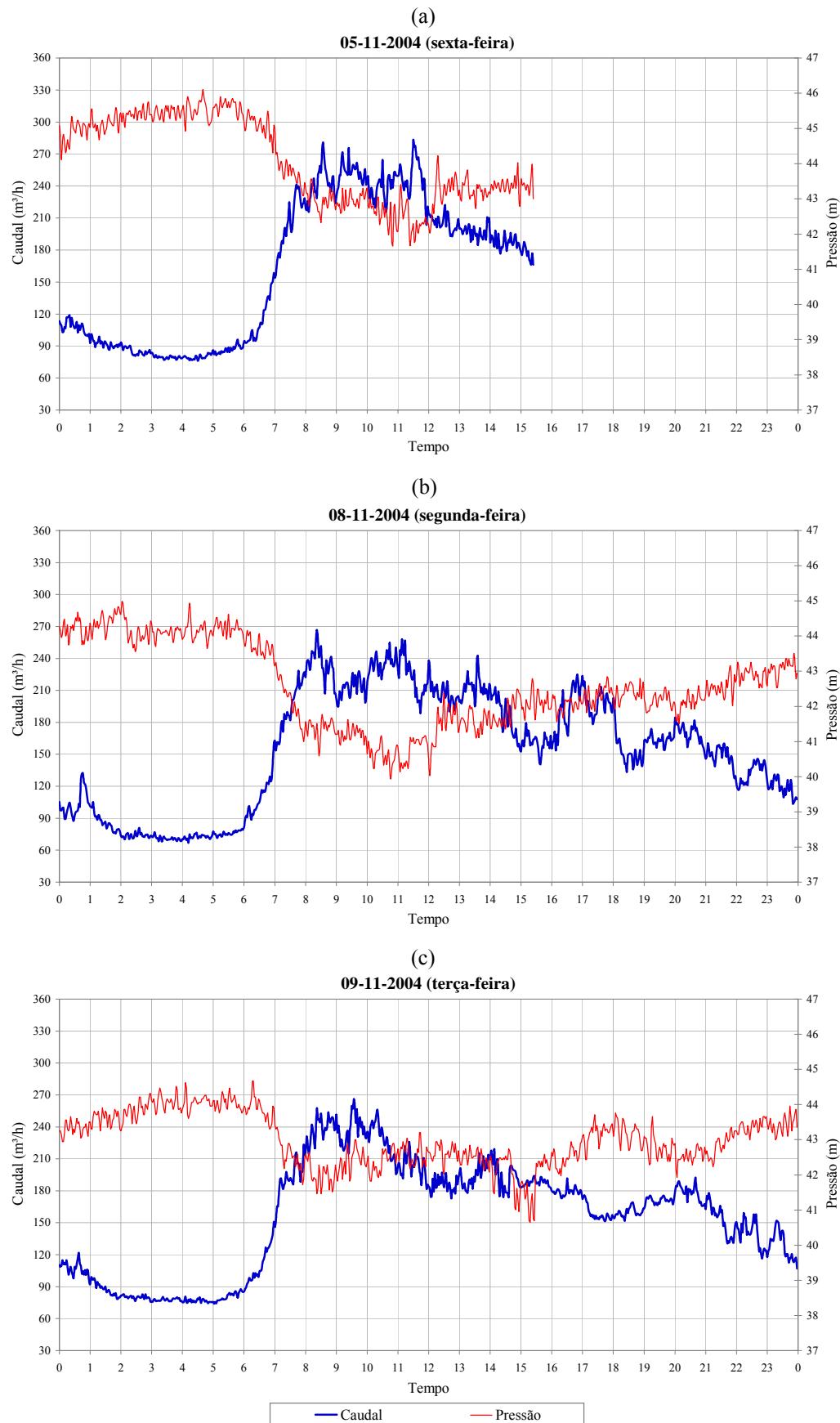


Figura A2.16 – Registos de caudal e pressão em (a) 05/11/2004, (b) 08/11/2004 e (c) 09/11/2004.

