

**CARACTERIZAÇÃO DAS PERDAS NO SISTEMA DE
ABASTECIMENTO D'ÁGUA DO MUNICÍPIO DE
QUEIMADAS – PARAÍBA**

JOSÉ LIMA DE OLIVEIRA JÚNIOR

**CAMPINA GRANDE - PARAÍBA
2005**

**“CARACTERIZAÇÃO DAS PERDAS NO SISTEMA DE ABASTECIMENTO
D’ÁGUA DO MUNICÍPIO DE QUEIMADAS – PARAÍBA”**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado
em Engenharia Civil da Universidade Federal
de Campina Grande, em cumprimento às
exigências para obtenção do Grau de Mestre.

Área de Concentração: RECURSOS HÍDRICOS
Sub-Área: ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL.

Orientador: Professor Rui de Oliveira – M.Eng., PhD.
Co-orientador: Eng^o. Adalberto Aragão de Albuquerque - M.Eng.

CAMPINA GRANDE – PARAÍBA
2005



048c Oliveira Júnior, José Lima de.
Caracterização das perdas no sistema de abastecimento d'água do município de Queimadas - Paraíba / José Lima de Oliveira Júnior. - Campina Grande, 2005.
104 f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia, 2005.
"Orientação : Prof. Dr. Rui de Oliveira, Prof. M.Sc. Adalberto Aragão de Albuquerque".
Referências.

1. Perdas de Água - Queimadas - PB. 2. Sistema de Abastecimento de Água. 3. Escassez de Água. 4. Dissertação - Meteorologia. I. Oliveira, Rui de. II. Albuquerque, Adalberto Aragão de. III. Universidade Federal de Campina Grande - Campina Grande (PB). IV. Título

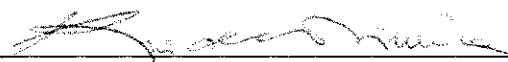
CDU 628.179.3(813.3)(043)

JOSÉ LIMA DE OLIVEIRA JÚNIOR

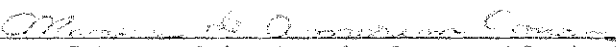
“CARACTERIZAÇÃO DAS PERDAS NO SISTEMA DE ABASTECIMENTO D’ÁGUA
DO MUNICÍPIO DE QUEIMADAS – PARAÍBA”

Dissertação aprovada em: ____ / ____ / ____

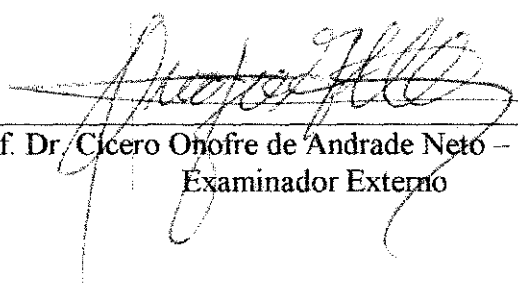
COMISSÃO EXAMINADORA



Prof. Dr. Rui de Oliveira – CCT / UFCG
Orientador



Prof.ª Dra. Mônica Amorim Coura – CCT / UFCG.
Examinador Interno



Prof. Dr. Cicero Onofre de Andrade Neto – CT / UFRN.
Examinador Externo

Campina Grande – PB
Maio/2005

Dedico este trabalho:

A meu Senhor e Salvador Jesus Cristo, por suas incontáveis fortalezas.

A Adriana, minha esposa, sem a qual não seria "conhecido nas portas" nem metade do que sou e do que ainda posso ser.

Aos meus filhos, que acompanham meus sucessos e derrotas, aprendendo com eles.

A meu Pai, que me ensinou os "quatro V's" da vida.

A minha mãe, que me ensinou a não querer mais do que convém.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a meu Senhor e Salvador Jesus Cristo, sem o qual já teria perecido de há muito, face às angustiosas batalhas por mim vividas ultimamente.

A minha esposa e filhos que, sofrendo junto comigo, decidiram e aceitaram suportar mais esta árdua etapa de nosso convívio.

Aos meus pais, por terem me corrigido como bem lhes parecia para meu aproveitamento.

Ao professor Dr. Rui de Oliveira, pela orientação que transcendia o escopo deste trabalho.

À professora Dra. Mônica Coura por me ajudar gentilmente com o scaneamento das fotos e esquemas.

Ao M.Eng. M.Sc. Adalberto Aragão da CAGEPA, por abrir as portas da Empresa, mesmo diante de todas as dificuldades surgidas.

Ao Engo. Simão da CAGEPA, por colaborar pelo simples desejo de ser útil.

À Técnica Dalcira, por deixar claro, desde o princípio, que estava torcendo pelo sucesso do meu trabalho.

Ao Encarregado de Escritório Márcio (CAGEPA - Queimadas), pela contribuição imprescindível.

Ao Funcionário Janailton pela sua imprescindível ajuda.

Aos colegas distantes, Abal Magalhães (EMBASA), Elton Gonçalves (DMAE), Vilmar Viegas pela disposição e auxílio.

À Prof. Luisa Reis pela presteza com que me recebeu no IV SEREA, dedicando seu precioso tempo para me tirar dúvidas e me ajudar na sugestão de como melhor fazer o trabalho.

Ao meu colega Engo. M.Sc. José Beldson por me influenciar positivamente na consecução deste mestrado.

Aos colegas do CEFET - CE - UNED Juazeiro do Norte - pelo apoio e torcida.

A Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)

À Professora Márcia Ribeiro pela disposição em me ceder seus livros e me apoiar com sugestões úteis à melhora do trabalho.

Ao Pr. Jonathan McLain por ter ido comigo de madrugada fazer a leitura num dia crítico, e pelo apoio para tirar as fotografias digitais e ajudar na correção do Abstract.

À CAPES pelo apoio financeiro, sem o qual a realização deste trabalho tornar-se-ia praticamente inviável.

A Wanderson e Luciana por me permitirem morar com eles, à custa de uma forçosa perda de sua privacidade, nos seis primeiros meses do Mestrado, dificilimos que foram, quando fiquei sem minha família;

A todas as pessoas que nunca duvidaram que eu seria capaz de realizar esta singela, porém importante tarefa.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	i
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	vi
LISTA DE TABELAS	x
LISTA DE ABREVIACÕES	xii
RESUMO	xiv
ABSTRACT	xv
CAPÍTULO 1	01
INTRODUÇÃO	01
CAPÍTULO 2	03
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	03
2.0 – -Panorama das perdas e da escassez de água	03
2.1 – Perdas em sistemas de abastecimento d'água	05
2.1.1 – Panorama mundial da situação da escassez de água	05
2.1.2 – Panorama mundial das perdas nos sistemas de abastecimento	08
2.1.3 – Panorama nacional das perdas nos sistemas de abastecimento	09
2.2.0 – Perdas em sistemas de abastecimento	11
2.2.1 – Definição	11
2.2.2 – Classificação das perdas	11
2.2.3 – Indicadores de perdas nos sistemas de abastecimento	13
Vazão Mínima Noturna	17
2.2.4 - Controle de perdas em sistemas de abastecimento	21
2.2.4.1 – Macromedição	23
2.2.4.1.1 – Instrumentos utilizados na Macromedição	23
Macromedidor	24
2.2.4.2 – Micromedição	26
2.2.4.3 – Setorização	28
2.2.4.4 – Controle de Pressão nas redes de abastecimento	29
2.2.4.5 – Pesquisa de Vazamentos	29
2.2.4.6 – Campanhas educativas e trabalhos comunitários	30
CAPÍTULO 3	31
MATERIAL E MÉTODOS	31
3.1 – Introdução	31

3.2 - Descrição geral do sistema estudado	31
3.2.1 – Município de Queimadas	30
3.2.2 – Caracterização do sistema de abastecimento	33
3.2.2.1 – Captação	33
3.2.2.2 – Adução	33
3.2.2.3 – Reservação	33
3.2.2.4 – Distribuição	34
3.2.2.5 – Ligações Prediais	34
3.3 – Descrição das atividades de medição e cálculo das perdas	36
3.3.1 – Medição de volumes fornecidos ao sistema (macromedição)	36
3.3.2 – Medição e estimativa de volumes consumidos no sistema	37
3.3.2.1 – Medição dos volumes consumidos micromedidos (micromedição).....	37
3.3.2.2 – Estimativa dos volumes consumidos e não medidos	37
3.4 – Metodologia para o cálculo dos indicadores de perdas no sistema	37
3.5 – Medição da pressão e vazão diária registrada	38
3.6 – Cálculo da vazão mínima noturna	39
3.7 - Estimativa das perdas físicas	40
3.8 – Estimativa das perdas não físicas	43
3.9 – Estimativa dos custos financeiros das perdas de água	43
CAPÍTULO 4	42
4.0 – Apresentação do conjunto de dados	42
4.1.0 – O Sistema de abastecimento d'água de Queimadas	42
4.2.0 - Séries históricas de macromedição e micromedição	47
4.2.1 – Volume fornecido	47
4.2.2 – Volumes consumidos	48
4.3.0 – Perfil do consumo de água no sistema de abastecimento	48
4.4.0 - Volumes perdidos no Sistema	52
4.4.1 – Volumes perdidos totais	52
4.4.2 – Estimativa das perdas físicas e não físicas	54
4.4.2.1 – Vazão Mínima Noturna	54
A) Expoente N e Fator Noite-Dia (FND)	54
B) Perdas físicas e aparentes	55
4.4.2.2 – Método da EMBASA	57
4.4.3 – Comparação entre os volumes perdidos	59

4.5.0 – Demonstrativo financeiro das perdas no sistema de abastecimento	62
CAPÍTULO 5	64
ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	64
5.1 – Considerações gerais	64
5.2 – Volumes distribuídos	65
5.3 – Volumes consumidos e perfil de consumo do sistema	67
5.4 – Volumes perdidos.	71
5.5 – Perdas físicas e não físicas.	74
Medições de pressão	74
Medição da Vazão Mínima Noturna	76
Método da EMBASA	78
5.6 – Comparação entre os métodos de estimativa	81
5.7 – Custos das perdas	84
CAPÍTULO 6	87
CONCLUSÃO	87
CAPÍTULO 7	89
RECOMENDAÇÕES	89
CAPÍTULO 8	90
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	90
APÊNDICE A	97

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1 – Pontos freqüentes de vazamentos em redes de distribuição.....	05
Figura 2.2 – Crescimento da população de países em desenvolvimento com acesso a água potável entre as décadas de 80 e 90	06
Figura 2.3 – Atividades para redução de perdas físicas	16
Figura 2.4 – Vazão mínima noturna média em função da pressão média do setor.....	18
Figura 2.5 – Medidor do tipo Woltmann.....	24
Figura 2.6 – Medidor tipo proporcional utilizado na CAGEPA – Paraíba.....	25
Figura 2.7 - Medidor de transmissão magnética.....	25
Figura 2.8 - Micromedidor típico instalado no sistema de Queimadas-PB.....	26
Figura 2.9 - Influência da instalação do hidrômetro no consumo <i>per capita</i>	27
Figura 3.1 - Esquema geral do sistema de abastecimento da cidade de Queimadas ...	31
Figura 3.2 - Mapa da cidade de Queimadas com plotagem dos pontos de medição e reservatórios.....	32
Figura 3.3 – Reservatórios R1 e R2.....	34
Figura 3.4 - Consumo de água no ano de 2003 para as ligações medidas por cate- goria de consumo.....	35
Figura 3.5 – Consumo micromedido das categorias residenciais	36
Figura 3.6 – Registrador de pressão com gráfico circular.....	38
Figura 3.7 – Pontos de medição de pressão e vazão SMV-1, SMV-2 e SMV-3.....	39
Figura 3.8 – Medidor do tipo Woltmann instalado em SMV-3.....	40
Figura 4.1 - Esquema da metodologia de estimativa de perdas de água totais, físicas e aparentes	41

Figura 4.2 - Ligações hidrometradas por categoria de consumo.....	44
Figura 4.3 - Evolução do número de ligações medidas no ano de 2003.....	45
Figura 4.4 - Número de ligações residenciais por faixa de consumo – jan/2003.....	46
Figura 4.5 - Variação do consumo por categoria de ligação no ano de 2003.....	49
Figura 4.6 - Comparação dos consumos per capita em relação aos volumes macro - medidos, micromedidos e perdidos no ano de 2003.....	50
Figura 4.7 - Variação de vazão média diária e vazão mínima noturna no setor SMV-1.	51
Figura 4.8 - Variação de vazão média diária e vazão mínima noturna no setor SMV-2.	52
Figura 4.9 - Variação de vazão média diária e vazão mínima noturna no setor SMV-3.	52
Figura 4.10 - Evolução do índice global de perdas no ano de 2003.....	53
Figura 4.11 - Comparação dos índices de perdas físicas e aparentes pelo método da EMBASA.....	58
Figura 4.12 - Comparação dos índices de perdas físicas e aparentes pelo método da va- zão mínima noturna.....	58
Figura 4.13 - Comparação das perdas físicas, aparentes e volume macromedido pelo método da vazão mínima noturna.....	59
Figura 4.14 - Comparação das perdas físicas, aparentes e volume macromedido pelo método da EMBASA.....	60
Figura 4.15 - Comparação das perdas físicas, aparentes, volume micromedido e volu- me consumido estimado pelo método da EMBASA.....	60
Figura 4.16 - Comparação das perdas físicas, aparentes, volume micromedido e volume consumido estimado pelo método da vazão mínima noturna.....	61
Figura 4.17 - Comparação das perdas físicas, aparentes, volumes perdidos totais e volumes consumidos estimados pelo método da vazão mínima noturna..	61
Figura 4.18 - Comparação das perdas físicas, aparentes, volumes perdidos totais e volumes consumidos estimados pelo método da EMBASA.....	62
Figura 4.19 - Custos médios mensais das perdas físicas e não físicas no ano de	

2003 pelo método da vazão mínima noturna em Queimadas – PB.....	63
Figura 5.1 - Volumes macromedidos mensais no ano de 2003.....	65
Figura 5.2 - Fornecimento <i>per capita</i> macromedido no sistema de Queimadas em 2003.....	66
Figura 5.3 - Volumes consumidos mensais no ano de 2003.....	68
Figura 5.4 - Evolução do consumo micromedido e das ligações hidrometradas no sistema em 2003.....	68
Figura 5.5 - Comparação dos volumes <i>per capita</i> macromedidos, consumidos e perdidos no sistema de Queimadas no ano de 2003.....	69
Figura 5.6 - Volumes totais perdidos no sistema de Queimadas.....	71
Figura 5.7 - Condições de trabalho de manutenção da rede de distribuição do sistema de Queimadas.....	73
Figura 5.8 - Variação das pressões médias medidas em 24 horas nos setores de medição SMV-1, SMV-2 e SMV-3 na zona de pressão ZPR-1.....	74
Figura 5.9 - Coeficiente N para os setores de medição SMV-1, SMV-2 e SMV-3.....	75
Figura 5.10 - Vazão mínima noturna setores de medição SMV-1, SMV-2 e SMV-3..	77
Figura 5.11 - Perda física por ligação nos setores SMV-1, SMV-2, SMV-3.....	78
Figura 5.12 - Contribuição das parcelas na formação das perdas aparentes em Queimadas em 2003.....	81
Figura 5.13 - Comparação dos índices de perdas físicos e não físicos mensais obtidos pelos métodos da QMN e da EMBASA no ano de 2003.....	82
Figura 5.14 - Comparação do índice médio anual das perdas obtidas pelos métodos da QMN e da EMBASA no ano de 2003.....	82
Figura A1 - Fornecimento diário de água entre os meses de janeiro e março de 2003 em Queimadas – PB	97
Figura A2 - Fornecimento diário de água entre os meses de abril e junho de 2003 em Queimadas – PB.....	98

Figura A3 - Fornecimento diário de água entre os meses de julho e setembro de 2003 em Queimadas – PB.....	99
Figura A4 - Fornecimento diário de água entre os meses de outubro e dezembro de 2003 em Queimadas – PB.....	100
Figura A5 - Variação do fornecimento diário de água no ano de 2003 no sistema de Queimadas – PB.....	101

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	- Preço da água em diferentes países desenvolvidos.....	07
Tabela 2.2	- Índice de perdas em alguns países do mundo no ano de 1999.....	08
Tabela 2.3	- Índice de perdas no Brasil relativo ao ano de 1999.....	09
Tabela 2.4	- Origem das perdas físicas por subsistema.....	12
Tabela 2.5	- Origem das perdas não físicas.....	12
Tabela 2.6	- Vazões características de hidrômetros segundo a classe metrológica e vazão nominal.....	28
Tabela 2.7	- Índice de vazão não medida em hidrômetros por tempo de instalação...	28
Tabela 2.8	- Redução de perdas físicas por redução de pressão.....	29
Tabela 4.1	- Ligações ativas e inativas no sistema de Queimadas em agosto/2004...	43
Tabela 4.2	- Hidrômetros em funcionamento no município de Queimadas	43
Tabela 4.3	- Número de ligações e economias por categoria de consumo	44
Tabela 4.4	- Número de ligações medidas e não medidas por categoria de consumo Janeiro/2003.....	45
Tabela 4.5	- Pesquisa de ligações clandestinas no ano de 2003 em Queimadas	46
Tabela 4.6	- Distribuição proporcional do volume macromedido nas zonas de pressão e setores de medição de vazão no sistema de Queimadas em 2003...	47
Tabela 4.7	- Distribuição do volume consumido nas zonas de pressão e setores de medição de vazão.....	48
Tabela 4.8	- Consumo <i>per capita</i> relativos aos volumes macromedidos, micromedidos e perdidos no ano de 2003 no sistema de Queimadas.....	49
Tabela 4.9	- Perfil diário de consumo no setor SMV-1	50

Tabela 4.10 - Perfil diário de consumo no setor SMV-2	50
Tabela 4.11 - Perfil diário de consumo no setor SMV-3	51
Tabela 4.12 - Volumes perdidos totais em Queimadas no ano de 2003.....	53
Tabela 4.13 - Cálculo do expoente N para SMV-1 - ajuste da curva para $R^2 \geq 0,95$.	54
Tabela 4.14 - Cálculo do expoente N para SMV-2 - ajuste da curva para $R^2 \geq 0,95$.	55
Tabela 4.15 - Cálculo do expoente N para SMV-3 - ajuste da curva para $R^2 \geq 0,95$.	55
Tabela 4.16 - Fator Noite-Dia (FND) para os setores de medição de vazão.....	55
Tabela 4.17 - Perdas físicas e aparentes nos setores de medição e no sistema de Queimadas.....	56
Tabela 4.18 - Componentes das perdas aparentes.....	57
Tabela 4.19 - Faturamento médio mensal no ano de 2003 por categoria de consumo	62
Tabela 5.1 - Média de consumo por faixa de consumo no mês de janeiro de 2003 em Queimadas	79
Tabela 5.2 - Volumes de perdas dos componentes das perdas aparentes.....	80
Tabela 5.3 - Custo das perdas pelos métodos da vazão mínima noturna com base no ano de 2003 para o sistema de abastecimento de Queimadas.....	84
Tabela A1 - Iterações iniciais do cálculo do coeficiente N do setor de medição SMV-1	102
Tabela A2 - Iterações iniciais do cálculo do coeficiente N do setor de medição SMV-2	103
Tabela A3 - Iterações iniciais do cálculo do coeficiente N do setor de medição SMV-3	104