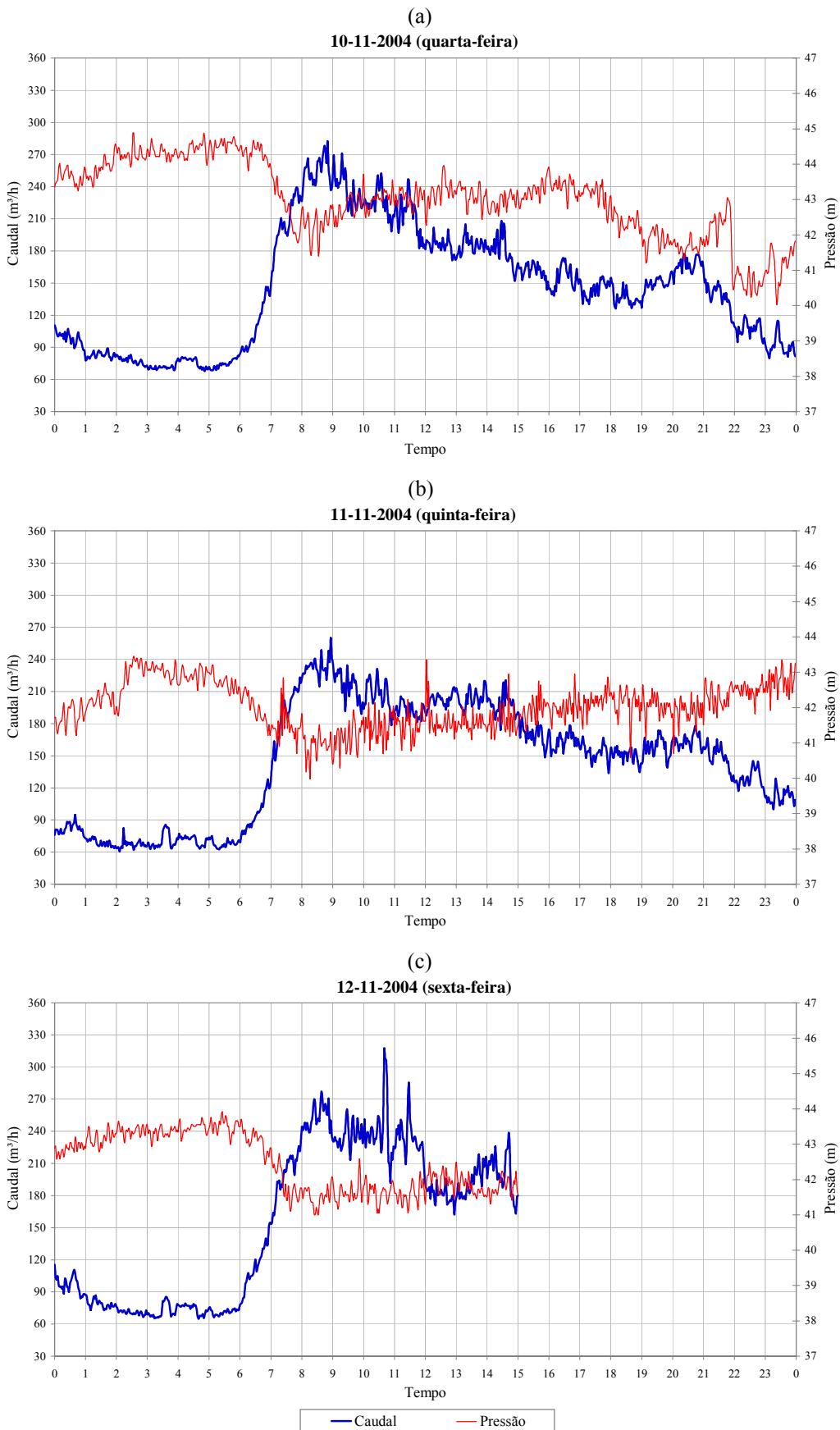


Figura A2.17 – Registos de caudal e pressão em (a) 10/11/2004, (b) 11/11/2004 e (c) 12/11/2004.



### **ANEXO 3 REGISTOS DE CONSUMO DO JARDIM ZOOLÓGICO DURANTE A 5<sup>a</sup> SEMANA DA CAMPANHA DE DETECÇÃO DE FUGAS**

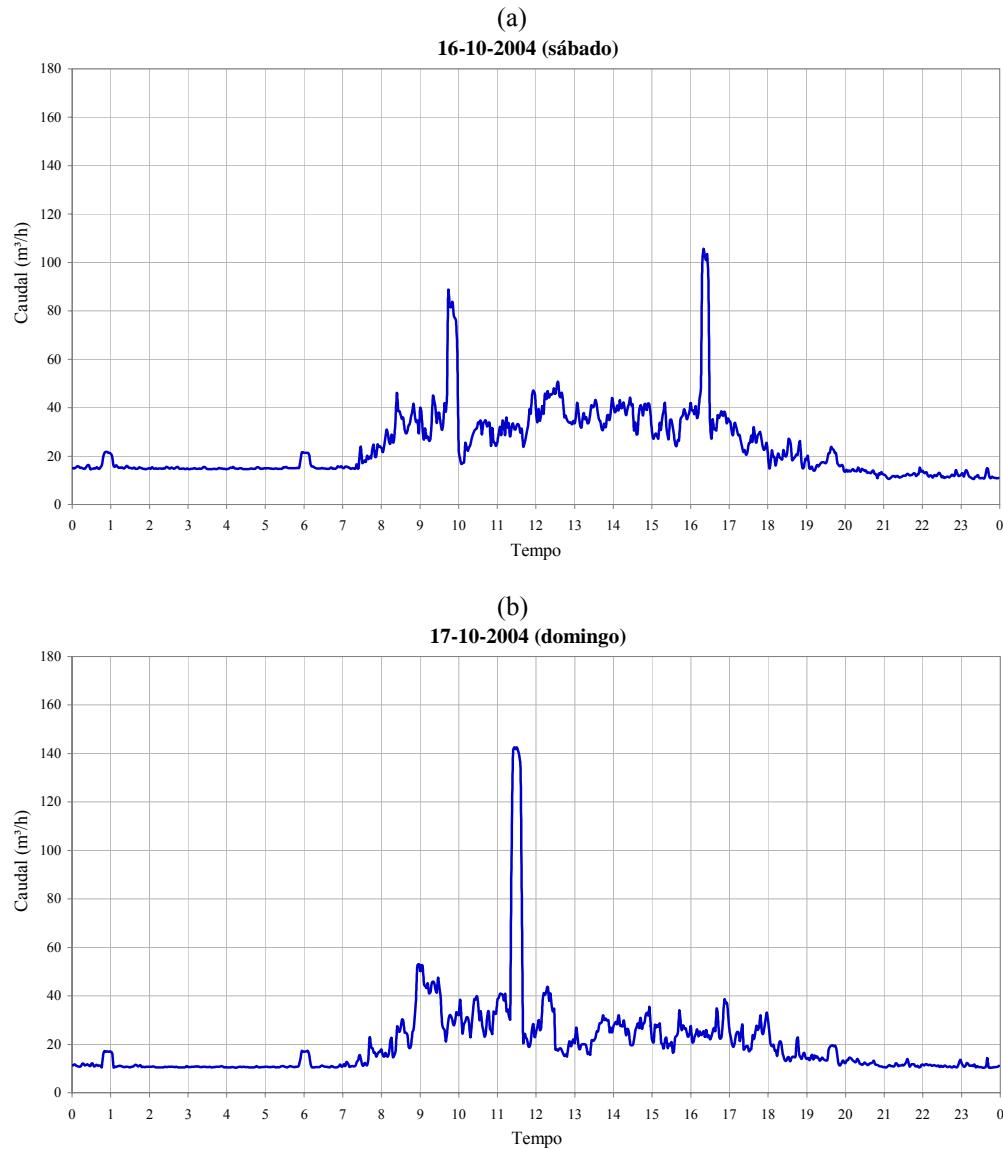


Figura A3.1 – Registos de caudal em (a) 16/10/2004 e (b) 17/10/2004.

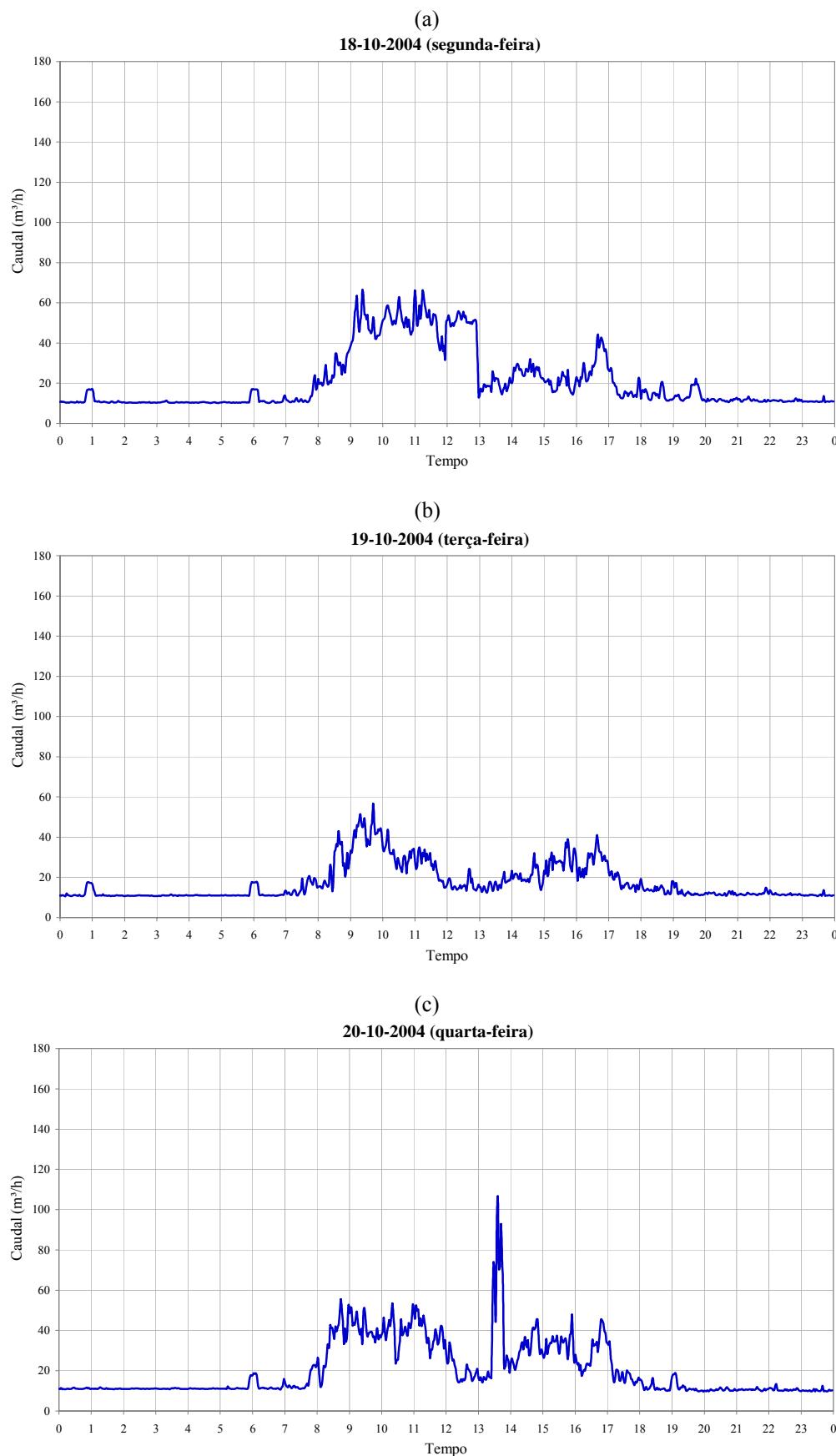


Figura A3.2 – Registos de caudal em (a) 18/10/2004, (b) 19/10/2004 e (c) 20/10/2004.

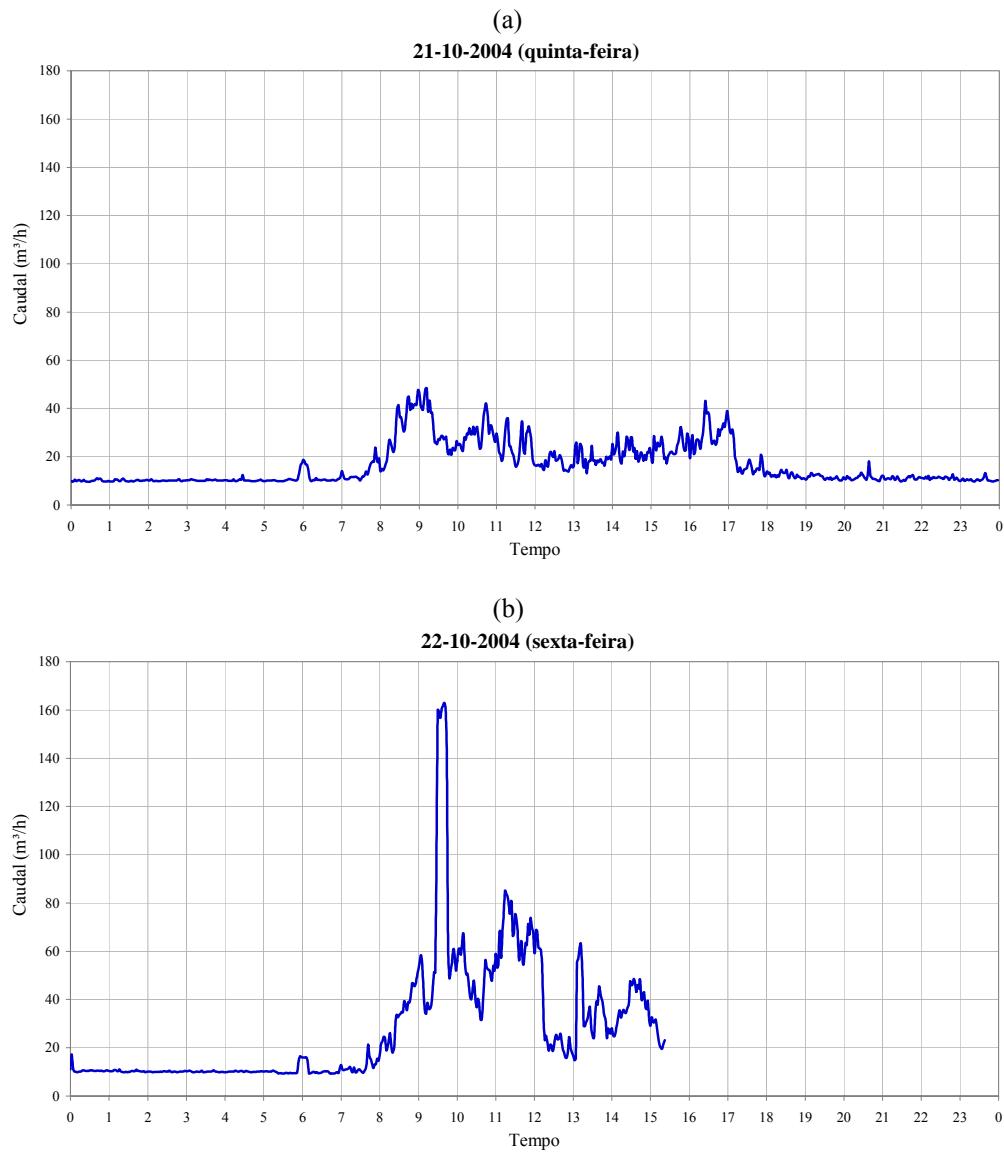


Figura A3.3 – Registos de caudal em (a) 21/10/2004 e (b) 22/10/2004.