LISTA DE ABREVIACÕES

- AESBE** - Associação das Empresas Estaduais de Saneamento Básico
- ASSEMAE** - Associação Nacional dos Serviços Municipais de Saneamento
- BABE**: *Background Burst Estimate* (estimativa de vazamentos inerentes e rompimentos)
- CAGECE** – Companhia de água e esgoto do estado do ceará
- CAGEPA** – Companhia de água e esgoto do estado da paraíba
- CAEMA** – Companhia de água e esgoto do estado do maranhão
- CAERD** – Companhia de água e esgoto de rondônia
- CAESB** – Companhia de água e esgoto de Brasília
- CARL** – (Current Annual Real Losses) perdas físicas correntes anuais do sistema
- 5S** – Filosofia de melhoria do ambiente de trabalho como parte do programa de qualidade total para empresas.
- DMAE** – Departamento municipal de água e esgotos de porto alegre
- DTA A2** – Documento técnico de apoio A2
- EMBASA** – Empresa baiana de saneamento
- EMBRATEX** – Empresa Brasileira têxtil
- EPANET** – Environmental Protection Agency Net (software de modelação hidráulica)
- EPANET 2** - Environmental Protection Agency Net (software de modelação hidráulica)
- ETA** – Estação de tratamento de água
- FND** – Fator Noite-Dia
- GPS** – Global position system (sistema de posicionamento global)
- GQT** – Gestão da qualidade total
- IBGE** – Instituto brasileiro de geografia e estatística
- ILI** (*Infrastructure Leakage Index*) – Índice de vazamento da infraestrutura
- IPA** – Índice de perdas de água
- IPD** – Índice de perdas na distribuição
- Ipt** – Índice de perda total
- IVIN** - Indicador de Vazamentos da Infra-estrutura
- IWA** – International Water Association

- PFD** – Perda física diária
- PMS** – Pressão média do setor
- PN** – Perda noturna
- PNCDA** – Programa nacional de combate ao desperdício de água
- Q_{MN}** – Vazão mínima noturna
- Q_{NPD}** – Vazão de perda noturna
- Q_{NU}** – Vazão de usos noturnos
- SAAE** – Sociedade anônima de água e esgoto (Paraná)
- SANEPAR** – Empresa de saneamento do estado do Paraná
- SMV-1** – Setor de medição de vazão 1
- SMV-2** - Setor de medição de vazão 2
- SMV-3** - Setor de medição de vazão 3
- SNIS** – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
- UARL** - (Unavoidable Annual Real Losses) - perdas físicas anuais inevitáveis
- VD** – volume disponibilizado
- VRPs** – Válvulas redutoras de pressão
- VU** – Volume utilizado
- ZPR-1** – Zona de pressão abastecida pelo reservatório R1
- ZPR-2** – Zona de pressão abastecida pelo reservatório R2

RESUMO

O presente trabalho caracterizou as perdas físicas e não físicas, do sistema de abastecimento de água da cidade de Queimadas, através de duas metodologias de estimativa de perdas, a da vazão mínima noturna e a da estimativa das perdas aparentes aplicada pela EMBASA na região metropolitana de Salvador-BA. A cidade de Queimadas está localizada no Cariri Paraibano (07° 22' 12" Sul e 35° 54' 30" Oeste), a 138 km da Capital, João Pessoa, e a 14 km ao sul de Campina Grande, com uma população de 36.032 habitantes (IBGE, 2000). Os dados das séries históricas de volumes macromedidos e micromedidos foram obtidos pela CAGEPA e cobriram os meses de janeiro a dezembro de 2003. Foram estabelecidos três setores de medição com 124, 424 e 299 ligações respectivamente, dentro da zona de pressão ZPR-1, abastecida pelo reservatório R-1 e responsável por 78,53 % do total de ligações ativas do sistema. Nesses setores foram instalados medidores do tipo Woltmann, num período de três semanas, para o monitoramento da vazão mínima noturna entre 3 e 4 horas da manhã ao longo de um período de 6 dias, bem como registradores de pressão com gráfico circular para o monitoramento de 24 horas das pressões. O primeiro método estimativo consistiu em aplicar um Fator Noite-Dia (FND) à vazão mínima noturna encontrada nos setores de medição para obtenção da perda física diária nos setores. Os valores dos fatores Noite-Dia encontrados para os setores SMV-1, SMV-2 e SMV-3, mostraram-se dentro da faixa adequada para sistemas com caixas d'água domiciliares, usualmente inferiores a 24 horas. As pressões na rede, nos três setores, atenderam à Norma Brasileira NBR – NM - 12218 da ABNT. Para a estimativa das perdas físicas e não físicas do sistema como um todo, foi computada a média das perdas diárias obtidas nos três setores de medição proporcionalmente ao número total de ligações do sistema em cada mês do ano de 2003. O segundo método estimou, para cada mês do ano de 2003, as componentes das perdas aparentes através de dados operacionais estimados para o sistema, encontrando-se as perdas físicas pela diferença entre essas e o volume perdido mensal. O sistema apresentou condições físicas e de controle operacional precárias, o que requer adequação do sistema requerendo melhorias para uma estimativa mais acurada das perdas físicas e não físicas. O perfil de consumo da população mostrou-se predominantemente residencial representando 96,45 % do total de ligações. O índice de perda médio do sistema ficou em 38,78 % do volume total produzido. Já os índices de perdas físicas e aparentes estimados pelo método da vazão mínima noturna foram, respectivamente, de 44,31 e 55,69 %, e pelo método da EMBASA, de 41,43 e 58,57 % respectivamente, demonstrando compatibilidade entre si. As perdas aparentes foram significativamente maiores que as perdas físicas, representando 33,16 % do faturamento anual da CAGEPA no sistema de Queimadas. As perdas totais representaram 59,55 % do faturamento anual da CAGEPA no sistema estudado.

ABSTRACT

This work estimates the real and apparent water losses in the distribution system of the city of Queimadas, PB, using two methods of estimation. The city of Queimadas, PB, is located in the "Cariri" geographical region of the state. The city is located 138 kilometers from the state capital of João Pessoa and 14 kilometers south of the city of Campina Grande. The city has a population of about 36,032 inhabitants, according to the federal census taken in 2000. The historical data for the water system was supplied by CAGEPA. The data covers the year of 2003 January to December. Three different areas for measurement, described as "sectors", were established for study. The first with 124 (one hundred and twenty-four) users, the second with 424 (four hundred and twenty-four) users, and the last with 299 (two hundred and ninety nine) users connected to the ZPR-1 distribution zone, supplied by the R-1 reservoir which is responsible for 78.53 % of the distribution to the city. A Woltmann meter was installed to take measurements over three different weeks in order to monitor the minimum night flow from 3:00 AM to 4:00 AM over a period of six days, as well as a measurement of line pressure using a paper disc registration device which registered the pressure in each sector over a 24 (Twenty-four) hour period within three distinct and separate weeks. The first method used for arriving at the estimates consisted of applying a NDF (Night-Day Factor) to the minimum night flow data collected in each sector in order to estimate the real treated water loss. The results for NDF fit within the expected range for systems, that provide water for homes with home water storage systems, which is 24 hours or less. The pressure measurements was within the range prescribed by the Technical Norm NBR – NM - 12218 of the ABNT. In order to arrive at an estimate of the real and apparent water losses from the distribution system as a whole, computations were made of the average of the daily losses from the three sectors proportionally to the total number of connections of the system in each month of the year. The second method of estimation used formulas in which parameters obtained from figures available in specialized publications were used in order to estimate the apparent loss, calculating the real loss for each month of 2003, against total lost water volume. The distribution system studied demonstrated precarious conditions in both its physical state and its operational control, which will require improvements in order to, more accurately, estimate real and apparent treated water loss in the future. Residential usage represents 96.45 % of the connections within the distribution system. The average loss index for the system is about 38.78 % of the total volume of treated water produced for the system. The index for loss using the night flow data method was 44.31 % and 55.69 % respectively, while the estimate arrived at using the EMBASA's method was 41.43 % and 58.57 % respectively, demonstrating the compatibility of the two methods applied. The apparent losses were significantly higher than the real losses. The total volume of treated water lost from the system represented a revenue loss of 59.55 % when compared to annual income figures for 2003 published by the treated water provider, CAGEPA in the system of Queimadas.

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

A situação de escassez dos recursos hídricos, agora tratados sob a ótica da não renovação, tem trazido aos governos crescentes preocupações. Nesse sentido, é patente a necessidade de combater as perdas físicas de água em sistemas de abastecimento e, não menos importantes, as não físicas, que enfraquecem a saúde financeira das empresas responsáveis pelo serviço de abastecimento à população.

O crescimento populacional em todo o mundo nos últimos cinquenta anos, agravou o quadro com o aumento proporcional da demanda por água potável, requerendo implantação e ampliação de sistemas de abastecimento, o que contribuiu ainda mais para as perdas globais de água. Os problemas ambientais daí decorrentes, ainda não sentidos de modo contundente, já delineiam a condição de escassez nos próximos trinta anos. Desse modo as perdas em sistemas de abastecimento desempenham um papel importante na problemática da gestão dos recursos hídricos escassos.

De acordo com o SNIS de 2002 (BRASIL, 2004), em todo o Brasil, em média, 57,50 % das despesas dos prestadores de serviços de saneamento foram relacionadas à exploração de água. Nestas condições, perder entre 29,20 e 52,80 % (*Ibid.*) do seu faturamento anua é razão mais do que suficiente para despertar as empresas para ações que revertam esta situação insustentável.

O governo brasileiro em face dessa realidade, instituiu em 1997 o Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água (PNCDA), para atuar como indutor de discussões técnicas, elaboração de estudos e documentos técnicos, implementação de capacitação e promoção de eventos e ações visando a redução dos índices de perdas e a melhoria de eficiência operacional das empresas prestadoras de serviços de saneamento.

Empresas de saneamento básico como a SANEPAR, a CAESB, e a CAGECE, já têm implementado programas eficazes utilizando ferramentas metodológicas

modernas na caracterização e combate das perdas físicas e não físicas. Estas empresas entenderam a importância de investir em pesquisas operacionais a fim de estabelecer um planejamento estratégico voltado para a melhoria da qualidade da prestação do serviço à clientela e para o incremento do seu potencial financeiro e econômico.

No Brasil, de acordo com a literatura especializada, metodologias diversas são estudadas e aplicadas. Uma delas, amplamente utilizada pela sua eficácia, estima as perdas físicas através da correlação das vazões mínimas noturnas com as perdas diárias (SILVA, *et al.*, 2003; VIEGAS, 2003; LAMBERT, 2002; GONÇALVES, 2000); outra metodologia, com abordagem operacional e de aplicação simplificada, parcela as perdas físicas e não físicas, estimando suas componentes através de parâmetros operacionais e comerciais do sistema estudado (MAGALHÃES, 2001). Metodologias mais sofisticadas têm sido estudadas nas universidades empregando modelagem computacional, através de softwares de simulação hidráulica, como é o caso do EPANET e EPANET 2 (SOARES & REIS, 2004).

Neste trabalho, foram caracterizadas as perdas totais, bem como as parcelas físicas e não físicas para o sistema de abastecimento de água da cidade de Queimadas - PB, através de duas metodologias distintas: a da vazão mínima noturna, aplicando o método do Fator Noite-Dia (FND) e o método utilizado pela EMBASA no programa de perdas para a Região Metropolitana de Salvador-BA. Foram estimados, ainda, os custos financeiros das perdas para a CAGEPA, companhia de saneamento responsável pela operação do sistema.

Os resultados apresentados mostram a viabilidade da aplicação de ambas as metodologias utilizadas, como ferramentas capazes de apoiar o aprimoramento do controle operacional da CAGEPA no estabelecimento futuro de um programa eficaz de combate às perdas de água, não só na cidade de Queimadas, mas em outros sistemas semelhantes.

CAPÍTULO II

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.0 – PERDAS EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO D'ÁGUA

As previsões dos especialistas sobre a escassez crônica de água no planeta são cada vez mais pessimistas. O mundo não pode passivamente assistir ao cumprimento destas previsões. Cerca de dois terços da população mundial vivem em regiões de escassez de água (WATSON *et al.*, 1988 *apud* TUNDISI, 2003) e, enquanto um bilhão de pessoas carece de suprimento de água potável em redor do mundo (SERAGELDIN, 1994), o desperdício tende a aumentar em grande escala.

Nesse sentido, a situação brasileira se torna injustificável. É preocupante o quadro dos sistemas brasileiros de abastecimento d'água, que sustentam índices médios de perda de água de 40 % do volume total produzido (COELHO, 2001). A região Nordeste do Brasil, por exemplo, produziu algo em torno de 2.000 milhões de m³ de água no ano de 2002 deixando de faturar 45 % deste volume. A região Norte, por sua vez, no mesmo período, produziu cinco vezes mais, não faturando 54 % desse volume (BRASIL, 2004). O não faturamento da água, mesmo abundante e de exploração barata, implica no desperdício de recursos humanos, financeiros e ambientais importantes. Aliás, resulta no desperdício de um bem finito, dotado de valor econômico, isto é, a própria água (BRASIL, 1997).

Os índices de perdas variam de região para região. A região Norte do país apresenta o maior índice médio com 52 % do volume produzido. Estas perdas poderiam ser associadas à cultura da abundância de água naquela região. Entretanto, em segundo lugar,

figura a região Nordeste, com índice de 46,10 %, notadamente uma região de escassez de água. A região centro-oeste apresenta o menor índice global do país, com 32,60 % (GOMES, 2002). A afirmação de que a cultura da abundância está contribuindo para as perdas pode mascarar a real faceta do problema, isto é, a má gestão do processo produtivo.

Nos âmbitos acadêmico e operacional pesquisas têm sido realizadas, catalogando, estudando e aperfeiçoando metodologias eficazes na caracterização, combate e controle das perdas de água.

Dentre as metodologias mais avançadas estudadas, a modelagem por simulação computacional se destaca. Consiste na calibração de modelos hidráulicos com base nos dados coletados do sistema real (SOARES & REIS, 2004). Esses métodos computacionais ainda estão restritos aos círculos acadêmicos, em virtude da indisponibilidade, tanto de bancos de dados detalhados o suficiente quanto dos recursos físicos e humanos nas Companhias de Saneamento de modo geral. O método da vazão mínima noturna (SILVA *et al.*, 2003; VIEGAS, 2003; GONÇALVES, 2000), não está baseado em calibração de modelos hidráulicos computacionais, porém estima com boa precisão as perdas físicas, constituindo-se numa poderosa ferramenta para quantificar as componentes das perdas em sistemas de distribuição (SILVA *et al.*, 2003). O método foi desenvolvido e é utilizado no Reino Unido (LAMBERT, 2002b). Prevalece, ainda, no Brasil, a determinação das perdas apenas pelo uso de indicadores percentuais baseados no balanço entre o volume fornecido e o consumo estimado e/ou micromedido. Todavia, a utilização de ferramentas computacionais avança no encontro de soluções ótimas no projeto, avaliação e controle de sistemas de engenharia (CASTRO, 2004), apontando a tendência de uso de métodos mais precisos e acurados de controle operacional nas companhias de saneamento nos próximos 10 anos.

Os sistemas de abastecimento d'água em meios urbanos e rurais são infraestruturas compostas das unidades de captação, tratamento, transporte, reservação, rede de distribuição de água e ligações prediais.

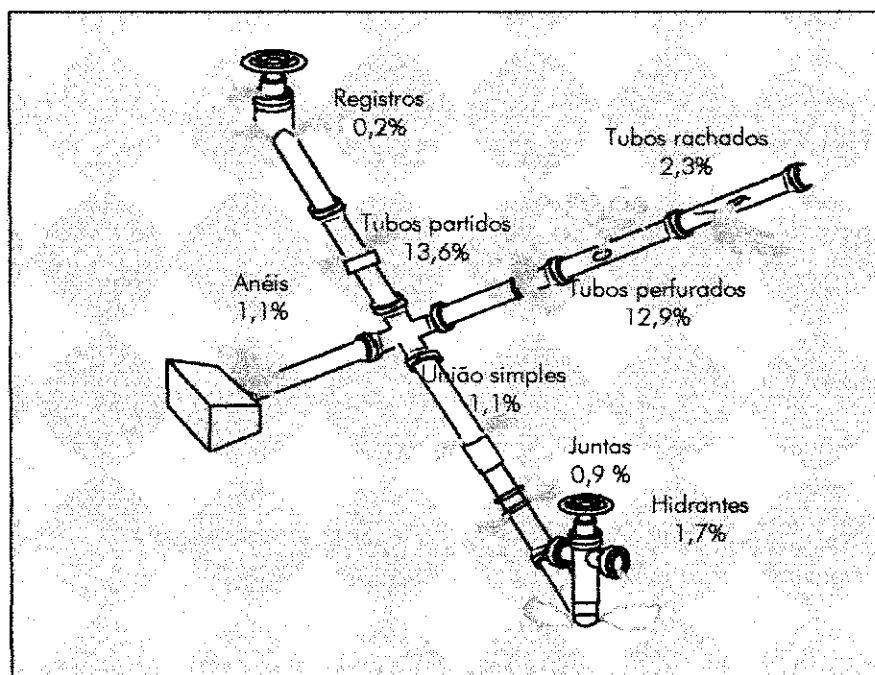
Todo sistema de produção e distribuição está sujeito a perder água pelo simples fato de existir como tal (MARQUES & GASPARINI, 1995 *apud* HERRERA & LEOPOLDO, 1995).

As perdas no tratamento podem variar de 2 % a 10 % (SILVA *et al.*, 2003). Na limpeza de decantadores e floculadores, as perdas atingem até 3 % e na lavagem de

filtros chegam a 4,5 % (FAVERO & DIB, 1981). Na reservação, as perdas mais comuns são os extravasamentos. A rede de distribuição, por sua vez, é a maior responsável pelos índices de perdas de todo o sistema (*Ibid.*). Essas perdas podem ocorrer por vazamentos visíveis e não visíveis. De acordo com Favero & Dib (1981), 70 % das perdas através de vazamentos estão localizadas entre 20 e 30 % da área total onde existe rede. Essas áreas críticas estão em pontos de maior pressão dinâmica e devem ser monitoradas. Por fim, nas ligações prediais, as perdas, podem representar entre 60 e 70 % dos vazamentos ocorridos (COELHO, 2001).

Na Figura 2.1, são ilustrados os pontos de vazamentos na distribuição com percentuais relativos às perdas físicas no sistema de Campinas-SP (SILVA *et al.*, 2003):

Figura 2.1 – Pontos frequentes de vazamentos em redes de distribuição



Fonte: Silva *et al.* (2003)

2.1 – Perdas em sistemas de abastecimento d'água no mundo

2.1.1 – Panorama mundial da situação da escassez de água

No despontar do século XXI, a escassez da água é uma ameaça real à humanidade e à sobrevivência da biosfera como um todo (TUNDISI, 2003).

Uma pesquisa realizada pelas Nações Unidas fez uma projeção da oferta e da demanda de água até 2025. O estudo destaca 17 países com absoluta insuficiência de água, locais que não terão água suficiente para manter o nível de produção agrícola e nem satisfazer suas necessidades industriais e domésticas (PLANETA ORGÂNICO, 2004).

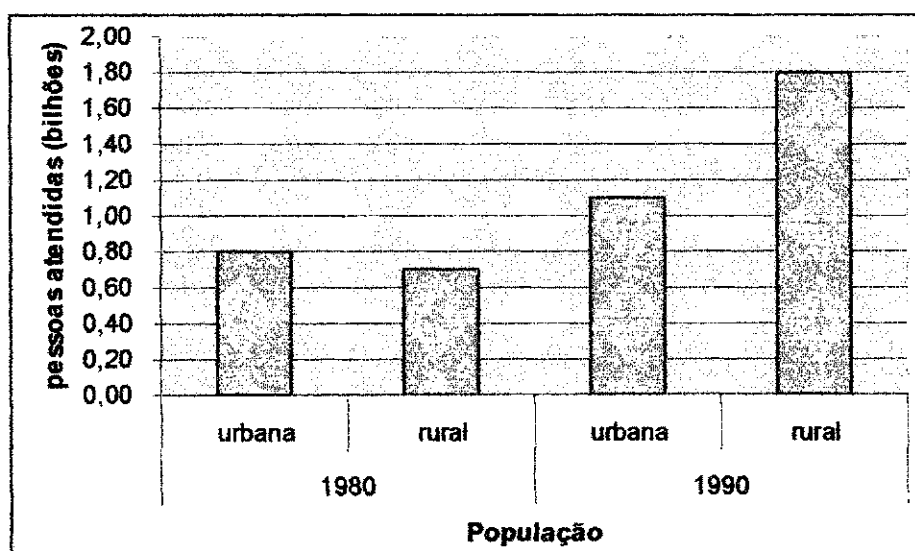
Serageldin (1994) já destacava esta realidade, mostrando que um bilhão de pessoas ainda careciam de suprimento adequado de água potável ao redor do mundo. Em todo o mundo é crescente a preocupação com a escassez de água potável. Os compromissos assumidos pelos países signatários da Agenda 21 podem apenas amenizar a delicada situação onde

Ao longo da década de 1980, houve, mundialmente, um acréscimo de 1,6 bilhões de pessoas nos sistemas de abastecimento, tendo aumentado o número de pessoas nas zonas urbanas e gerando volumes perdidos proporcionalmente maiores (*Ibid.*).