## ANEXO 4 AGRUPAMENTO DAS CURVAS DE CONSUMO POR DIA DA SEMANA

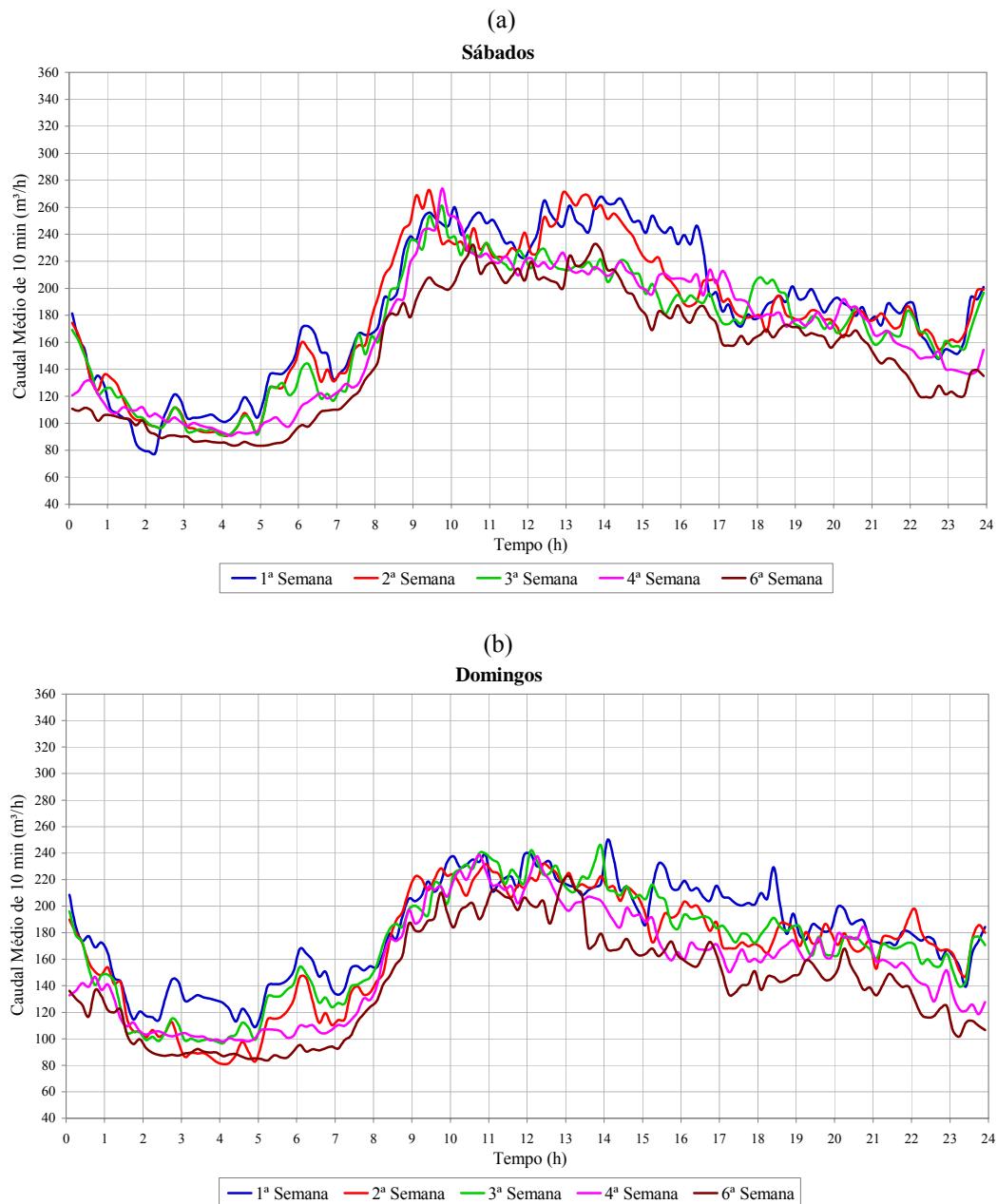


Figura A4.1 – Curvas de consumo diário dos (a) sábados e (b) domingos.

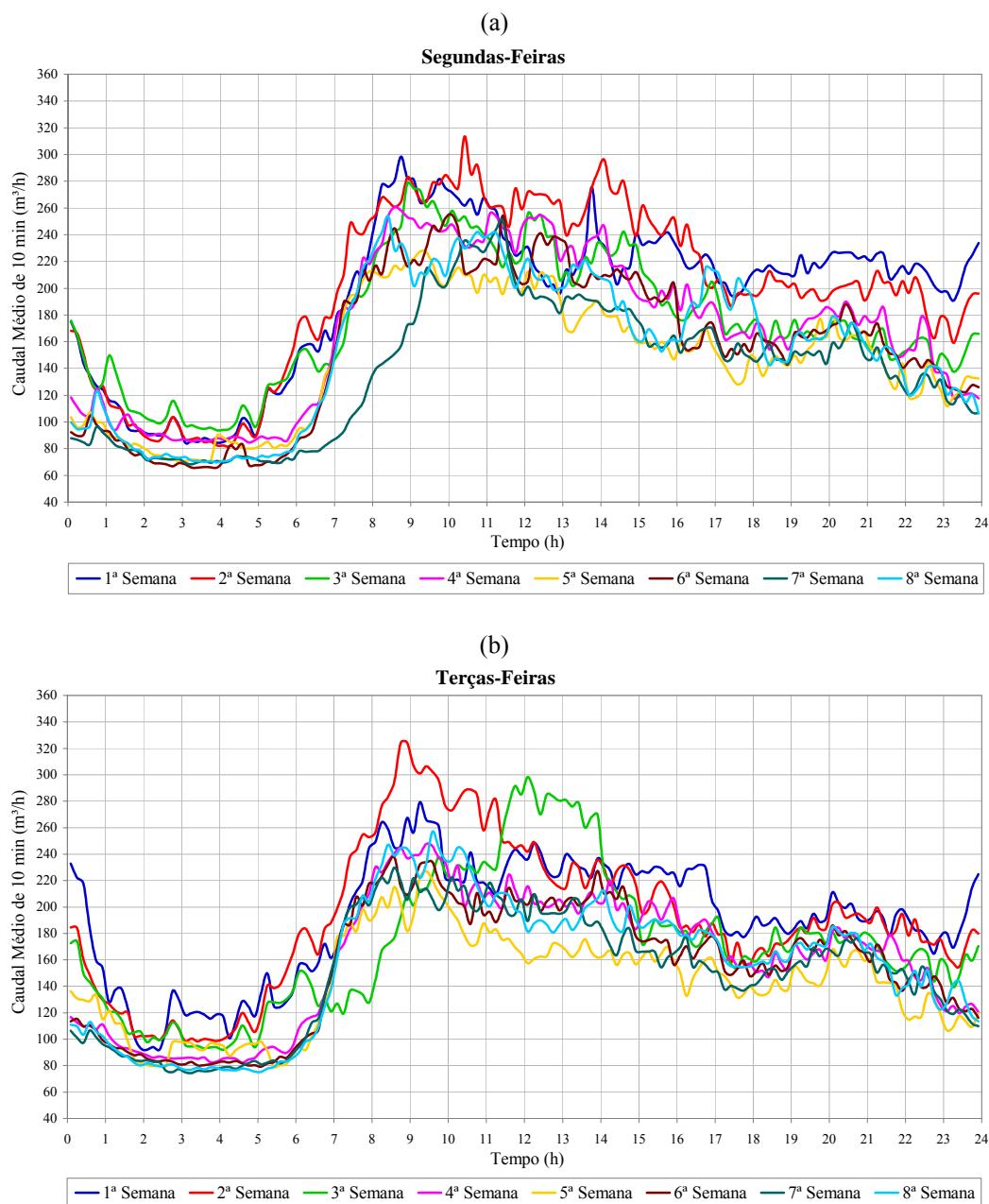


Figura A4.2 – Curvas de consumo diário das (a) segundas-feiras e (b) terças-feiras.

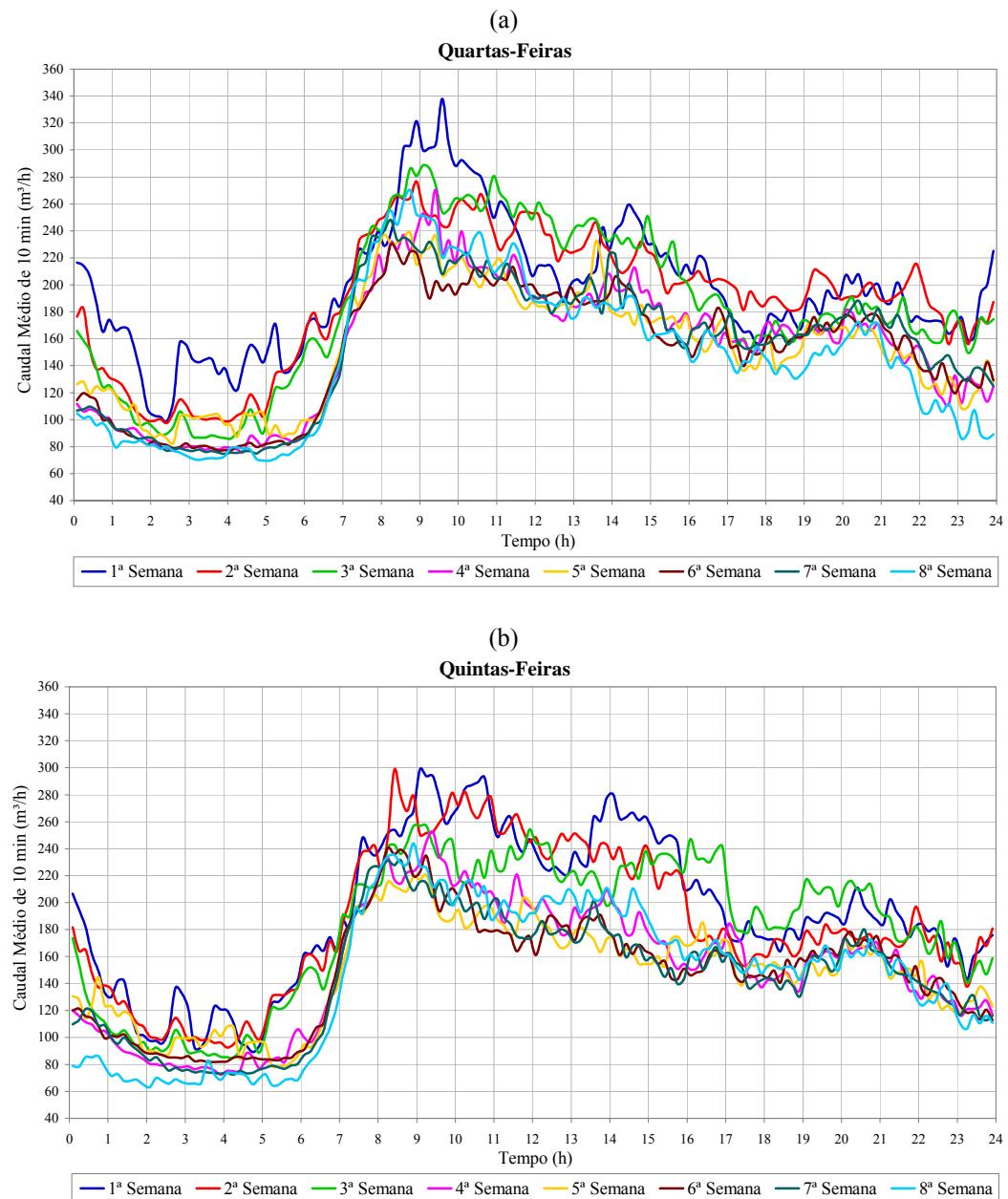


Figura A4.3 – Curvas de consumo diário das (a) quartas-feiras e (b) quintas-feiras.

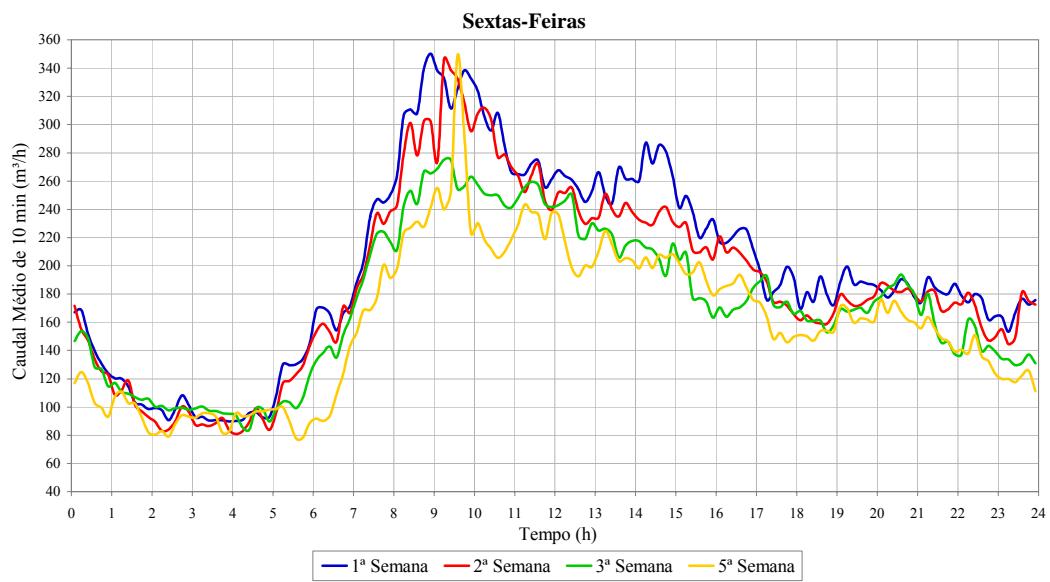


Figura A4.4 – Curvas de consumo diário das sextas-feiras.