Isso tem levado os governos dos países a buscar soluções sistêmicas para o problema das perdas em seus sistemas de abastecimento, fazendo com que o aumento da demanda pelo uso da água e a conseqüente implantação de novos sistemas venha a estar atrelado a um programa de combate incisivo ao desperdício.

A Figura 2.2 mostra a evolução do acesso à água potável nos países em desenvolvimento entre os anos de 1980 e 1990 (SERAGENDIN, 1994).

Figura 2.2 – Crescimento da população de países em desenvolvimento com acesso a água potável entre as décadas de 80 e 90.



Fonte: adaptado de Serageldin (2004)

Segundo Tundisi (2003), em 2025, dois terços da população mundial estarão vivendo em regiões com escassez de água, mostrando o quanto é imperiosa a redução do desperdício.

Do ponto de vista econômico, os custos de produzir e tornar a água disponível são elevados. A Tabela 2.1 mostra o preço da água em países desenvolvidos no ano de 2003. Em todo o mundo, os intoleráveis níveis de perdas representam bilhões de dólares. No Brasil, é urgente a necessidade de incrementar as ações de combate a perdas em sistemas de abastecimento. Companhias de abastecimento como a CAEMA (Estado do Maranhão) e a CAERD (Estado de Rondônia) perdem, respectivamente, 69,63 % e 70,92 % do volume total produzido (COELHO, 2001).

A escassez de água impede o desenvolvimento econômico. Na Paraíba, a empresa EMBRATEX, decidiu remanejar sua unidade de processamento de fios para Natal (RN), em função da escassez crítica de recursos hídricos na região de Campina Grande na década de 90.

Tabela 2.1 – Preço da água em 2003 em diferentes países desenvolvidos

País	US\$/m³
Alemanha	1,91
Dinamarca	1,64
Bélgica	1,54
Países Baixos	1,25
França	1,23
Reino Unido da Grã-Bretanha e Irlanda do Norte	1,18
Itália	0,76
Finlândia	0,69
Irlanda	0,63
Suécia	0,58
Espanha	0,57
Estados Unidos	0,51
Austrália	0,5
Sul da África	0,47
Canadá	0,4

Fonte: adaptado de Tundisi (2003)

Coelho (2001) apresenta o foco ambiental e social das perdas definindo o uso eficiente da água como qualquer ação destinada à redução e prevenção de perdas de água em *benefício da sociedade* (grifo nosso), salientando que a preservação dos recursos hídricos é ambiental e socialmente fundamental para o desenvolvimento sustentável.

Mesmo sendo a água um bem público e dotado de valor econômico (BRASIL, 1997), a questão mundial da escassez de água vai além da conotação meramente econômica. De fato, a solução para o problema dessa escassez passa por componentes ambientais, sociais, econômicos e tecnológicos e a redução dessas perdas dará grande contribuição para minimizar a crise da água que é, hoje, considerada o “ouro azul”.

2.1.2 – Panorama mundial das perdas nos sistemas de abastecimento

Segundo a AESBE e a ASSEMAE (1997 *apud* GONÇALVES, 1999), o índice de perdas tem sofrido questionamentos sobre a sua obtenção, bem como sua representatividade e capacidade de comparação entre diversos sistemas. Para fins de avaliação comparativa, são apresentados na Tabela 2.2 os índices de perdas em alguns países do mundo no ano de 1999, extraído por Gomes (2002) da Revista Brasileira de Saneamento e Meio Ambiente – Ano XI, No. 17 de Janeiro/março de 2001.

Tabela 2.2 – Índice de perdas em alguns países do mundo no ano de 1999.

País	Índice de Perda (%)
Canadá	14,00
Japão (Tóquio)	8,40
Argentina (Capital)	36,00
Inglaterra	17,30
Chile	19,00
Colômbia	39,00
Peru	36,00

Fonte: Gomes (2002)

É possível observar a preocupação dos países desenvolvidos no combate às perdas em seus sistemas. O percentual do Japão é o mais baixo. O exemplo do Japão mostra que é factível tecnologicamente reduzir os elevados índices de perdas tolerados no

mundo. É notável que os índices de países subdesenvolvidos, com economia e tecnologia precárias, a exemplo da Colômbia e do Peru sejam inferiores àqueles observados no Brasil. (OLIVEIRA JR., 2003).

Na América Latina, Coelho (2001) descreve uma situação crítica, com valores próximos a 45 % do volume de água distribuído e, em alguns casos, 60 %.

2.1.3 – Panorama nacional das perdas nos sistemas de abastecimento

O Brasil é dotado de recursos hídricos invejáveis. A disponibilidade de água doce representa 53 % do continente sul-americano (334000 m³/s) e 12 % do total mundial (1.488.000 m³/s) Assim, o Brasil é o 25º país do mundo em volume de água doce com 48.314 m³/habitante (REBOUÇAS, 1999 *apud* TUNDISI, 2003).

Aproximadamente 90 % dos recursos hídricos do Brasil são utilizados na produção agrícola, com demanda de 15,96 km³ anuais, na produção industrial, com 7,80 km³/ano, e consumo humano. A demanda urbana é significativa, de 9,92 km³/ano, (TUCCI *et al.*, 2000 *apud* TUNDISI, 2003).

Um país de grandes recursos e demandas, também é um país de grandes perdas. Coelho (2001) mostra índices nas empresas estaduais brasileiras de saneamento da ordem de 40 %. A Tabela 2.3 apresenta os índices de perdas no Brasil por região no ano de 1999, adaptado de Gomes (2002):

Tabela 2.3 - Índice de Perdas no Brasil relativo ao ano de 1999

Região do País	Índice de Perda (%)
Norte	52,1
Nordeste	46,1
Sudeste	34,6
Sul	37,2
Centro Oeste	32,6
Média Total	38,1

Fonte: Adaptado de Gomes (2002)

No estado da Paraíba, a CAGEPA possui um índice médio de perdas em torno de 40,90 % (GOMES, 2002).

Kochen & Berenhauser (1981) apresentaram a incidência mais comum de perdas nos sistemas da Região Metropolitanas de São Paulo:

- | | |
|-------------------------|-------------|
| a) Micromedicação | - 15 a 17 % |
| b) Vazamentos | - 13 a 15 % |
| c) Extravasamentos | - 2 a 3 % |
| d) Macromedicação | - 2 a 3 % |
| e) Lavagem, desinfecção | - 1 a 2 % |

Na grande São Paulo já foram identificadas vazões médias de extravasamento de até 700 l/s em um único reservatório. Considerando 6 horas de extravasamento por dia, essa vazão poderia atender uma população de até 100800 habitantes/dia (*Ibid*).

Na experiência de Silva, S. (2001), com a implantação de um programa de controle de perdas no SAAE de Barra Mansa – RJ, foi possível reduzir os índices de perdas físicas de 52 % do volume produzido para o ainda elevado patamar de 36 %.

Herrera & Leopoldo (1995), estudaram as perdas no sistema de Botucatu (SP), identificando, em 1995, índices médios de perdas de 37,16 %.

O Diagnóstico do sistema nacional de informações sobre saneamento (SNIS, 2003), mostra que o valor médio das perdas de faturamento para todo o conjunto de prestadores de serviços é de 39,4%, indicando uma pequena melhora em relação ao ano de 2002, quando o valor médio foi de 40,4%. A situação das perdas de água nos sistemas brasileiros continua preocupante, uma vez que a queda verificada foi de apenas 1,1 ponto percentual, mesmo em um ambiente em que há bastante espaço para melhoria. Apenas quatro dos 25 prestadores de serviço apresentam índices inferiores a 30% e, desses, somente a CAESB/DF e a COPASA/MG têm perdas inferiores a 25%. Por outro lado, há um número expressivo de prestadores de serviços com perdas muitas elevadas, sendo sete superiores a 50%, dos quais três apresentam valores próximos dos 70%.

Os sistemas brasileiros requerem investimentos em pesquisas que identifiquem as melhores práticas e metodologias para adequá-las à realidade nacional e/ou regional, visando a minimização das perdas que trazem prejuízos para o país e para o mundo nos níveis social, ecológico e econômico.

2.2.0 – PERDAS EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO

2.2.1 - Definição

De acordo Gomes (2002), perda no abastecimento é a diferença entre o volume de água produzido nas estações de tratamento e os volumes medidos nos hidrômetros. Esta definição não leva em consideração a submedição nos hidrômetros ou, mesmo, índices de hidrometração inferiores a 100 %.

A definição mais apropriada observada na literatura é dada no documento do Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água (PNCDA) (SILVA *et al.*, 2003) que define as perdas como aquelas correspondentes aos volumes de água não contabilizados. Esses volumes englobam tanto as perdas reais de água, denominadas perdas físicas, que representam a parcela fornecida ao sistema, porém não utilizada, como as perdas não-físicas (aparentes), que correspondem à água consumida e não registrada.

2.2.2 – Classificação das perdas

Em conformidade com o documento técnico de apoio DTA-A2 do PNCDA (SILVA *et al.*, 2003), as perdas podem ser divididas em físicas e não físicas. De fato, os volumes totais aportados ao sistema podem ser subdivididos em vários componentes.

As perdas físicas, conforme Silva *et al.* (2003), são originadas de vazamentos no sistema envolvendo a captação, a adução de água bruta, o tratamento, a adução de água tratada, a reservação e a distribuição, além de procedimentos operacionais como lavagem de filtros e descargas na rede.

A redução das perdas físicas permite diminuir os custos de operação e manutenção do sistema, otimizando o uso das instalações existentes, além de propiciar aumento na oferta de água tratada sem expansão do sistema produtor.

Na Tabela 2.4 são apresentadas as perdas físicas nos subsistemas e sua origem.

A parcela não física ou aparente de perdas corresponde aos volumes não faturados, ou seja, a água que é consumida pelo usuário e não faturada pelo prestador de serviço de distribuição.

Tabela 2.4 – Origem das perdas físicas por subsistema

SUBSISTEMA	ORIGEM
Adução de água bruta	Vazamento nas tubulações Limpeza do poço de sucção
Tratamento	Vazamentos estruturais Lavagem de filtros Descarga de lodo
Reservação	Vazamentos estruturais Extravazamentos Limpeza
Adução de água tratada	Vazamento nas tubulações Limpeza do poço de sucção Descargas
Distribuição	Vazamentos na rede Vazamentos em remais Descargas

Fonte: adaptado de Silva *et al.* (2003).

A perda aparente provém da má gerência da companhia. Razões técnicas e sociais impedem o faturamento. Esses prejuízos acabam por debilitar o potencial da companhia de prestar melhor serviço à comunidade, quer na expansão do sistema, quer na melhora do índice de qualidade em manutenção (OLIVEIRA JR., 2003).

A Tabela 2.5 sintetiza os itens de perdas de faturamento (SILVA *et al.*, 2003):

Tabela 2.5 – Origem das perdas não físicas

SUBSISTEMA	ORIGEM
Ligações prediais	Ligações clandestinas/irregulares
	Ligações não hidrometradas
	Hidrômetros parados
	Hidrômetros que submedem
	Ligações inativas reabertas
	Erros de leitura
	Número de economias errado

Fonte: adaptado de Silva *et al.* (2003).

Miranda (2003) aponta erros de submedição em sistemas que utilizam caixas d'água domiciliares, pela redução da vazão aquém dos limites inferiores especificados para a classe do hidrômetro. Em função disto, os sistemas com predominância de caixas d'água nos domicílios podem apresentar perdas aparentes superiores aos sistemas com abastecimento diretamente pela rede.

As perdas físicas podem ou não superar as perdas não físicas, dependendo das características do sistema, do controle operacional e da política de gestão da empresa responsável pelo sistema. A partir dos componentes das perdas define-se o montante de água não contabilizada, isto é, a diferença entre os totais anuais de água fornecida ao sistema e o volume utilizado nas ligações regulares. A água não contabilizada incluirá não só as perdas reais e aparentes, mas também o consumo autorizado não faturado (hidrantes de bombeiros, chafarizes não medidos, consumo do escritório da Companhia).

2.2.3 – Indicadores de perdas nos sistemas de abastecimento

A Associação das Empresas Estaduais de Saneamento Básico - AESBE - e a Associação Nacional dos Serviços Municipais de Saneamento - ASSEMAE - criaram, em 1997, um grupo de trabalho para discutir alternativas para os indicadores de perdas.

O índice de perdas é amplamente utilizado no Brasil. Conforme define o Documento Técnico do PNCDA (DTA A2) (SILVA *et al.*, 2003), o índice de perda na distribuição (IPD) é calculado pela expressão:

$$\text{IPD} = \left[\frac{\text{Volume disponibilizado (VD)} - \text{Volume utilizado (VU)}}{\text{Volume disponibilizado (VD)}} \right] \times 100 \quad \text{Equação 2.1}$$

Os estudos da AESBE/ASSEMAE concordam com os da IWA ao reconhecer que um indicador isolado não expressa toda a complexidade das perdas nos sistemas públicos de abastecimento, sendo necessário combinar indicadores percentuais com indicadores físicos computados por extensão de rede ou por economia, para a comparação

de desempenho entre sistemas. Assim, esse índice não deve ser utilizado isoladamente para medir o desempenho de um sistema. Porém, numa primeira análise, considera-se que índices de perdas superiores a 40% representam más condições do sistema quanto às perdas; em uma condição intermediária, estão os sistemas com índices de perdas entre 40% e 25%; apresentam valores abaixo de 25% os sistemas com bom gerenciamento de suas perdas (*Ibid.*).

Outros indicadores de desempenho são largamente utilizados na maioria dos sistemas de abastecimento brasileiros.

a) Índice de perda de água (Água não contabilizada)

$$\text{IPA} = \left[\frac{\text{Volume produzido} - \text{Volume utilizado}}{\text{Volume produzido}} \right] \times 100 \quad \text{Equação 2.2}$$

Onde:

- Volume produzido é o volume de água tratada disponibilizada para consumo medido na saída das ETAs;
- Volume utilizado é a somatória dos seguintes volumes: micromedido, estimado, o recuperado proveniente de ligações clandestinas e fraudes detectadas, o operacional (desinfecção, testes), e os especiais (bombeiros, suprimento social, etc.).

b) Índice de perda no faturamento (Água não faturada)

$$\text{IPF} = \left[\frac{\text{Volume produzido} - \text{Volume faturado}}{\text{Volume produzido}} \right] \times 100 \quad \text{Equação 2.3}$$

Onde:

- Volume faturado - corresponde ao volume (medido, presumido, estimado, contratado, mínimo ou informado) faturado.

É comum em nosso país a adoção de um consumo mínimo (da ordem de 10 m³/mês) em economias não medidas. Em alguns casos, portanto, o volume faturado poderá ser maior que o utilizado.

c) **Índice de perda de água por extensão de rede**

$$\text{IPR} = \left[\frac{\text{Volume produzido} - \text{Volume utilizado}}{\text{Extensão da Rede} \times \text{número de dias}} \right] \times 100$$

Equação 2.4

d) **Índice de perda de água por ligação**

$$\text{IPL} = \left[\frac{\text{Volume produzido} - \text{Volume utilizado}}{\text{Número de ligações} \times \text{número de dias}} \right] \times 100$$

Equação 2.5

e) **Índice de hidrometração**

$$\text{IH} = \left[\frac{\text{Número total de ligações faturadas medidas}}{\text{Número total de ligações faturadas}} \right] \times 100$$

Equação 2.6

Miranda (2003) apresenta os critérios para posicionamento dos indicadores de desempenho conforme as conclusões dos estudos realizados por Alegre *et al.* (2000) e Silva *et al.* (2003), resultando em três níveis:

- **nível básico:** indicadores derivados de informações técnicas mínimas; fornecem uma síntese da eficiência e da eficácia do operador e possuem ampla utilização.
- **nível intermediário:** indicadores derivados de informações técnicas específicas mais refinadas do que as utilizadas nos indicadores do nível básico;
- **nível avançado:** indicadores derivados de informações técnicas que, adicionalmente aos atributos das anteriores envolvem grande esforço de monitoramento e controle operacional;

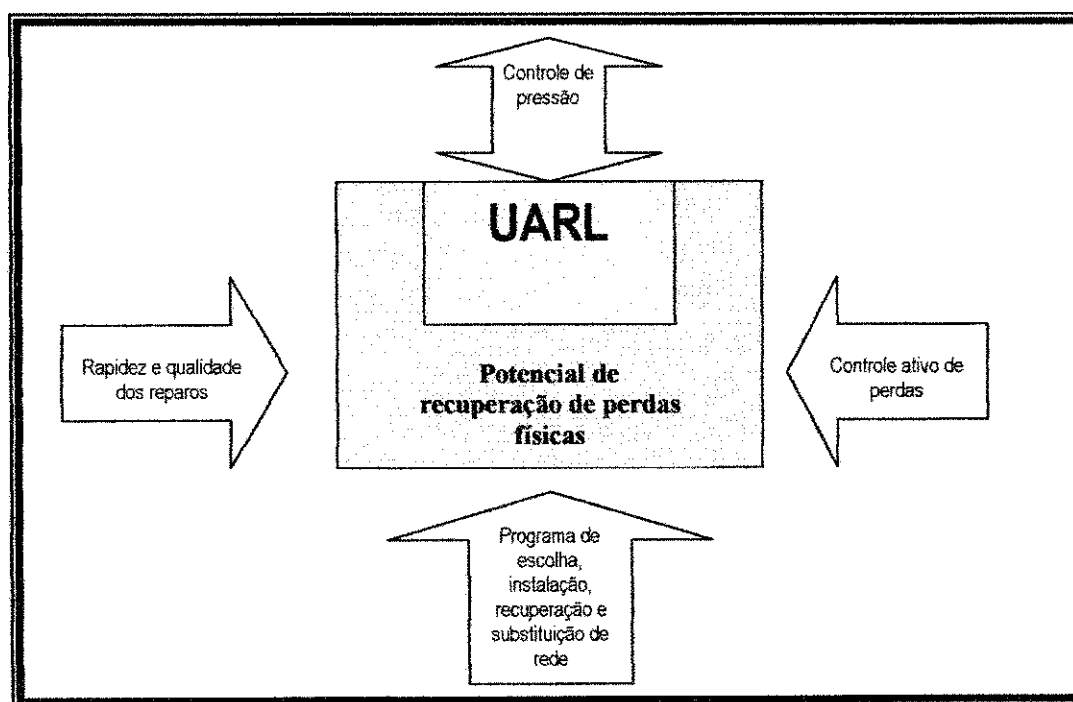
Modernamente, há uma tendência internacional de se utilizar o indicador avançado que adota a pressão de operação da rede como variável na avaliação de perdas já que as vazões de vazamentos variam com a pressão média de funcionamento da rede.

Dentre estes, a proposta considerada a mais avançada refere-se ao Indicador de Vazamentos da Infra-estrutura (IVIN), apresentado por Lambert *et al.* (1999), sendo a relação entre as perdas físicas correntes anuais do sistema (CARL) e as perdas físicas anuais inevitáveis (UARL), isto é, aquelas ocorridas pelo simples fato de o sistema existir.

O indicador ILI (*Infrastructure Leakage Index*) (LAMBERT, 2002) ou IVIN (MIRANDA, 2003), representa as perdas físicas potencialmente redutíveis aproximando o sistema das perdas inevitáveis. Este indicador preconiza a determinação das perdas físicas do sistema através de um processo estimativo eficiente proposto por Lambert (1994 *apud* LAMBERT, 2002), consistindo na quantificação das perdas físicas anuais a partir da determinação dos vazamentos inerentes e rompimentos (BABE: *Background Burst Estimate*). A partir daí, é definido o potencial de recuperação de perdas físicas do sistema.

A Figura 2.3 ilustra as atividades básicas para a redução de perdas, explicitando o potencial de recuperação de perdas físicas no sistema.

Figura 2.3 – Atividades para redução de perdas físicas



Fonte: adaptado de Lambert (2002)

Vazão Mínima Noturna

O método da vazão mínima noturna é uma poderosa ferramenta para quantificar perdas nos sistemas de distribuição, orientando os processos de tomada de decisão quanto às pesquisas de vazamentos e combate às perdas (SILVA *et al.*, 2003).

O método consiste em registrar as vazões em um setor de distribuição isolado, dotado de macromedidor na sua tubulação de entrada, durante certo período da madrugada. Essas vazões serão compostas basicamente de consumidores noturnos eventuais, consumidores noturnos regulares e vazamentos na rede. Assim, identificados os consumos efetivos durante a noite, o monitoramento da vazão mínima noturna pode ser utilizado para quantificar perdas físicas.

No cálculo da perda noturna tem importância o valor da perda inerente que corresponde às perdas ocorridas independentemente do controle adotado. A perda inerente corresponde a vazão mínima noturna inerente. A determinação da vazão mínima noturna inerente é feita a partir de metodologias específicas (SILVA *et al.*, 2003). Na simplificação de estimativas, estas perdas podem ser consideradas nulas (GONÇALVES, 2000).

A perda noturna é calculada pela diferença entre o valor obtido pela medição da vazão mínima noturna e o valor devido ao consumo noturno e as perdas inerentes. Assim, para o período noturno em que se considera que a vazão é constante e de valor mínimo, a seguinte expressão pode ser escrita:

Vazão de perda noturna	=	Vazão mínima noturna	-	Vazão de consumo noturno	-	Vazão mínima noturna inerente	Equação 2.7
------------------------------	---	----------------------------	---	--------------------------------	---	-------------------------------------	-------------

O consumo noturno pode ser estimado a partir de dados sugeridos por Lambert (1999) no Reino Unido e apresentados por Suman & Chisca Jr (2002):

- perdas após a caixa d'água - 0,50 litros/econ/h;
- uso noturno residencial - 0,60 litros/hab/h;
- uso noturno não residencial - 8,00 litros/lig. não.residencial/h;
- usos excepcionais > 5 m³/h - medir.

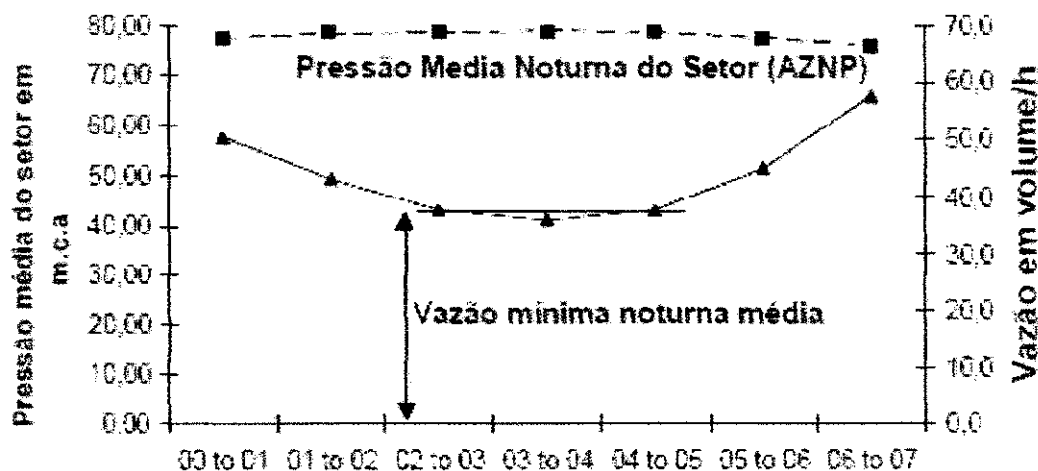
A estimativa da perda diária é feita por extrapolação da perda noturna, de onde decorre a estimativa do volume perdido em um dia.

A perda física é calculada a partir da determinação do Fator Noite-Dia (FND). Tal fator consiste no somatório dos coeficientes das pressões ao longo do dia e da pressão do horário de mínima vazão noturna (usualmente das 3 às 4 horas da madrugada). Assim, nem sempre o FND será de 24 horas (LAMBERT, 2002)

Lambert (2002) apresenta para sistemas abastecidos por gravidade com reservatórios de equalização de pressão, o FND usualmente menor que 24 horas. Já para sistemas pressurizados por recalque ou com consumo predial ligado diretamente à rede, o FND é usualmente superior a 24 horas.

A Figura 2.4 mostra a vazão mínima noturna média de um sistema tal como apresentado por Lambert & Bessey (1994 apud LAMBERT, 2002).

Figura 2.4 – Vazão Mínima Noturna Média em função da pressão média do setor



Fonte Lambert (2002).

Partindo deste método, as perdas não físicas são estimadas pela diferença entre o volume total perdido e a perda obtida pela vazão mínima noturna (perda física). Segundo Gonçalves (2000), uma vez que a parcela devida às ligações clandestinas durante o período de vazão mínima noturna é muito pequena, se comparada ao valor total da vazão mínima noturna, a perda física pode ser considerada como a própria perda obtida pela vazão mínima noturna, descontada a parcela de consumo noturno.

Esse procedimento pode ser adotado onde a rede de abastecimento seja relativamente nova, não trabalhe sob pressões muito elevadas ou quando não se dispuser de dados sobre as perdas inerentes.

Partindo da estimativa da vazão mínima noturna associada ao controle de pressão, alguns outros métodos foram desenvolvidos na estimativa das perdas físicas. Thornthorn & Lambert (2002 *apud* VIEGAS, 2003) apresentaram três desses métodos:

- **Método do balanço hídrico (*Top Down*):** consiste na estratificação dos volumes componentes do balanço hídrico em volume distribuído, volume autorizado medido, volume autorizado não medido, volume de erros de medição, volume não autorizado, perda inerente e perda real;
- **Método BABE (*Burst and Background Estimate*):** estimativa das perdas reais pela auditoria de perdas provocada por rompimentos pesquisados durante um ano;
- **Método *Bottom Up*:** estima as perdas a partir da determinação da vazão noturna. A perda diária é determinada pelo cálculo da perda noturna multiplicada pelo Fator noite-dia (FND).

Viegas (2003) aponta o método FND - Fator Noite-Dia como uma metodologia de cálculo simples com parâmetros e dados estimados por ensaios de campo.

A Vazão Mínima Noturna (Q_{MN}) é obtida através de ensaios de campo, com medição da vazão, realizados nos períodos de consumo mínimo, ou seja, entre 3 e 4 horas. De posse dos dados das pressões médias horárias no setor (PMS), da perda física noturna (QNPD) e do expoente N pode-se desenvolver o cálculo conforme segue (Ibid.):

$$FND = \left[\frac{P_{0-1}}{P_{3-4}} \right]^N + \left[\frac{P_{1-2}}{P_{3-4}} \right]^N + \left[\frac{P_{2-3}}{P_{3-4}} \right]^N + \dots + \left[\frac{P_{23-24}}{P_{3-4}} \right]^N \quad \text{Equação 2.8}$$

FND = Fator noite-dia expresso em horas.

P_{0-1} = Pressão média no intervalo de uma hora (entre 0 a 1 da manhã) em m.c.a;

P_{1-2} = Pressão média no intervalo de uma hora (entre 1 e 2 da manhã) em m.c.a. ;

P_{3-4} = Pressão no período de vazão mínima noturna em m.c.a;

N = Expoente N.

Segundo Viegas (2003), a estimativa das perdas na forma de vazamentos depende da relação Pressão x Vazão determinada a partir do coeficiente “N” citado por

May (1994), Lambert (2000c); Chaudhry, Porto & Braga (2000b). Este expoente é utilizado no cálculo do Fator Noite-Dia.

Um algoritmo proposto por May (1994 *apud* VIEGAS, 2003) é usado no cálculo de N, conforme a seguir:

Vazão	Pressão	Ln Vazão	Ln Pressão	Expoente N
Q1	P1	LN (Q1/Q2)	LN (P1/P2)	LN(Q1/Q2)/LN(P1/P2)
Q2	P2	LN (Q1/Q3)	LN (P1/P3)	LN(Q1/Q3)/LN(P1/P3)
Q3	P3	LN (Q1/QN)	LN (P1/PN)	LN(Q1/Q4)/LN(P1/P4)
QN	PN	LN (Q2/Q3)	LN (P2/P3)	LN(Q2/Q3)/LN(P2/P3)
		LN(Q2/QN)	LN (P2/PN)	LN(Q2/Q4)/LN(P1/P4)
		LN (Q3/QN)	LN (P3/PN)	LN(Q3/Q4)/LN(P3/P4)
Média				

Viegas (2003), coletou dados de pressão e vazão nos testes noturnos no período de 6 dias e através de iterações, selecionou os pares de pressão e vazão que possibilitaram um valor de R^2 superior a 0,95 pelo método dos mínimos quadrados. O valor do expoente N foi apresentado em estudos referenciados por Viegas (2003), dos quais podemos citar os seguintes:

- Reino Unido - N de 0,70 a 1,68 - média de 1,13 (LAMBERT, 2002)
- Nova Zelândia - N = 1,50 (LAMBERT, 2002);
- Japão - N entre 0,51 a 0,54 (LAMBERT, 2000);
- Japão - N de 0,65 a 2,12 -médio de 1,15 (LAMBERT, 2002)
- Brasil - DF - N de 1,23 - tubulação de PVC (GONÇALVES, 1999)
- S. Carlos - N de 0,88 (CHAUDHRY, PORTO & BRAGA 2002)

A estimativa de perdas físicas diárias pelo método FND - Fator noite-dia apresenta boa precisão e conformidade na comparação com outros resultados (*Ibid.*).

O cálculo das perdas noturnas, a partir do exposto acima, segue a seguinte rotina operacional (VIEGAS, 2003):

- 1) Determinação da vazão mínima noturna, a partir de dados de vazão e pressão coletados no período de 3 a 4 horas da manhã;
- 2) Determinação dos consumos mínimos noturnos (Q_{NU});

Para Magalhães (2001), o combate às perdas, na experiência da EMBASA na região metropolitana de Salvador (BA), incluiu a mudança de paradigma gerencial com a implantação do Programa de Gestão pela Qualidade Total (GQT), pela introdução do método japonês de gerenciamento do ambiente de trabalho “5S” e do Gerenciamento pelas diretrizes, acompanhado por um projeto de setorização em zonas de abastecimento, e uma política educacional e de esclarecimento em comunidades de baixa renda.

Chamando de isolamento das áreas abastecíveis, Yassuda & Borba Júnior (1981), por sua vez, apresentaram um sistema de planejamento e controle voltado para o aspecto operacional das redes de distribuição de água no sistema da SABESP, demonstrando um procedimento para se quantificar e controlar perdas através da setorização do sistema de abastecimento com traçado em blocos.

Dantas (1999) considerou importante a implantação de setorização como primeira etapa no controle de perdas, apontando, em seguida, o controle de pressão como atividade eficaz na redução das perdas. Avaliou, ainda, que a ausência de setorização impossibilita a identificação de pontos da rede com maior incidência de vazamentos.

Cunha (2000) apresentou uma redução de perdas em um distrito pitométrico na cidade de Timóteo (MG) de 82,1 % em julho de 1997 para 6,7 % através da operação de redes com setorização em distritos pitométricos e pesquisa de vazamentos.

Viegas (2001), propôs a redução de pressão como uma alternativa técnica para melhoria da eficiência operacional, indicando uma redução de vazões diárias de até 28,80 %, e redução das perdas de água de 23,46 l/s bem como melhoria na manutenção, com redução, por exemplo, de repavimentações em até 49 % no ano de 1999 em Santa Maria (RS).

Denapoli (2001) apresentou o gerenciamento de pressões com controle por telemetria. Neste procedimento, as informações são tomadas através de sensores instalados nas válvulas de redução de pressão e registradas em controladores lógico-programáveis.

Já Sarzedas (1999) considerou que a simples redução de pressão nas redes não é suficiente para a redução das perdas em todo o seu potencial. Para ele, deve-se proceder a um trabalho sistemático de pesquisa de vazamentos nas redes.

Na implantação de 111 válvulas redutoras de pressão na unidade de negócios do Centro de São Paulo, administrada pela SABESP, Padula Filho (2001) demonstrou um custo de 0,36 R\$/m³ de água economizada, com recuperação de vazão de 8,58 l/s em média

por válvula de pressão operando, demonstrando a enorme vantagem de se implantar sistemas redutores de pressão na rede, pela diminuição nas vazões de vazamento.

E na experiência de Silva Samuel (2001), com a substituição de redes de distribuição em Ipanema – RJ, houve redução de perdas de 39,35 % em 1996 para 28,12 % em 1998, A substituição de redes igualmente demonstrou ser eficaz no combate às perdas.

2.2.4.1 – Macromedição

Macromedição é o conjunto de medições realizadas no sistema de abastecimento de água, desde a captação de água bruta até as extremidades de jusante da rede de distribuição (SILVA *et al.*, 2003). Na rede de distribuição, a macromedição pode ser subdividida em redes setorizadas (LAMON, 2002).

Embora a macromedição envolva medição e controle de diversos parâmetros, o principal deles é a vazão de água escoando por uma determinada seção de controle.

As aplicações da macromedição podem ser (SILVA *et al.*, 2003) o controle de operação, controle de produção, dosagem de produtos químicos, controle de perdas de água e subsídio à comercialização de água. A macromedição e a micromedição são associadas no cálculo das perdas no sistema.

Pesquisas no Brasil constataram uma proporção expressiva de sistemas sem macromedição (36%), ou com macromedição parcial (41%) (*Ibid.*). A macromedição é fundamental na quantificação dos volumes aportados ao sistema, e portanto, necessária no cômputo das perdas.

2.2.4.1.1 – Instrumentos utilizados na macromedição

Na medição dos parâmetros de vazão, velocidade e pressão, necessários a macromedição, são utilizados os seguintes equipamentos (CEARÁ, 2003b):

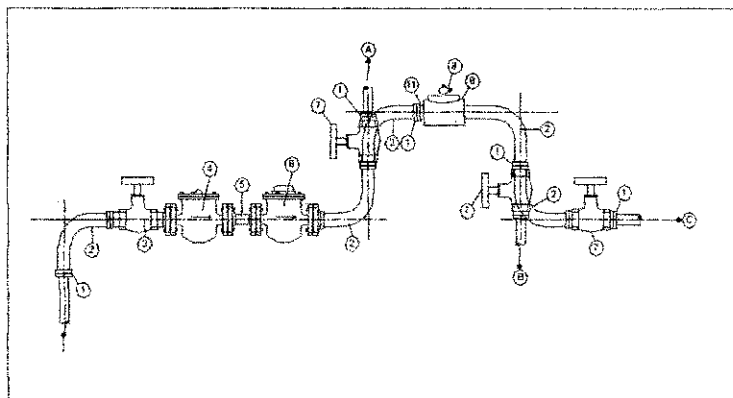
macromedidor, tubo de Pitot, registrador de pressão diferencial, manômetro metálico indicador, hidrômetro, peças, conexões e acessórios.

Macromedidor

É o equipamento utilizado na medição de vazão, nível e pressão de unidades operacionais do sistema (*Ibid.*). Os principais macromedidores de condutos fechados dividem-se em três categorias: por diferença de pressão, podendo ser do tipo venturis e bocais de medição; medidores tipo turbina e medidores estáticos ou eletrônicos. (DELMÉE, 1983; LAMON, 2002; SILVA *et al.*, 2003; CEARÁ, 2003b)

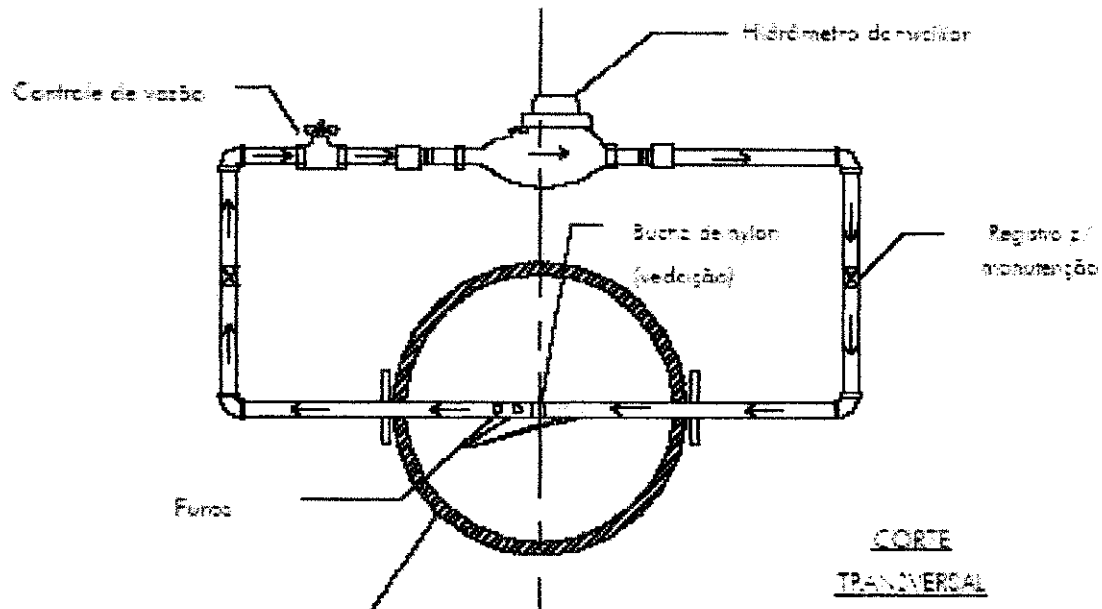
Medidores tipo turbina: Os medidores tipo *Woltmann* (tipo turbina) são também utilizados em macromedição e em micromedição de grandes consumidores. A Figura 2.5 mostra um medidor do tipo *Woltmann*.

Figura 2.5 Medidor tipo Woltmann



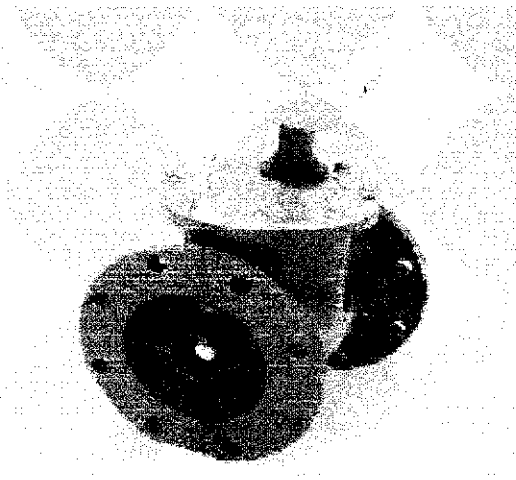
Fonte: Wolney *et al.* (1999a)

- a) Os Medidores proporcionais são hidrômetros instalados em paralelo a uma tubulação de maior diâmetro. (SILVA *et al.*, 2003). A vazão na tubulação principal será diretamente proporcional à vazão medida no hidrômetro (CEARÁ, 2003b). A Figura 2.6 mostra um medidor do tipo proporcional utilizado pela CAGEPA na Paraíba:

Figura 2.6 – Medidor tipo proporcional utilizado na CAGEPA – Paraíba

Fonte: Silva *et al.* (2003)

- b) Medidores de velocidade de inserção: Sendo do tipo magnético ou ultrassônico, seu funcionamento baseia-se na lei de Faraday referente à tensão provocada por um condutor em movimento num campo magnético (DELMÉE, 1983), sendo seu sinal de saída diretamente proporcional à velocidade fluidica (LAMON, 2002). A Figura 2.7, ilustra um medidor de inserção do tipo eletromagnético:

Figura 2.7 – Medidor de transmissão magnética

Fonte: Viegas, 2003

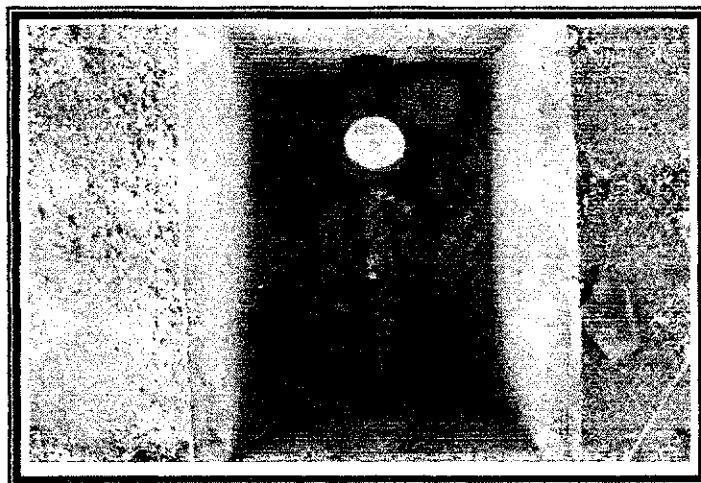
2.2.4.2 – Micromedição

A micromedição é o conjunto de ações que propicia conhecer o volume de água consumido pelos usuários (COELHO, 2001).