## ANEXO 5 AGRUPAMENTO DAS CURVAS DE CONSUMO POR SEMANA DE CAMPANHA

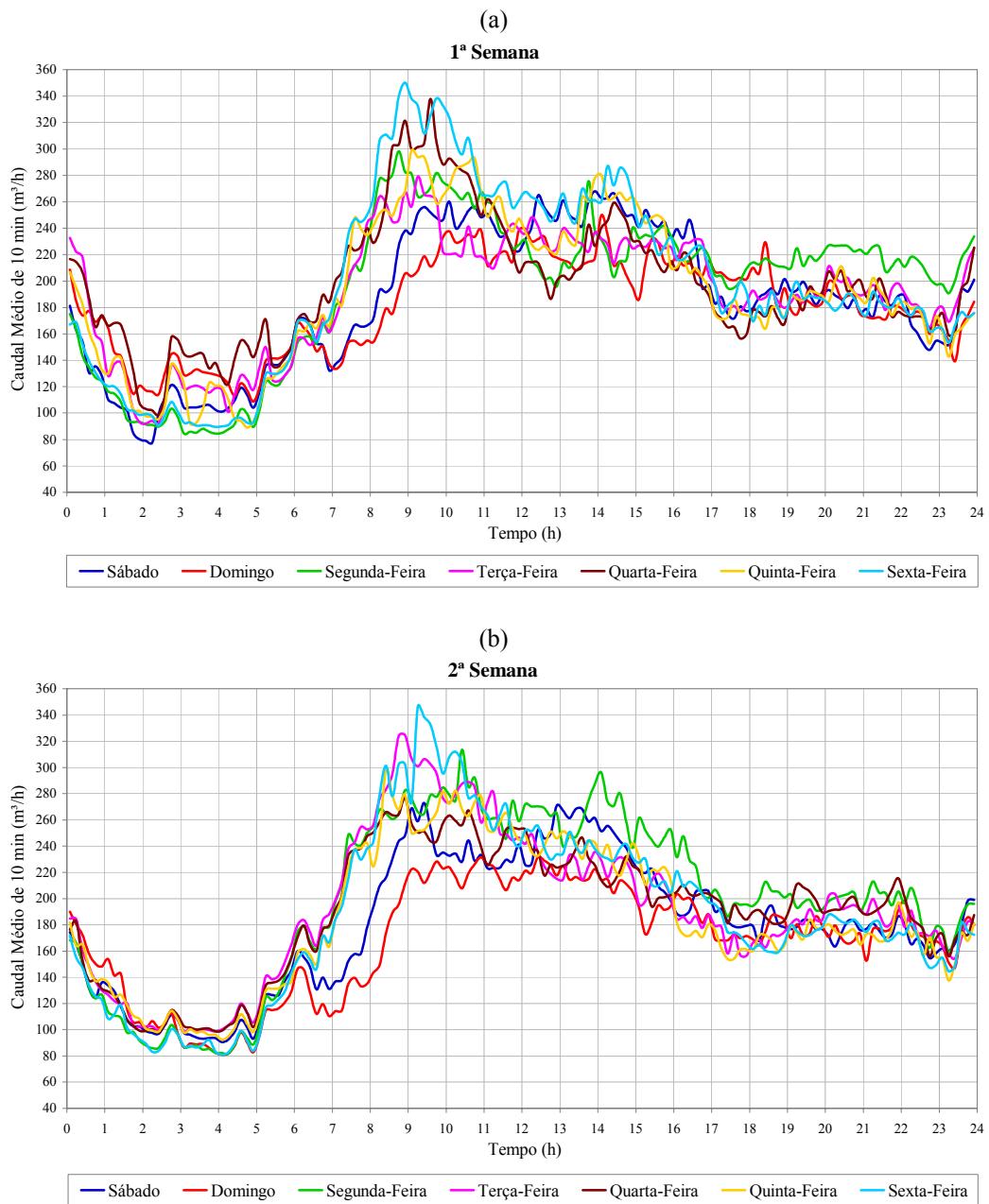


Figura A5.1 – Curvas de consumo diário da (a) 1<sup>a</sup> semana e (b) 2<sup>a</sup> semana.

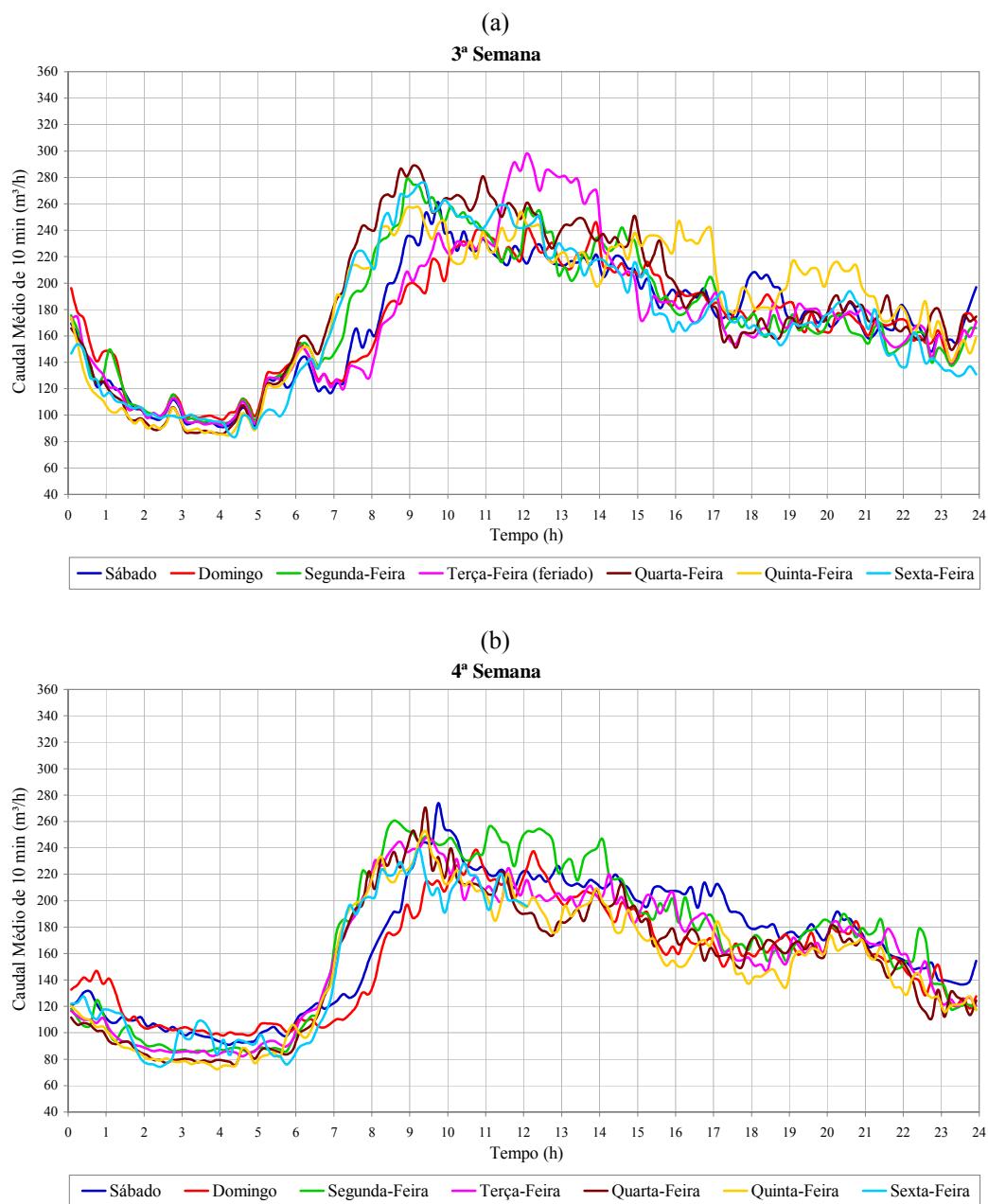


Figura A5.2 – Curvas de consumo diário da (a) 3<sup>a</sup> semana e (b) 4<sup>a</sup> semana.