Wolney *et al.* (1999b) definem a micromedição como a medição do consumo realizada no ponto de abastecimento do usuário, independente de sua categoria ou faixa de consumo. Basicamente a micromedição compreende a medição periódica do volume consumido utilizando hidrômetros.

A Figura 2.8 apresenta um micromedidor típico instalado na cidade de Queimadas.

Figura 2.8 – Micromedidor típico instalado no sistema de Queimadas-PB

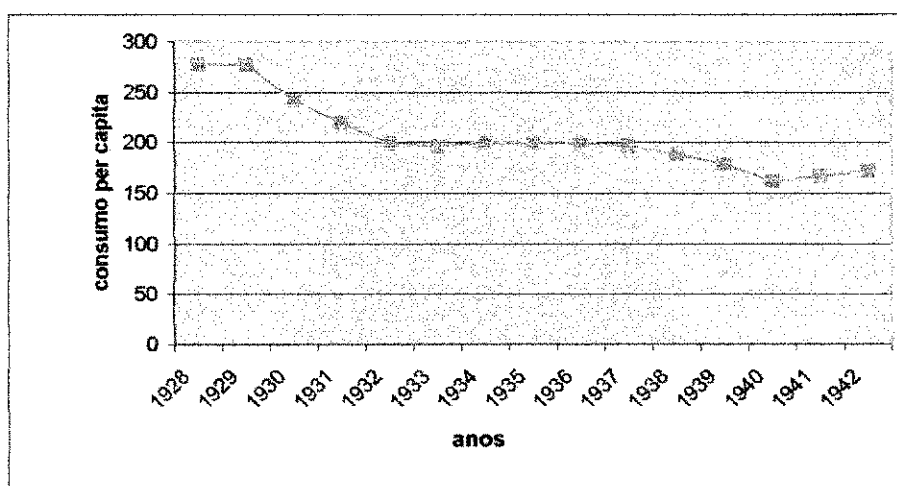


A instalação de medidores é útil para a companhia de saneamento na quantificação dos volumes comercializados e na redução do consumo e do desperdício. Segundo Favero & Dib (1981), estudos realizados pela SABESP na Região metropolitana de São Paulo indicam uma redução de 40 % do consumo efetivo após a colocação de hidrômetros em ligações prediais.

Rech (1992) observa que a instalação de 7194 medidores em Porto Alegre, proporcionou uma redução do consumo per capita de 38,37 % entre os anos de 1928 e 1942. A Figura 2.9 apresenta o gráfico da influência da instalação do hidrômetro no consumo *per capita* no município de Porto Alegre em pesquisa da DMAE no ano de 1930.

Albuquerque & Lima (1981), consideram a micromedição como prática favorável ao faturamento da companhia, quando a relação do volume faturado nas ligações com medidor sobre o volume total é superior ao nível de medição.

Figura 2.9 – Influência da instalação de hidrômetro no consumo per capita



Fonte: adaptado de Rech (1992).

Entretanto a instalação dos hidrômetros, em si, não garante o sucesso no gerenciamento do consumo. Um hidrômetro adequado deve ser instalado em função de sua faixa de consumo, evitando-se erros por submedição. Os hidrômetros são classificados pela sua classe metrológica. A NBR NM 212/99 estabelece três classes: A, B e C. Elas correspondem, nesta ordem, à capacidade de medir com exatidão vazões mínimas dentro de limites estabelecidos. Portanto, hidrômetros classe C permitem medição mais exata de vazões baixas do que os hidrômetros B e estes, por sua vez, mais que os de classe A. A Tabela 2.6, apresenta os valores característicos para os hidrômetros de classes A, B e C, segundo sua vazão nominal (WOLNEY *et al.*, 1999b).

Rech (1992) aponta que, em função da sensibilidade, um medidor deixa de registrar entre 8 e 15 % se o prédio for equipado de reservatório individual e apresentar baixo consumo. Contrariamente, os prédios sem reservatório não podem apresentar perdas elevadas, por possuírem hidrômetros que trabalham na faixa superior de medição. Ainda assim, esse autor não considera que as perdas de água de uma cidade ocorram em função de falhas na hidrometria.

A partir da observação da Tabela 2.7, apresentada por Sanchez & Motta (2000 *apud* VIEGAS, 2003) é demonstrada a relação entre a idade do hidrômetro e o índice de submedição.

Tabela 2.6 – Vazões características de hidrômetros segundo a classe metrológica e vazão nominal

CLASSE		VAZÃO NOMINAL (m ³ /h)								
		0,6	0,8	1,0	1,5	2,5	3,5	5,0	10,0	15,0
A	Qmin (l/h)	24	30	40	40	100	140	200	400	600
	Qt (l/h)	60	75	100	150	250	350	500	1000	1500
B	Qmin (l/h)	12	15	20	30	50	70	100	200	300
	Qt (l/h)	48	60	80	120	200	280	400	800	1200
C	Qmin (l/h)	6	7,5	10	15	25	35	50	100	150
	Qt (l/h)	9	11	15	22,5	37,5	52,5	75	150	225

Fonte: WOLNEY *et al.* (1999)

Tabela 2.7 – Índice de vazão não medida em hidrômetros por tempo de instalação

TEMPO DE INSTALAÇÃO	ÍNDICE DE SUBMEDIÇÃO - %
medidores novos	8,00
< 5 anos	14,80
5 - 10 anos	22,40
> 10 anos	13,90

Fonte: Sanchez & Motta (2000 *apud* VIEGAS, 2003).

2.2.4.3 – Setorização

Na maioria dos sistemas de abastecimento d'água brasileiros, predomina a mistura das zonas de pressão. A ausência de setorização é uma consequência desse processo histórico (SILVA *et al.*, 2003). A rede de distribuição é constituída por numerosas derivações e uma disposição em malha, o que justifica a necessidade de sua setorização, possibilitando um melhor gerenciamento e controle operacional (DANTAS, 1999).

A setorização consiste na delimitação da rede de distribuição em distritos pitométricos. Esses distritos constituem setores e subsetores de abastecimento isolados (COELHO, 1983). Essa delimitação é realizada em função da zona de pressão da rede de abastecimento, área de manobra, ou em função da topografia do terreno. Normalmente o

traçado do distrito pitométrico coincide com o da zona de pressão. O controle mais acurado das perdas depende de macromedição e setorização completas (SILVA *et al.*, 2003).

Dantas (1999) considera a setorização uma ferramenta técnica necessária ao planejamento, controle da operação e de perdas, além da benéfica regionalização dos serviços de operação e manutenção das redes.

2.2.4.4 – Controle de Pressão nas redes de abastecimento

Segundo Reis e Chaudhry (1997 *apud* VIEGAS, 2003), o controle de pressão nas redes de abastecimento consiste no controle da pressão excessiva ou a otimização da localização das válvulas de redução de pressão.

De acordo com Silva *et al.* (2003), para tubos metálicos em geral, a vazão perdida (Q) é uma função proporcional à raiz quadrada da carga hidráulica (H). Dessa forma, especial atenção deve ser dada ao controle de cargas hidráulicas na rede, pois sua simples redução leva a substanciais reduções nas perdas nos vazamentos existentes, além de restringir o risco de novas rupturas.

Com base na constatação de que as perdas estão relacionadas às pressões de serviço, Viegas (2001) propôs a instalação de válvulas de redução das pressões (VRPs). A Tabela 2.8 mostra a redução das perdas físicas de água em função da redução de pressão na rede de abastecimento.

Tabela 2.8 - Redução de perdas físicas por reduções de pressão

Redução de carga (%)	Redução da perda (%)
20	10
30	16
40	23
50	29
60	37

Nota: para tubos de ferro fundido ou aço.

Fonte: Silva *et al.* (2003).

2.2.4.5 – Pesquisa de Vazamentos

A pesquisa de vazamentos é uma sondagem por métodos visuais ou de ausculta do solo, para identificação de rupturas na rede de distribuição.

Os vazamentos que afloram à superfície são identificados por equipes tipo “caça vazamentos”. Magalhães (2001), por este método identificou uma média de 1.000 vazamentos por mês em Salvador (BA). Através do serviço de atendimento ao consumidor, apenas 5 % deste total foram registrados mensalmente. A detecção de vazamentos não visíveis pode ser efetuada através da utilização de aparelhos de ausculta do solo como os geofones, pela instalação de aparelhos de medição de ruído do vazamento (*Leak Noise Correlator*) na rede ou adutora ou por detector de gás (*gas tracer*) (COELHO, 2001).

2.2.4.6 – Campanhas educativas e trabalhos comunitários

A EMBASA, em Salvador (BA), utilizou uma política educacional, associada ao programa de setorização, macromedição, micromedição e pesquisa de vazamentos. O objetivo era reduzir as perdas em comunidades de baixa renda por ligações clandestinas, erros cadastrais, desperdício e vazamentos internos, dentre outras irregularidades (MAGALHÃES, 2001). Essas campanhas reduziram o nível de desperdício em alguns setores de baixa renda da região metropolitana de Salvador, além melhorar o nível de conscientização da população sobre a necessidade de se economizar água.

CAPÍTULO III

MATERIAL E MÉTODOS

3.1 – Introdução

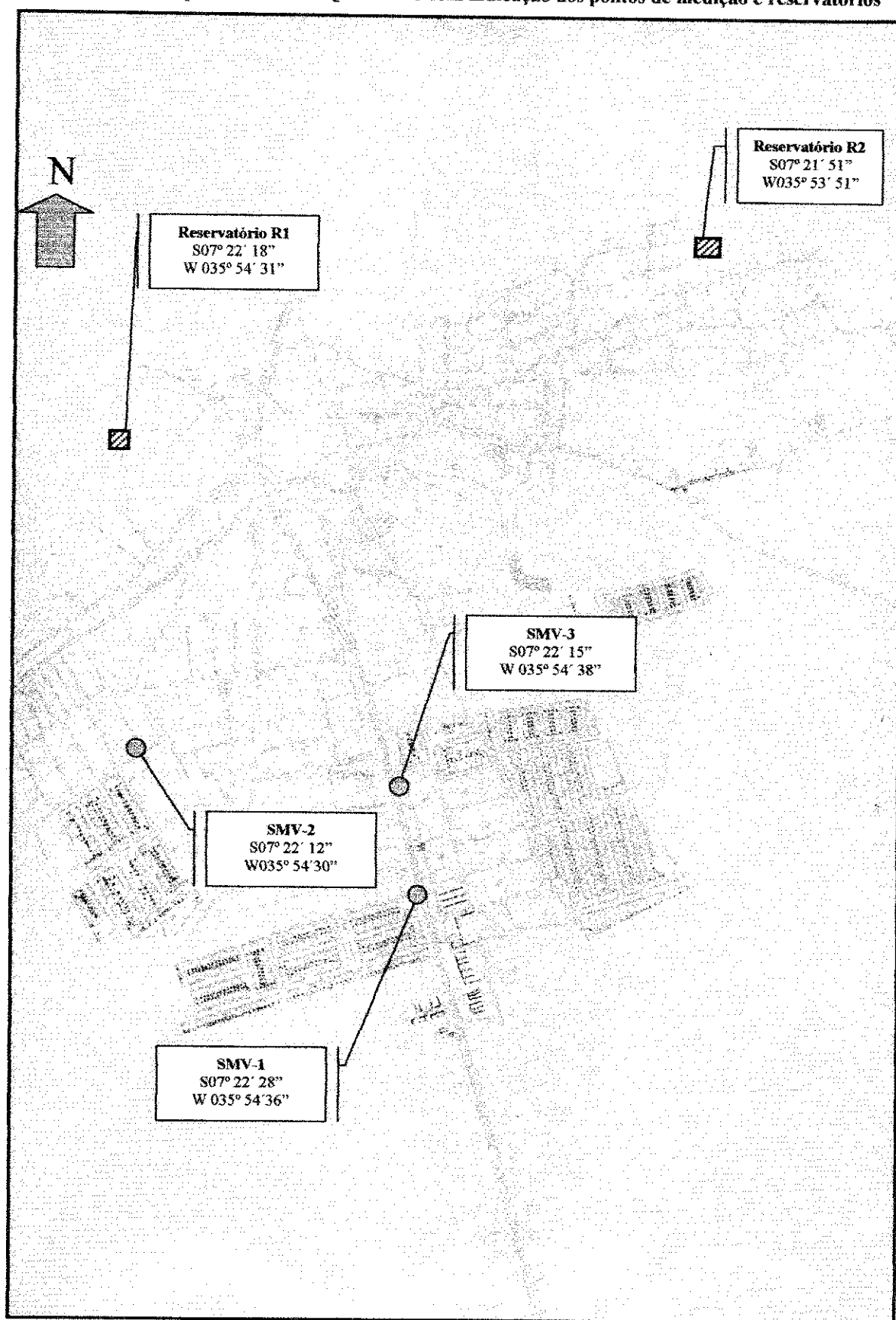
Para o desenvolvimento deste trabalho, a CAGEPA forneceu as séries históricas de dados de macromedição e micromedição do sistema de abastecimento d'água de Queimadas (PB), do ano de 2003. A partir daí, por meio de duas metodologias descritas na literatura especializada, foram estimadas as perdas físicas e não físicas bem como os custos dessas perdas no sistema.

3.2 - Descrição geral do sistema estudado

3.2.1 – Município de Queimadas

O município de Queimadas está localizado no Cariri Paraibano (07° 22' 12" Sul e 35° 54' 30" Oeste), a 138 km da Capital, João Pessoa e a 14 km ao sul de Campina Grande e, possui temperatura média anual de 23,35° C, com pluviosidade média anual de 549,20 *mm* (PARAÍBA, 2005b). Com uma população de 36.032 habitantes e crescimento populacional anual de 1,92% (IBGE, 2000), Queimadas contava com 9126 domicílios particulares permanentes, dos quais 5.373 eram abastecidos através de rede geral (*Ibid.*). Na Figura 3.1 está o esquema geral do sistema de abastecimento de Queimadas e na Figura 3.2 o mapa da cidade com o georeferenciamento dos reservatórios e pontos de medição de vazão e pressão.

Figura 3.2 – Mapa da cidade de Queimadas com indicação dos pontos de medição e reservatórios



3.2.2 – Caracterização do sistema de abastecimento

3.2.2.1 – Captação

A água fornecida ao sistema provém do açude Epitácio Pessoa, conhecido como açude de Boqueirão por estar localizado no município vizinho de Boqueirão, a 36 km da sede do município de Queimadas. O manancial tem capacidade de 418,09. 10⁶ m³ (PARAÍBA, 2005). A tomada de água é realizada no reservatório de lavagem de filtro da ETA de Gravatá.

3.2.2.2 – Adução

A estação elevatória possui vazão de recalque de 130 m³/h e altura manométrica de 100 m.c.a. funcionando 20 horas por dia. A supressão do abastecimento das 17 às 21 h pode, eventualmente, causar uso noturno pelo enchimento das caixas d'água, por causa da demanda reprimida (GONÇALVES, 2000) elevando o consumo noturno e apontando elevadas perdas noturnas irreais. Entretanto, o ligamento das bombas às 21 horas, garante a recarga dos reservatórios domésticos, na sua grande maioria de 500 a 1000 litros.

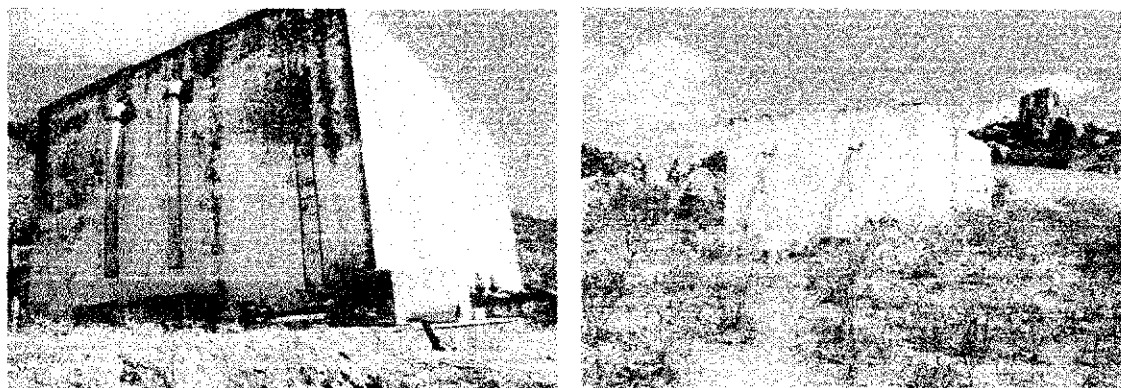
A adutora é construída nos materiais de F^oF^o, CA e Vinilfer, com diâmetro entre 200 e 300 mm com extensão de 8.408 m. Em 2003, 15 grandes vazamentos foram detectados e retirados. As perdas físicas observadas neste trabalho nesse período refletiram esses vazamentos bem como as perdas de todas as unidades de sistema, excetuando-se a estação de tratamento, em função da existência de um único macromedidor instalado a montante da adutora de água tratada.

3.2.2.3 – Reservação

O sistema de abastecimento de Queimadas está dividido em duas zonas de pressão, com dois reservatórios semi-enterrados, sendo: R-1 (07° 22' 18" Sul e 035° 54' 31" Oeste; elevação: 475,00 m), com capacidade de 500 m³ sem medição de nível, que abastece 78,53 % das ligações na zona baixa, e o R2 (07° 21' 51" Sul e 035° 53' 51"

Oeste; elevação: 508,00 m) com capacidade de 300 m³ que abastece 9,95 % das ligações na zona alta. Um reservatório apoiado de 50 m³ abastece a localidade de Baixa Verde na zona rural e o restante das ligações é abastecido através de sangria na adutora, sem passar pelos reservatórios principais do sistema. De acordo com o escritório local, não houve extravasamentos nesses reservatórios no ano de 2003. A Figura 3.3 mostra os reservatórios R1 e R2.

Figura 3.3 – Reservatórios R1 e R2



3.2.2.4 – Distribuição

A rede de distribuição, possui extensão de 8.000 m, nos materiais de PVC e CA com diâmetros variando entre 50 e 300 mm e é caracterizada pelo assentamento em valas rasas e por vazamentos constantes.

3.2.2.5 – Ligações Prediais

O sistema de Queimadas atendeu em dezembro de 2003 a 4.672 ligações prediais, sendo 4.506 residenciais, 88 comerciais, 4 industriais, 53 públicas e 21 mistas. Atualmente, o sistema atende a 5.670 ligações (PARAÍBA, 2005).

As ligações não medidas representaram 17,83 % das ligações do sistema, com consumo estimado a partir de critérios comerciais definidos pela CAGEPA. A estimativa para cada categoria de consumo assume os seguintes valores (PARAÍBA, 2003):

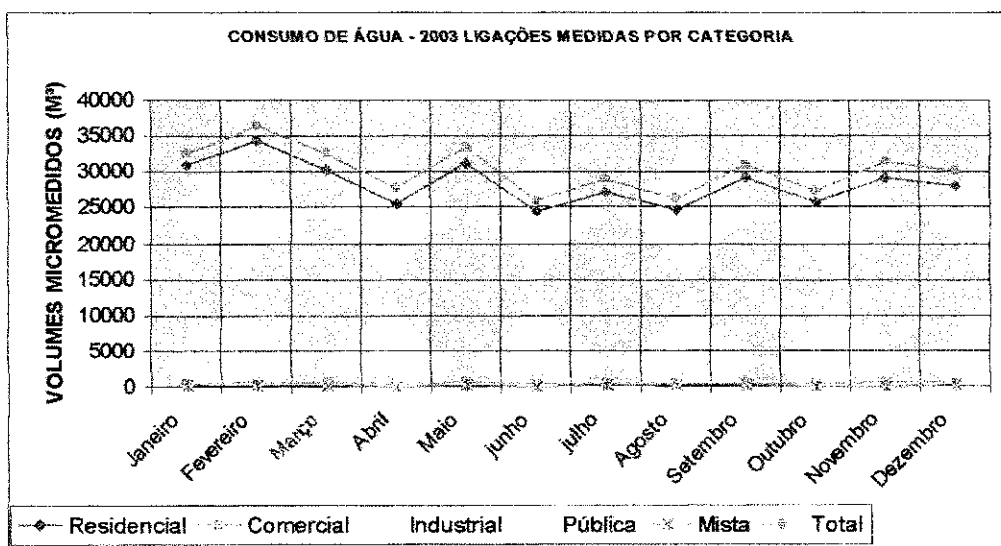
- Categoria residencial → 8 a 11 m³

- Categoria comercial → 10 a 12 m³
- Categoria industrial → 15 a 62 m³
- Categoria pública → 21 a 34 m³
- Categoria mista → 13 a 18 m³

O índice de hidrometração das ligações residenciais foi de 83,19 %, bem acima da média dos prestadores de serviço regionais no Nordeste apresentada pelo SNIS (2002) que foi abaixo de 40 %. Nesse sentido o sistema está em condição privilegiada.

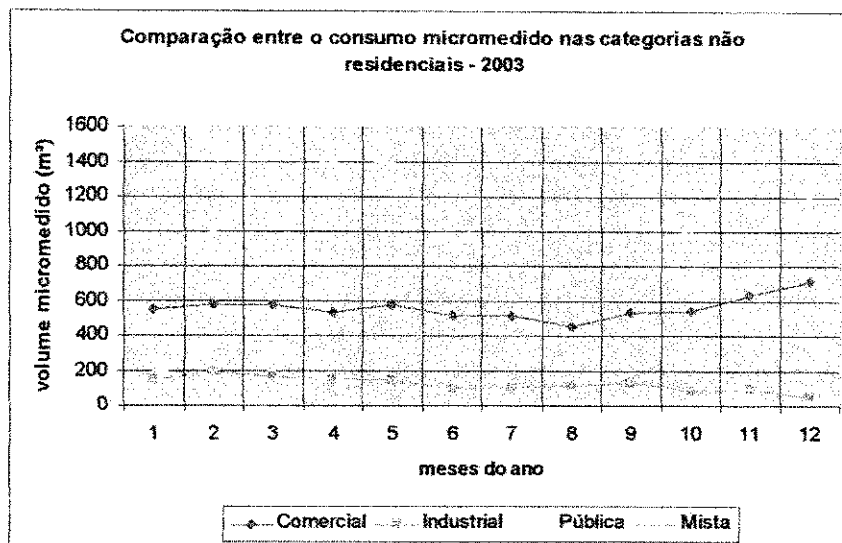
As ligações prediais no sistema são predominantemente residenciais, com consumo medido médio de 7,90 m³/economia.mês em 2003. O valor médio do consumo teve seu máximo em 9,70 m³/economia.mês e mínimo de 6,80 m³/economia.mês. Representando 96,45 % do total de ligações, as ligações residenciais consumiram 93,49 % do volume médio mensal utilizado (micromedido + estimado) seguido pelas ligações públicas com 3,30 % do consumo total. As ligações comerciais consumiram 2,16 %, e as ligações mista e industrial, respectivamente 0,77 e 0,31 % do volume médio mensal. A Figura 3.4 ilustra o consumo medido nas diversas categorias de consumo, observando-se a utilização quase total da água nas ligações residenciais. Isto aponta para uma homogeneidade no perfil de consumo da população.

Figura 3.4 – Consumo de água no ano de 2003 para as ligações medidas por categoria de consumo



Na Figura 3.5 é comparado o consumo micromedido das categorias não residenciais, evidenciando o volume relativamente pequeno de consumo das mesmas.

Figura 3.5 – Consumo micromedido das categorias não residenciais no ano de 2003.



A categoria de consumo pública é a mais representativa entre as demais categorias de consumo, seguida pela categoria comercial. A categoria industrial e a mista se confundem no seu comportamento de consumo.

A metodologia de estimativa de perdas proposta neste trabalho estimou as perdas físicas e não-físicas dos setores de medição para todo o sistema, levando em consideração a uniformidade de consumo em torno de uma única categoria, tanto na quantidade predominante do tipo de ligação, quanto na magnitude da demanda para esta categoria, sendo as demais pouco representativas no cômputo global do consumo e das perdas, contra-indicando seu uso em sistemas que não sejam de pequeno porte e/ou com perfil de consumo similar.

3.3 – Descrição das atividades de medição e cálculo das perdas

3.3.1 – Medição de volumes fornecidos ao sistema (macromedição)

Os volumes fornecidos foram medidos através do medidor proporcional monitorado pela CAGEPA, na saída do reservatório de lavagem de filtro na ETA de Gravatá.

O sistema de Queimadas constitui-se um setor de abastecimento único, sem exportação de volumes para sistemas secundários.

Os volumes macromedidos são computados envolvendo os volumes medidos nas unidades de sistema que vão desde a adutora de água tratada até os reservatórios R1 e R2. Não há macromedidores instalados a jusante dos reservatórios R1 e R2.

Na determinação dos componentes físicos e não físicos das perdas, foram utilizadas duas metodologias: a metodologia da vazão mínima noturna (QMN) e a metodologia empregada pela EMBASA no estado da Bahia.

3.3.2 – Medição e estimativa de volumes consumidos no sistema

3.3.2.1 – Medição dos volumes consumidos

A micromedição foi realizada em 14 setores no período de janeiro a dezembro de 2003 em 3.839 ligações medidas.

3.3.2.2 – Estimativa dos volumes consumidos e não medidos

Para as ligações não medidas foram feitas estimativas de consumo, com faixas de consumos entre 8 e 62 m³. Estes volumes constam do relatório de micromedição fornecido pela CAGEPA (PARAÍBA, 2003).

3.4 – Metodologia para o cálculo dos indicadores de perdas no sistema

Os índices de perdas, foram obtidos conforme procedimentos do Documento Técnico de Apoio – PNCDA-DTA / A2 (SILVA *et al.*, 2003), descritos a seguir:

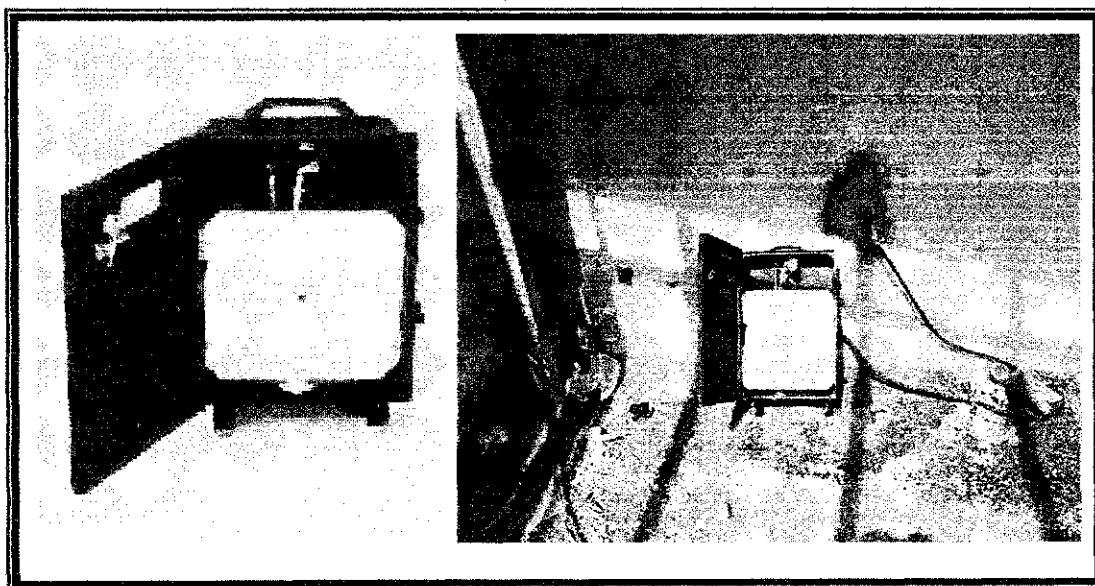
- a) Cálculo do volume perdido mensal, pela diferença entre o volume fornecido e o volume utilizado;
- b) Cálculo do volume utilizado (micromedido + estimado + recuperado + operacional + especial). Os volumes recuperados, operacionais e especiais foram desconsiderados, pois a CAGEPA não realiza seu cômputo em Queimadas;

- c) Cálculo do índice global de água não contabilizada (%);
- d) Parcelamento proporcional ao número de ligações de cada zona de pressão (ZPR-1 e ZPR-2), dos volumes fornecidos e utilizados no sistema, nos setores de medição georeferenciados (SMV-1: 07° 22' 28" Sul e 035° 54' 36" Oeste; SMV-2: 07° 22' 12" Sul e 035° 54' 30" Oeste e SMV-3: 07° 22' 15" Sul e 035° 54' 38" Oeste) situados na zona de pressão ZPR-1;
- e) Estimativa das perdas físicas e aparentes através da vazão mínima noturna nos setores de medição obtendo-se as perdas físicas e aparentes para todo o sistema;
- f) Estimativa das perdas físicas e aparentes pelo método aplicado pela EMBASA e descrito por Magalhães (2001).

3.5 – Medição da pressão e vazão diária registrada

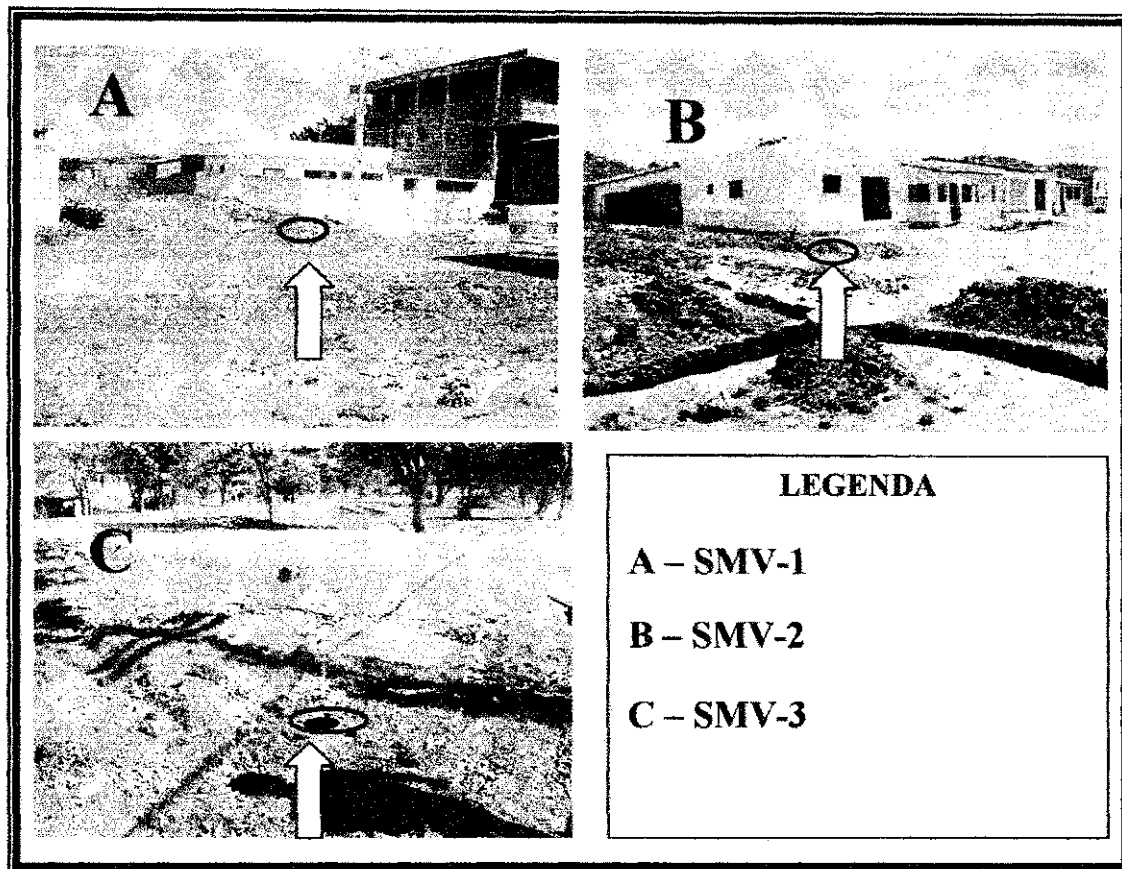
A medição foi feita num período de 24 horas com registro gráfico dos resultados (NUNES, 2002). Foi utilizado registrador gráfico circular de pressão diferencial nos três setores de medição (SMV-1, SMV-2 e SMV-3). A Figura 3.6 mostra o registrador de pressão e o registrador instalado no local de leitura de SMV-3. Os materiais e equipamentos utilizados na instalação e medição foram: Chave grifo de 8", 10" e 12"; adaptador em bronze de $\varnothing 1/2"$; fita veda-rosca tipo teflon; três mangueiras de pitometria; registrador diferencial de pressão com gráficos circulares (Figura 3.6).

Figura 3.6 – Registrador de pressão com gráfico circular instalado no local de medição SMV-3



A Figura 3.7 apresenta os pontos de medição de pressão e vazão SMV-1, SMV-2 e SMV-3, georeferenciados por GPS.

Figura 3.7 – Pontos de medição de pressão e vazão SMV-1, SMV-2 e SMV-3



3.6 – Cálculo da vazão mínima noturna

A vazão mínima noturna foi medida entre 3 e 4 horas da manhã (VIEGAS, 2003; LAMBERT, 2002; GONÇALVES, 2000) durante 3 semanas nos seguintes dias:

- Setor de medição de vazão SMV-1: entre 04.10.2004 e 11.10.2004
- Setor de medição de vazão SMV-2: entre 12.01.2005 e 25.01.2005
- Setor de medição de vazão SMV-3: entre 01.03.2005 e 07.03.2005

O cálculo da vazão mínima noturna pela metodologia proposta por Lambert & Bessey (1994) e citada por Viegas (2003) e Gonçalves (2000), consistiu na aplicação adaptada do método *Bottom Up* (LAMBERT, 2002) estimando a perda diária pela aplicação do Fator Noite-Dia (FND) sobre a vazão mínima noturna medida no setor.

O método seguiu os seguintes procedimentos:

- a) Instalação de registrador de pressão diferencial em três setores registrando a pressão em 24 horas durante seis dias;
- b) Instalação de medidor Woltmann (Figura 3.8) de 60 mm nos três setores escolhidos dentro da zona de pressão ZPR-1 (atendendo 78,53 % das ligações ativas);
- c) Medição das vazões noturnas no período das 3 às 4 horas da manhã por seis dias;
- d) Estimativa do consumo noturno em 0,60 l/hab.h (SUMAN & CHISCA JR, 2002);

Figura 3.8 – Medidor tipo Woltmann instalado em SMV-3



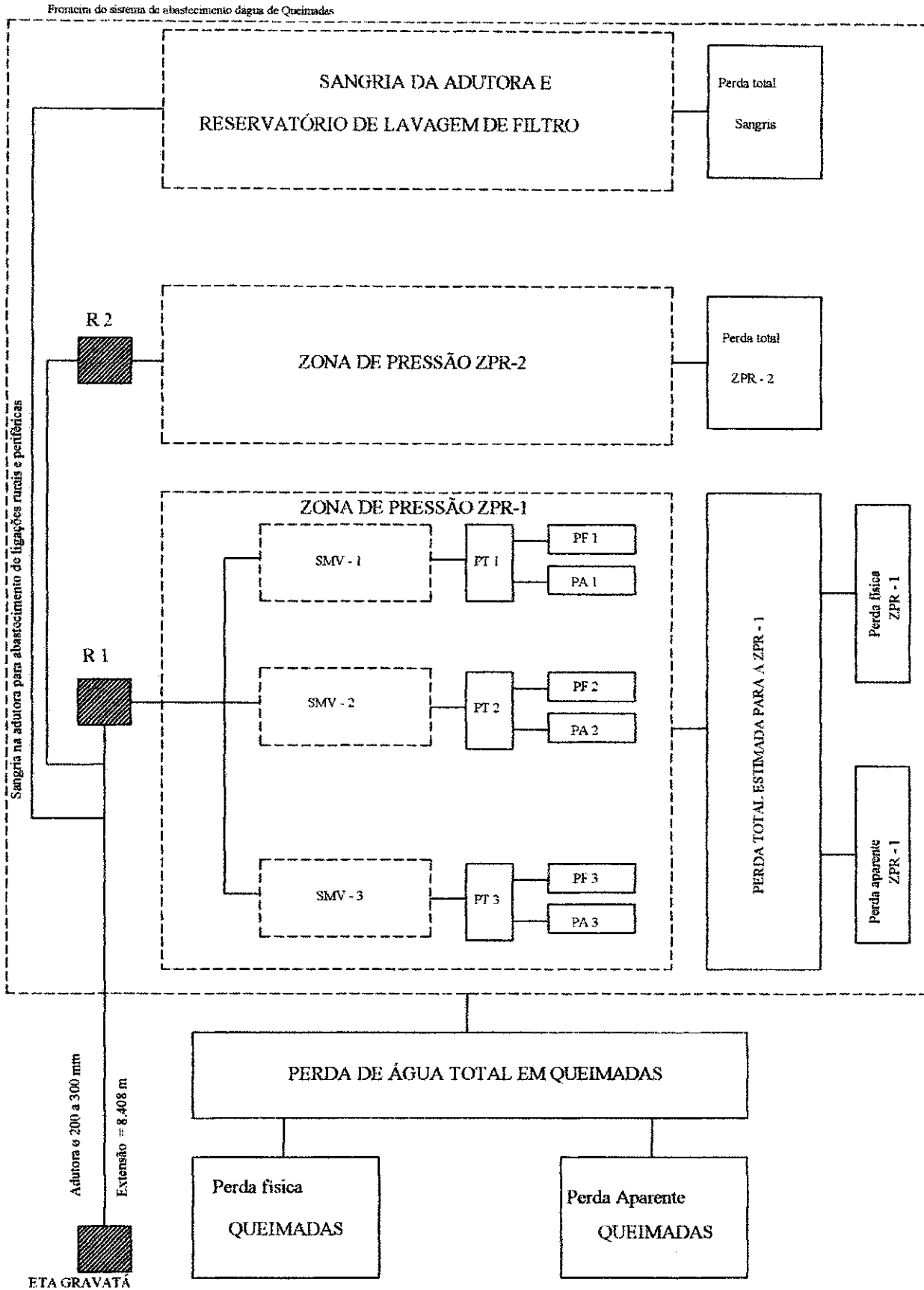
3.7 - Estimativa das perdas físicas

Utilizando a vazão mínima noturna, procedeu-se o cálculo estimativo das perdas físicas para os setores de medição de vazão e para o sistema como um todo, através do seguinte procedimento:

- a) Cálculo da Perda Noturna (PN) a partir da equação 2.7;
- b) Determinação do coeficiente N, a partir do algoritmo descrito na seção 2.2.3;
- c) Determinação do Fator Noite-Dia (FND) pela equação 2.8;
- d) Cálculo da Perda Física Diária (PFD) aplicando o Fator Noite-Dia à perda noturna;

A Figura 3.9 apresenta a metodologia empregada na estimativa das perdas neste trabalho.

gura 3.9 - Esquema da metodologia de estimativa de perdas de água totais, físicas e aparentes



Para a determinação das perdas físicas, alguns fatores foram limitantes na metodologia aplicada neste trabalho:

1. A CAGEPA, não utiliza qualquer método de determinação de perdas físicas. O critério de acompanhamento das perdas está baseado no indicador percentual básico de água não contabilizada (SILVA *et al.*, 2003). Assim a CAGEPA não dispunha de séries históricas de medição de vazão mínima noturna ou pressão na rede do sistema de Queimadas, sendo necessária a medição em três setores representativos no sistema para estimar as perdas físicas para todo o sistema.
2. Houve restrições, ao longo da pesquisa, para a obtenção de equipamentos adequados e em número suficiente para a realização das medições de vazão mínima noturna e monitoramento da pressão em mais de um ponto na rede, dificultando os testes de medição contínua (24 horas). Um único medidor Woltmann e uma caixa de registro de pressão foram instalados em três setores em três semanas, a fim de medir a vazão mínima noturna e as pressões nos setores.
3. A cidade não possui macromedição instalada por unidade de sistema, nem na saída de cada reservatório, o que minimiza a acurácia da estimativa. As perdas calculadas envolvem tanto as perdas na adutora, como aquelas ocorridas na rede de distribuição.
4. A cidade oferece riscos reais de assaltos para a realização das medições na alta madrugada. Seria necessária a construção de abrigos para medidores que armazenam os dados (*data loggers*) para posterior transferência para computadores ou através de implantação de um sistema de telemetria. O medidor Woltmann foi instalado no três setores e coberto com uma roda de caminhão, improvisando um abrigo e camuflagem, a fim de evitar a intervenção de curiosos;
5. A instalação de equipamentos de medição contínua (24 h) se mostrou inviável em função da falta de condições adequadas para proteção dos mesmos da ação de curiosos e vândalos. A CAGEPA não disponibilizou “*data loggers*” e mesmo que os tivesse não haveria como instala-los com segurança no local de medição por longo período de tempo sem risco de roubo. Assim as medições de vazão foram realizadas apenas no período de vazão mínima noturna (3 às 4 horas da manhã). As pressões foram registradas para um período de 24 horas, já que a caixa registradora de pressão ficaram instaladas dentro do terreno de residências próximas ao ponto de medição de vazão.