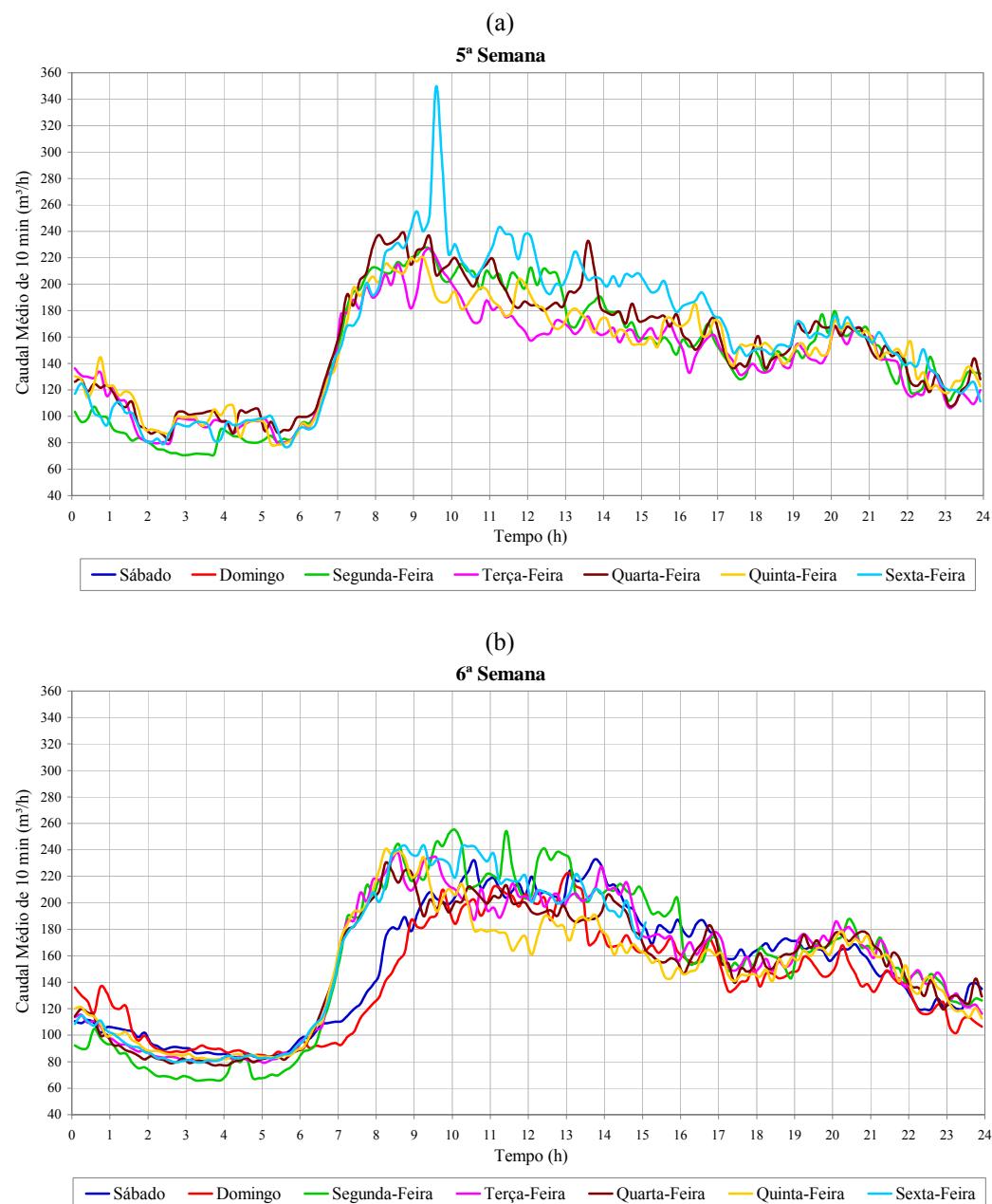


Figura A5.3 – Curvas de consumo diário da (a) 5<sup>a</sup> semana e (b) 6<sup>a</sup> semana.