3.8 – Estimativa das perdas não físicas

Dois métodos foram utilizados para a estimativa das perdas não físicas neste trabalho. O primeiro consistiu em fazer a diferença entre o volume total perdido e a perda obtida através da vazão mínima noturna para a obtenção da perda física. (GONÇALVES, 2000); o outro estimou as perdas aparentes, através do levantamento de suas componentes (MAGALHÃES, 2001).

3.9 – Estimativa dos custos financeiros das perdas de água

Objetivando quantificar financeiramente as perdas, foram estimados os custos das perdas físicas e aparentes, a partir dos resultados das perdas obtidas pelo método da vazão mínima noturna (QMN).

CAPÍTULO IV

APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

4.0 – APRESENTAÇÃO DO CONJUNTO DE DADOS

Os resultados são subdivididos em cinco seções. Na primeira é apresentado o sistema de abastecimento d'água estudado; na segunda são apresentadas as séries históricas de dados de macromedição e micromedição; na terceira, o perfil de consumo do sistema; na quarta os volumes perdidos e a estimativa das perdas físicas e não físicas com base no método da vazão mínima noturna (QMN) e no método da EMBASA; na quinta e última, uma estimativa dos custos das perdas para a Companhia de Saneamento.

A Figura 4.1 apresenta o esquema representativo da metodologia de estimativa de perdas de água totais, físicas e aparentes proposta nesse trabalho.

4.1.0 – O Sistema de abastecimento d'água de Queimadas

O sistema de abastecimento d'água de Queimadas abastecia, em 2003, 36032 habitantes (IBGE, 2000) possuindo 4672 ligações (dezembro/2003) com índices de hidrometração em torno de 83,19 % nas ligações domiciliares (3 710 ligações), 67,81 % nas ligações comerciais (60 ligações), 90,32 % nas ligações públicas (48 ligações) e 79,44 % nas ligações mistas (17 ligações). As ligações industriais do período (4) são 100 % medidas. Assim são totalizadas 3839 ligações medidas e 833 não medidas. A Tabela 4.1 apresenta a posição de agosto de 2004 das ligações ativas e inativas divididas por zonas de micromedição, uma vez que o escritório local não dispunha destes dados para o ano de 2003.

Tabela 4.1 – Ligações ativas e inativas no sistema de Queimadas em agosto de 2004

Alimentação	Zona	Ligações Ativas	%	Inativas	%	Totais	%
R1	1	1865	78,53	307	65,8	2172	76,42
	2	1910		265		2175	
	3	130		34		164	
	4	41		53		94	
R2	5	119	9,95	57	26,4	176	12,68
	6	262		119		378	
	7	119		91		210	
ADUTORA	8	300	8,736	6	5,19	306	8,148
	9	139		46		185	
R. FILTRO	10	40	2,786	8	2,6	48	2,755
	11	14		6		20	
	12	48		8		56	
	13	27		4		31	
	14	11		0		11	
Total		5025	100	1001	100	6026	100

Fonte: CAGEPA: Escritório de Queimadas

A Tabela 4.2 apresenta os tipos de hidrômetros em funcionamento no sistema de abastecimento de Queimadas. Da Tabela 4.2, é possível observar que a grande parte dos hidrômetros instalados na cidade pertence à classe metrológica intermediária B, com nível médio de precisão.

Tabela 4.2 – Hidrômetros em funcionamento no município de Queimadas

Fabricante	Tipo	Alimentação	Modelo	Classe	Q nominal (m³/h)	Q mínima (m³/h)
Actavis-Iguassu	turbina	monojoato	-	B	1,50 m³/h	-
Turbimax	turbina	monojoato	TXM300/B15	B	1,50 m³/h	0,03 m³/h
Schlumberger	turbina	monojoato	-	A	1,50 m³/h	-

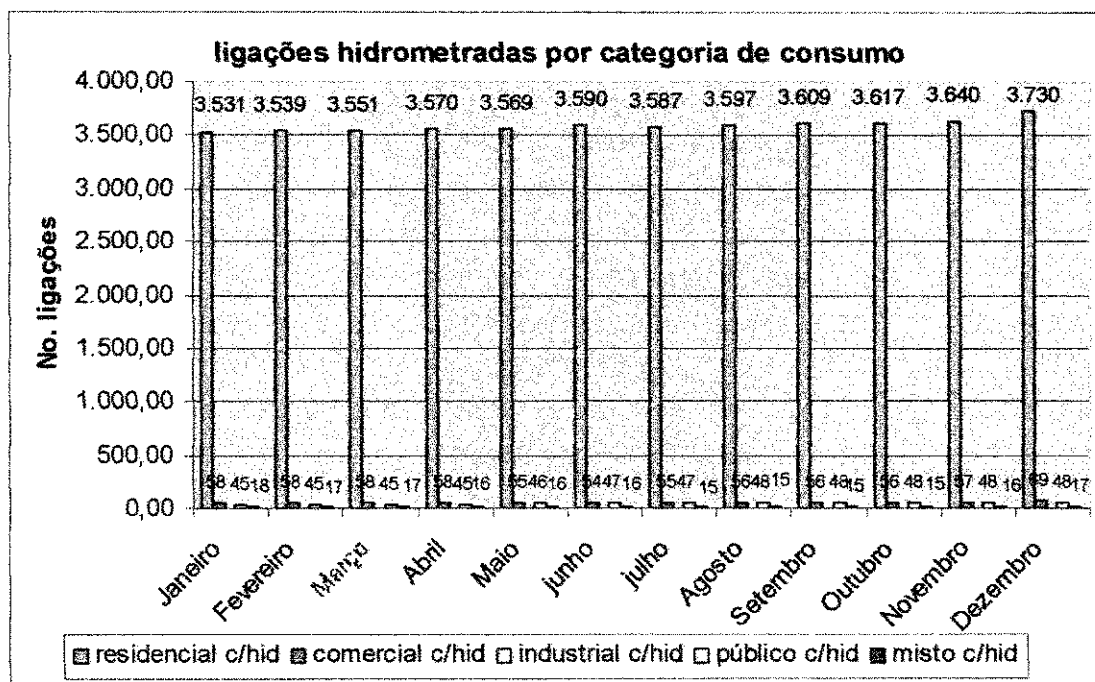
Fonte: CAGEPA - Escritório local de Queimadas

A Tabela 4.3 mostra o número de ligações e economias por categoria de consumo e a Figura 4.2, o número de ligações medidas por categoria de consumo, sendo possível observar a predominância das ligações domiciliares sobre as demais categorias de consumo.

Tabela 4.3 – Número de ligações e economias por categoria de consumo

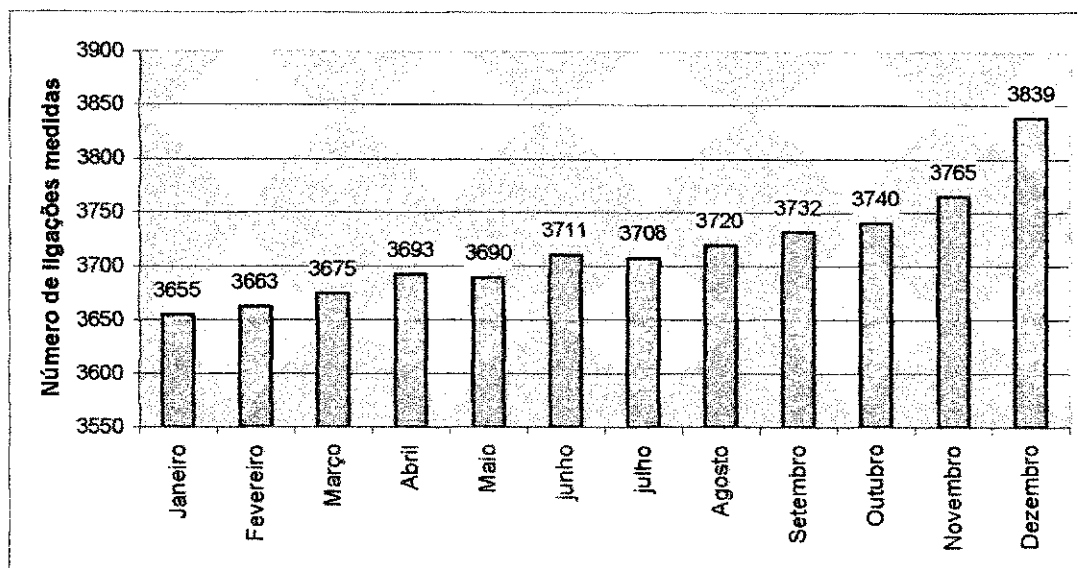
MÊS	LIGAÇÕES PREDIAIS						ECONOMIAS					
	Residencial	Comercial	Industrial	Público	Misto	Total	Residencial	Comercial	Industrial	Público	Misto	Total
Janeiro	4232	87	3	50	23	4395	4264	89	3	50	52	4458
Fevereiro	4247	86	4	50	22	4409	4280	88	4	50	50	4472
Março	4263	86	4	50	21	4424	4297	88	4	50	48	4487
Abril	4280	86	4	50	20	4440	4312	88	4	50	46	4500
Maio	4276	82	4	51	20	4433	4308	84	4	51	46	4489
Junho	4298	81	4	52	20	4455	4330	83	4	52	46	4515
Julho	4295	82	4	52	19	4452	4327	84	4	52	44	4511
Agosto	4319	83	4	53	19	4478	4351	85	4	53	42	4535
Setembro	4332	82	4	53	19	4480	4363	84	4	53	42	4546
Outubro	4371	82	4	53	19	4529	4403	84	4	53	42	4586
Novembro	4413	83	4	53	20	4573	4443	85	4	53	44	4629
Dezembro	4506	88	4	53	21	4672	4536	90	4	53	46	4729
Médias	4319	84	4	52	20	4479	4351	86	4	52	46	4538

Figura 4.2 – Ligações hidrometradas por categoria de consumo



A evolução do número de ligações no ano de 2003 é observada na Figura 4.3. A tendência do aumento das perdas ao longo do ano pode estar relacionada ao crescimento do número de ligações no mesmo período.

Figura 4.3 – Evolução do número de ligações medidas no ano de 2003



A Tabela 4.4 apresenta o número de ligações medidas e não medidas por categoria de consumo.

Tabela 4.4 – Número de ligações medidas e não medidas por categoria de consumo

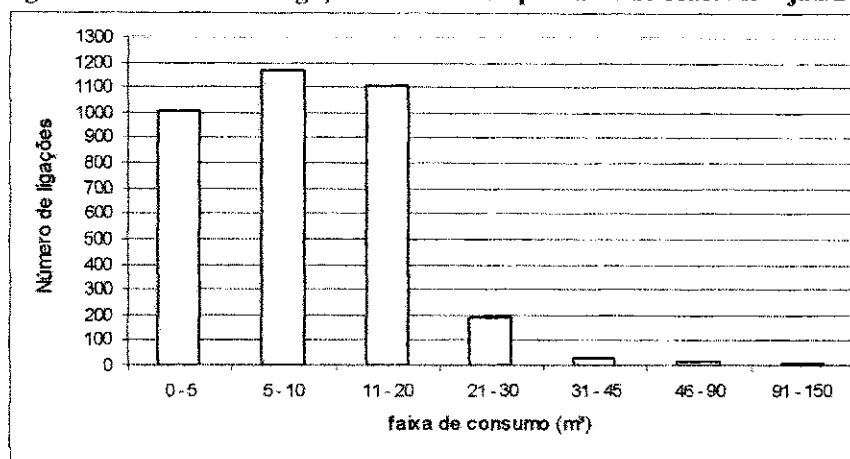
Categoria	No. Ligações		
	Medidas	Não medidas	Totais
Residencial	3.710	796	4506
Comercial	60	28	88
Industrial	4	0	4
Pública	48	5	53
Mista	17	4	21
Total	3.839	833	4.672

Nota: Posição em Dezembro de 2003.

Fonte: CAGEPA - Regional da Borborema

De acordo com os dados apresentados na Figura 4.4, 93,09 % das ligações encontram-se na faixa de consumo entre 0 e 20 m³/mês, demonstrando o perfil de consumo das ligações ativas do sistema.

Figura 4.4 – Número de ligações residenciais por faixa de consumo – jan/2003



Ligações clandestinas foram detectadas em uma pequena campanha realizada pela CAGEPA em parceria com empresa terceirizada no ano de 2003 e são apresentadas na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 – Pesquisa de ligações clandestinas no ano de 2003 em Queimadas-PB

mês	ligações pesquisadas	religações clandestinas	%
Janeiro	25	8	32,00
Fevereiro	19	8	42,11
Março	23	12	52,17
Abril	29	1	3,45
Maio	30	0	0,00
Junho	30	5	16,67
julho	15	0	0,00
Agosto	13	3	23,08
Setembro	19	0	0,00
Outubro	0	0	0,00
Novembro	0	0	0,00
Dezembro	23	9	39,13
Total	226	46	20,35

Fonte: Escritório local da CAGEPA de Queimadas

Pelo menos 20,35 % das ligações pesquisadas no setor SMV-1 (4,83 % do número de ligações totais) apresentavam ligações clandestinas, contribuindo significativamente para as perdas aparentes do sistema.

4.2.0 Séries históricas de macromedição e micromedição

4.2.1 – Volume distribuído

Foi realizada a verificação da normalidade das séries históricas de macromedição e micromedição, aplicando-se o teste não paramétrico de *Kolmogorov-Smirnov* (SOKAL & ROHLF, 1983). Todos os dados apresentaram normalidade.

O volume distribuído foi obtido através de medidor proporcional aferido pela equipe de pitometria da CAGEPA, localizado no início da adutora de água tratada na ETA de Gravatá. Os dados de fornecimento diário de água foram cedidos pela Divisão de Controle de Perdas e Medição do Regional da Borborema da CAGEPA, cobrindo o período de 01/jan/2003 a 31/dez/2003.

As Figuras A1 a A4 do Apêndice A mostram a variação dos volumes entregues nos meses do ano de 2003. A Tabela 4.6 apresenta os volumes diários de água fornecidos ao sistema em 2003 e o parcelamento proporcional do volume para as zonas de pressão ZPR-1 e ZPR-2 e setores SMV-1, SMV-2 e SMV-3. Na Figura A5 do Apêndice A, é observada a variação de volume de água fornecido ao sistema no ano de 2003, destacando-se a amplitude das variações e a sazonalidade do consumo decorrente dos períodos de inverno e verão. Um volume total de 825834,42 m³ de água tratada foi fornecido ao sistema, com uma média mensal de 68819,54 m³.

Tabela 4.6 – Distribuição proporcional do volume macromedido nas zonas de pressão e setores de medição de vazão no sistema de Queimadas no ano de 2003.

Mês	Volume fornecido	Zonas de pressão				
		ZPR - 1	ZPR - 1			ZPR - 2
			SMV-1	SMV-2	SMV-3	
Janeiro	76503,72	58466,67	2117,99	7242,15	5107,08	18037,05
Fevereiro	63025,02	48165,81	1744,83	5966,20	4207,30	14859,22
Março	76802,41	58694,95	2126,26	7270,42	5127,02	18107,47
Abril	70604,46	53958,26	1954,67	6683,70	4713,27	16646,19
Mai	65700,85	50210,76	1818,91	6219,50	4385,92	15490,09
Junho	50616,66	38682,93	1401,31	4791,58	3378,96	11933,73
Julho	70840,92	54138,98	1961,21	6706,08	4729,05	16701,95
Agosto	55794,07	42639,68	1544,65	5281,69	3724,59	13154,40
Setembro	61058,60	46663,01	1690,39	5780,05	4076,03	14395,60
Outubro	77175,79	58980,29	2136,59	7305,77	5151,94	18195,50
Novembro	72857,13	55679,83	2017,03	6896,95	4863,65	17177,30
Dezembro	84854,78	64848,83	2349,18	8032,69	5664,56	20005,95
Total	825834,42	631129,99	22863,02	78176,78	55129,38	194704,43
Média	68819,54	52594,17	1905,25	6514,73	4594,11	16225,37

4.2.2 – Volumes Consumidos

O volume consumido foi obtido a partir do relatório de micromedição e estimativas comerciais da CAGEPA e cobriu o período de jan/2003 a dez/2003 (PARAÍBA, 2003).

O volume consumido foi igualmente parcelado pelas zonas de pressão e setores de medição de vazão, e está apresentado na Tabela 4.7.

Tabela 4.7 – Distribuição do volume consumido nas zonas de pressão e setores de medição de vazão

Mês	Volume Consumido	Zonas de pressão				
		ZPR - 1	ZPR - 1			ZPR - 2
			SMV-1	SMV-2	SMV-3	
Janeiro	44713,00	34171,15	1237,87	4232,71	2984,86	10541,85
Fevereiro	48326,00	36932,33	1337,89	4574,73	3226,05	11393,67
Março	44378,00	33915,14	1228,59	4201,00	2962,50	10462,86
Abril	39276,00	30016,02	1087,35	3718,02	2621,91	9259,98
Mai	45729,00	34947,61	1266,00	4328,89	3052,68	10781,39
Junho	37696,00	28808,53	1043,60	3568,45	2516,43	8887,47
Julho	40704,00	31107,34	1126,88	3853,20	2717,24	9596,66
Agosto	37445,00	28616,71	1036,66	3544,69	2499,68	8828,29
Setembro	42753,00	32673,26	1183,61	4047,17	2854,02	10079,74
Outubro	38992,00	29798,98	1079,48	3691,14	2602,95	9193,02
Novembro	43075,00	32919,34	1192,52	4077,65	2875,51	10155,66
Dezembro	42475,00	32460,80	1175,91	4020,85	2835,46	10014,20
Total	505562,00	386367,21	13996,36	47858,51	33749,28	119194,79
Média	42130,17	32197,27	1166,36	3988,21	2812,44	9932,90

4.3.0 – Perfil do consumo de água no sistema de abastecimento

As perdas relacionam-se ao estado físico, ao controle operacional (HERRERA & LEOPOLDO, 1995) e aos hábitos de consumo e situação sócio-cultural da população atendida (FAVERO & DIB, 1981; MAGALHÃES, 2001).