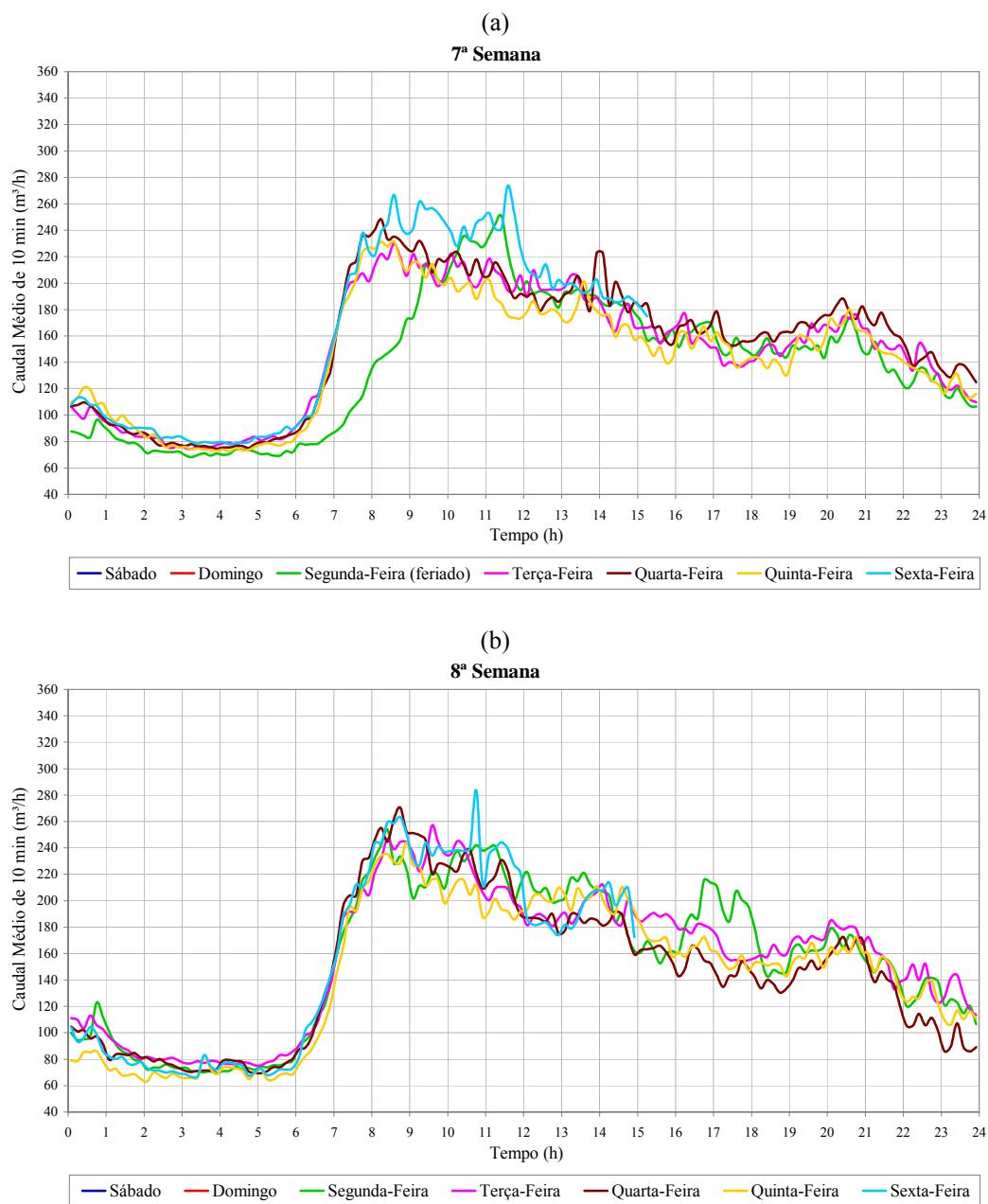


Figura A5.4 – Curvas de consumo diário da (a) 7<sup>a</sup> semana e (b) 8<sup>a</sup> semana.

## ANEXO 6 PARCELAS DO CONSUMO DIÁRIO NA ZMC 320

Quadro A6.1 – Parcelas do consumo diário na ZMC 320 – antes das reparações, em m<sup>3</sup>/h.

<b>Tempo (h)</b>	<b>Água Entrada no Sistema</b>	<b>Perdas Aparentes + Consumo Autorizado não Facturado + Consumo Facturado</b>	<b>Perdas Reais</b>	<b>Consumo Facturado</b>	<b>Perdas Aparentes + Consumo Autorizado não Facturado</b>	<b>Consumo não Facturado</b>
0	170.5	115.3	55.1	61.3	54.0	109.1
1	121.1	64.0	57.1	30.1	33.9	91.0
2	107.0	49.1	57.9	21.0	28.0	86.0
3	109.2	51.2	58.0	22.4	28.8	86.8
4	108.5	50.5	58.1	21.9	28.6	86.6
5	132.2	74.4	57.8	36.4	38.0	95.8
6	165.2	108.8	56.4	57.3	51.5	107.9
7	214.6	162.3	52.3	89.8	72.4	124.7
8	275.1	227.1	48.0	129.3	97.8	145.8
9	289.4	241.8	47.6	138.2	103.6	151.2
10	268.7	220.0	48.7	124.9	95.1	143.8
11	244.3	194.7	49.6	109.5	85.2	134.8
12	226.5	175.6	50.8	97.9	77.7	128.5
13	237.4	187.0	50.4	104.9	82.1	132.5
14	246.8	197.1	49.7	111.0	86.1	135.8
15	231.8	180.8	51.0	101.1	79.7	130.7
16	215.2	163.1	52.1	90.3	72.8	124.8
17	183.0	129.9	53.1	70.1	59.7	112.8
18	185.5	132.4	53.1	71.7	60.7	113.8
19	194.5	141.8	52.7	77.4	64.4	117.1
20	200.9	148.9	52.0	81.7	67.2	119.2
21	193.3	140.5	52.8	76.6	63.9	116.7
22	181.0	127.2	53.9	68.5	58.6	112.5
23	184.3	130.0	54.3	70.3	59.7	114.1
24	170.5	115.3	55.1	61.3	54.0	109.1
<b>Média Diária</b>	<b>195.2</b>	<b>142.2</b>	<b>53.0</b>	<b>77.7</b>	<b>64.6</b>	<b>117.6</b>

Quadro A6.2 – Parcelas do consumo diário na ZMC 320 – depois das reparações, em m<sup>3</sup>/h.

<b>Tempo (h)</b>	<b>Água Entrada no Sistema</b>	<b>Perdas Aparentes + Consumo Autorizado não Facturado + Consumo Facturado</b>	<b>Perdas Reais</b>	<b>Consumo Facturado</b>	<b>Perdas Aparentes + Consumo Autorizado não Facturado</b>	<b>Consumo não Facturado</b>
0	97.9	58.2	39.7	31.0	27.2	66.9
1	81.4	41.1	40.2	21.7	19.5	59.7
2	74.7	34.0	40.7	17.8	16.3	57.0
3	72.6	31.7	40.9	16.5	15.2	56.1
4	74.1	33.3	40.9	17.4	15.9	56.8
5	74.7	33.9	40.9	17.7	16.2	57.0
6	105.9	65.8	40.1	35.2	30.6	70.7
7	194.2	156.7	37.5	85.0	71.7	109.2
8	240.8	204.6	36.2	111.3	93.3	129.5
9	226.0	189.2	36.8	102.9	86.4	123.1
10	223.9	187.2	36.7	101.7	85.4	122.1
11	208.0	170.9	37.1	92.8	78.1	115.2
12	195.1	157.6	37.5	85.5	72.1	109.6
13	199.2	161.7	37.5	87.8	73.9	111.4
14	189.7	152.3	37.4	82.6	69.7	107.1
15	170.3	132.5	37.8	71.8	60.7	98.6
16	172.0	133.9	38.1	72.5	61.4	99.4
17	163.5	124.9	38.6	67.6	57.3	95.9
18	149.8	111.3	38.4	60.2	51.2	89.6
19	160.0	122.1	37.9	66.1	56.1	93.9
20	169.9	132.4	37.5	71.7	60.7	98.2
21	147.5	109.2	38.3	59.0	50.2	88.5
22	126.9	88.5	38.4	47.6	40.9	79.3
23	112.2	73.4	38.9	39.3	34.0	72.9
24	97.9	58.2	39.7	31.0	27.2	66.9
<b>Média Diária</b>	<b>151.3</b>	<b>112.8</b>	<b>38.5</b>	<b>60.9</b>	<b>51.8</b>	<b>90.3</b>

## **PEÇAS DESENHADAS**



# DESENHO 1 REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA DA ZONA DE MEDIÇÃO E CONTROLO DE SÃO DOMINGOS DE BENFICA – ZMC 320