Por isso, foi traçado um perfil de consumo, apresentado na Tabela 4.8. O volume perdido foi calculado fazendo a diferença entre o volume total fornecido macromedido e o volume total consumido que inclui o volume micromedido e o volume estimado. A Figura 4.5 mostra a variação do consumo por categoria de ligação no ano de 2003.

Na Tabela 4.8 é possível observar um volume distribuído médio de 68819,54 m³ com volume médio *per capita* distribuído de 95,85 l/hab.dia. O volume médio micromedido foi de 30331,58 m³, e o consumo médio *per capita* de 61,92 l/hab.dia. O volume médio mensal perdido foi de 26689,37 m³, evidenciando o potencial de recuperação de volumes em média de 37,63 l/hab.dia. A Figura 4.6 compara os consumos *per capita* em relação a esses volumes.

Figura 4.5 – Variação do consumo por categoria de ligação no ano de 2003

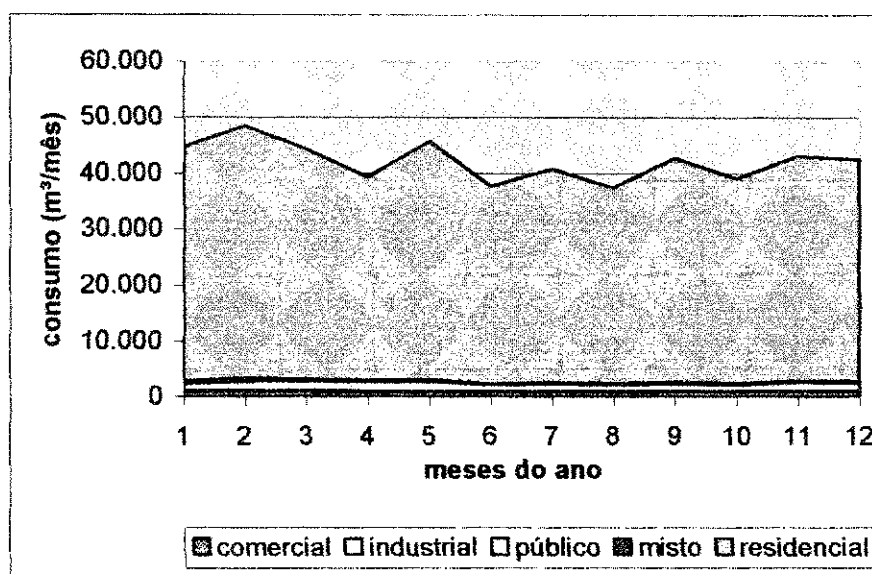


Tabela 4.8 – Consumo *per capita* relativo aos volumes macromedidos, micromedidos e perdidos no ano de 2003 no sistema de Queimadas.

Mês	Volume macromedido (m ³)	volume per capita macromedido l/hab.dia	Volume micromedido (m ³)	Volume per capita micromedido l/hab.dia	Volume perdido (m ³)	Volume per capita perdido l/hab.dia
Janeiro	76.503,72	104,37	32.621,00	66,87	31.790,72	44,82
Fevereiro	63.025,02	95,20	36.289,00	72,04	14.699,02	20,72
Março	76.802,41	106,72	32.554,00	65,94	32.424,41	45,71
Abril	70.604,46	100,20	27.780,00	58,19	31.328,46	44,17
Mai	65.700,85	88,45	33.382,00	67,85	19.971,85	28,16
Junho	50.616,66	70,25	26.072,00	55,66	12.920,66	18,21
Julho	70.840,92	101,14	28.969,00	60,16	30.136,92	42,49
Agosto	55.794,07	74,87	26.300,00	55,05	18.349,07	25,87
Setembro	61.058,60	86,87	31.012,00	62,70	18.305,60	25,81
Outubro	77.175,79	104,61	27.444,00	56,68	38.183,79	53,83
Novembro	72.857,13	102,49	31.474,00	62,04	29.782,13	41,99
Dezembro	84.854,78	115,07	30.082,00	59,88	42.379,78	59,74
MÉDIA MENSAL	68.819,54	95,85	30.331,58	61,92	26.689,37	37,63

O perfil de consumo diário dos setores de medição de vazão na zona de pressão ZPR-1 é apresentado nas Tabelas 4.9 a 4.11

Figura 4.6 - Comparação dos consumos *per capita* em relação aos volumes macromedidos, micromedidos e perdidos no ano de 2003.

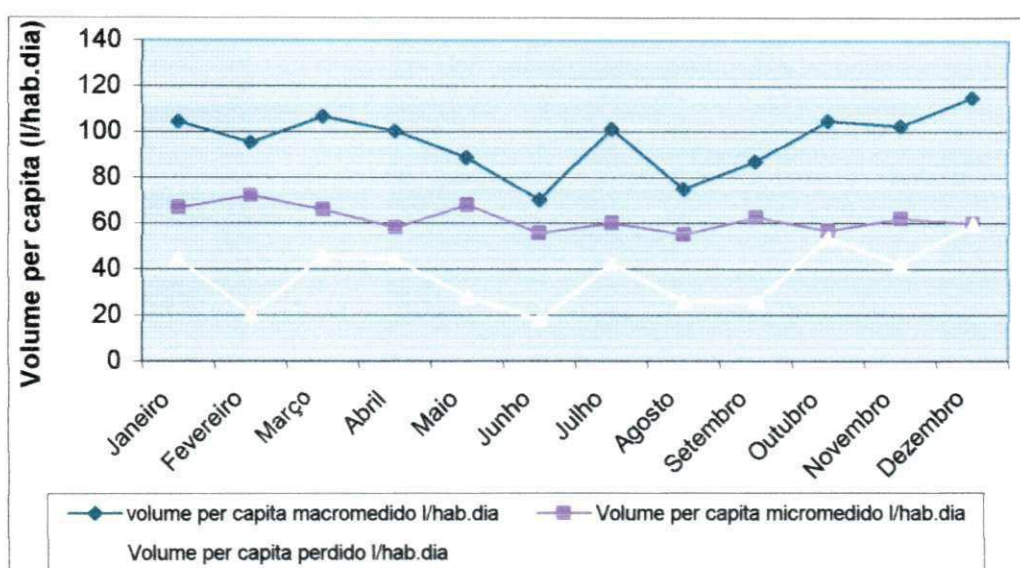


Tabela 4.9 – Perfil diário de consumo no setor SMV-1

Dia	V. diário (m³)	Q média diária (m³/h)	Q.min noturna (m³/h)
Segunda	44,331	1,847	0,764
Terça	41,902	1,746	0,823
Quarta	43,912	1,830	1,291
Quinta	45,396	1,892	1,199
Sexta	48,342	2,014	1,271
Sábado	50,634	2,110	1,313
Domingo	50,212	2,092	1,584
Médias	46,390	1,933	1,178

Tabela 4.10 – Perfil diário de consumo no setor SMV-2

Dia	V. diário (m³)	Q média diária (m³/h)	Q.min noturna (m³/h)
Quarta	208,797	8,700	3,836
Quinta	218,763	9,115	3,363
Sexta	193,785	8,074	3,023
Sábado	193,001	8,042	3,857
Domingo	207,617	8,651	4,490
Segunda	204,393	8,516	3,923
Terça	203,587	8,483	3,965
Médias	204,277	8,512	3,780

Tabela 4.11 – Perfil diário de consumo no setor SMV-3

Dia	V. diário (m ³)	Q média diária (m ³ /h)	Q.min noturna (m ³ /h)
Terça	140,92	5,87	2,90
Quarta	141,83	5,91	3,00
Quinta	143,20	5,97	3,00
Sexta	140,30	5,85	2,87
Sábado	156,57	6,52	3,13
Domingo	148,04	6,17	3,11
Segunda	149,31	6,22	3,93
Médias	145,74	6,07	3,13

O setor SMV-1, com 124 ligações, apresentou consumo médio de 46,39 m³/dia e vazão média de 1,933 m³/h. A vazão mínima noturna média foi de 1,178 m³/h, variando de 0,764 m³/h a 1,584 m³/h. Essas vazões podem indicar vazamentos, consumos especiais ou consumos noturnos pelo enchimento das caixas d'água nesse período da noite (3 às 4 horas da manhã), em virtude da repressão de consumo. O setor SMV-2, com 424 ligações, apresentou volume diário médio de consumo de 204,28 m³, ficando a vazão média em 8,512 m³/h. A vazão mínima noturna média foi de 3,780 m³/h, variando de 3,023 m³/h a 4,490 m³/h. O setor SMV-3, com 299 ligações, apresentou consumo médio de 145,74 m³, com média de 6,072 m³/h. A média da vazão mínima noturna foi de 3,133 m³/h, variando de 2,870 m³/h a 3,930 m³/h.

As Figuras 4.7 a 4.9 comparam o nível de consumo ao longo da semana em relação à vazão mínima noturna nos três setores de medição.

Figura 4.7 – Variação de vazão média diária e vazão mínima noturna no setor SMV-1

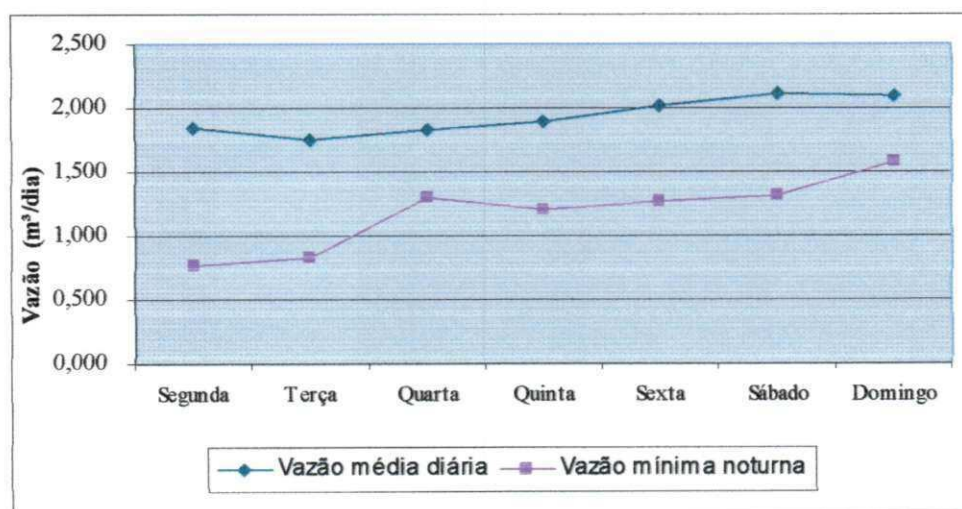


Figura 4.8 – Variação de vazão média diária e vazão mínima noturna no setor SMV-2

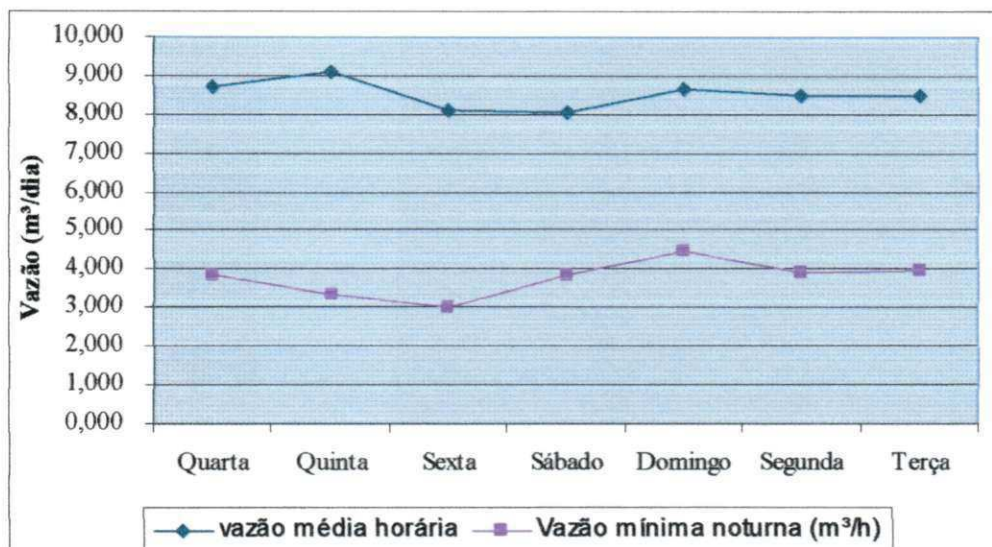
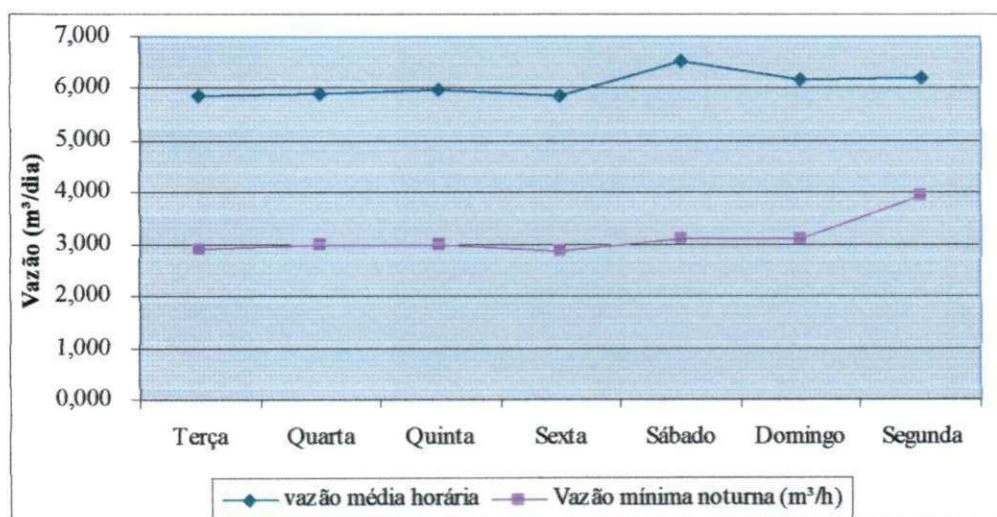


Figura 4.9 – Variação de vazão média diária e vazão mínima noturna no setor SMV-3



4.4.0 - Volumes Perdidos no Sistema

A partir dos dados de macromedição e micromedição, foram estimados os volumes perdidos totais ao longo do ano de 2003.

4.4.1 – Volumes perdidos totais

A Tabela 4.12 apresenta os volumes fornecidos, medidos, estimados e utilizados no sistema para a estimativa dos volumes perdidos totais. Pode ser observado o índice médio de perda anual de 38,78 % do total do volume produzido.

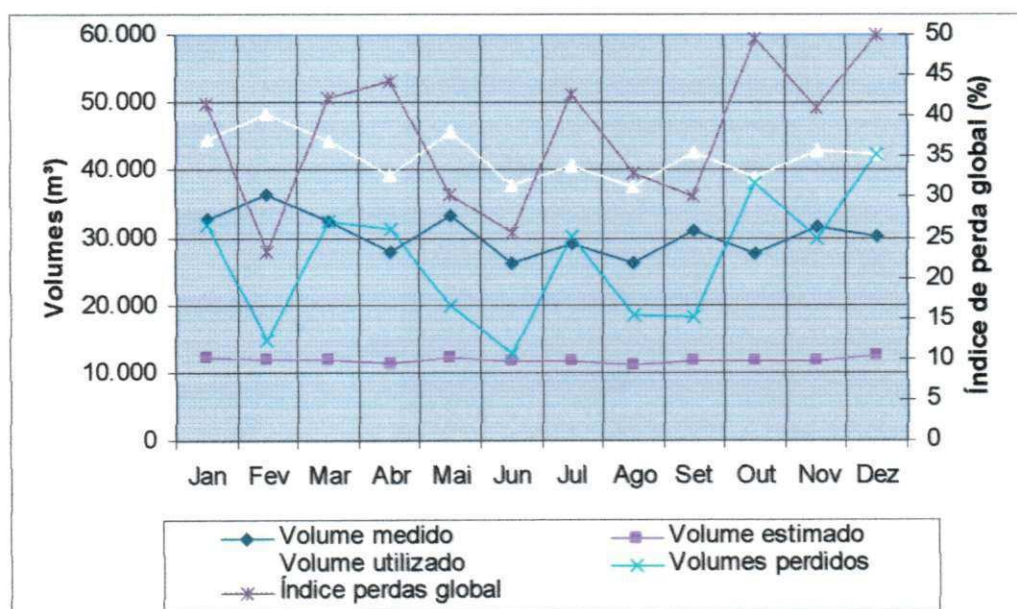
Tabela 4.12 – Volumes perdidos totais em Queimadas no ano de 2003

Mês	Volume distribuído (m³)	Volume Consumido na distribuição (m³)			V. perdido Mês (m³)	I Perdas (%)
		V. medido	V. est. (*)	V. utilizado		
Jan	76503,72	32621,00	12092,00	44713,00	31790,72	41,55
Fev	63025,02	36289,00	12037,00	48326,00	14699,02	23,32
Mar	76802,41	32554,00	11824,00	44378,00	32424,41	42,22
Abr	70604,46	27780,00	11496,00	39276,00	31328,46	44,37
Mai	65700,85	33382,00	12347,00	45729,00	19971,85	30,40
Jun	50616,66	26072,00	11624,00	37696,00	12920,66	25,53
Jul	70840,92	28969,00	11735,00	40704,00	30136,92	42,54
Ago	55794,07	26300,00	11145,00	37445,00	18349,07	32,89
Set	61058,60	31012,00	11741,00	42753,00	18305,60	29,98
Out	77175,79	27444,00	11548,00	38992,00	38183,79	49,48
Nov	72857,13	31474,00	11601,00	43075,00	29782,13	40,88
Dez	84854,78	30082,00	12393,00	42475,00	42379,78	49,94
Médias	68819,54	30331,58	11798,58	42130,17	26689,37	38,78
Totais	825834,42	363979,00	141583,00	505562,00	320272,42	-

(*) volumes estimados a partir dos relatórios comerciais da CAGEPA - 2003

A Figura 4.10 mostra a evolução do índice de perda global (em %) e a comparação entre os volumes medidos, utilizados, estimados e perdidos.

Figura 4.10 – Evolução do índice global de perdas no ano de 2003



4.4.2 – Estimativa das perdas físicas e não físicas

Conforme apresentado no Capítulo III as perdas físicas e não físicas foram obtidas por dois métodos distintos. O método da vazão mínima noturna, estimou as perdas aparentes fazendo a diferença entre o volume total perdido e volume físico perdido (SILVA *et al.*, 2003; VIEGAS, 2003; LAMBERT, 2002). O segundo método, aplicado pela EMBASA no plano de combate às perdas de água em Salvador-BA (MAGALHÃES, 2001), consistiu no cálculo dos parâmetros componentes das perdas aparentes a partir de dados do controle operacional. A perda física foi obtida pela diferença entre o volume perdido total e a perda aparente.

4.4.2.1 – Vazão Mínima Noturna

A) Expoente N e Fator Noite-Dia (FND)

O expoente N mostra a relação pressão x vazão de vazamentos na estimativa da perda física, conforme May (1994), Lambert (2000c apud VIEGAS, 2003) e Chaudhry, Porto & Braga (2000b) e é necessário pra o cálculo do Fator Noite-Dia.

As Tabelas 4.13 a 4.15 mostram o cálculo do expoente N e a Tabela 4.16 o cálculo do Fator Noite-Dia. As iterações estão nas Tabelas A1 a A3 do Apêndice A .

Tabela 4.13 – Cálculo do expoente N para SMV-1 - ajuste da curva para $R^2 \geq 0,95$

Pressão (m.c.a)	Vazão (l/s)	ln Q	ln P	N
25,176	0,473	-0,080505245	-0,138780541	0,580090297
28,924	0,513	-0,104245034	-0,152378717	0,684118069
29,320	0,525	-0,167121786	-0,181685829	0,919839414
30,192	0,560	-0,213444326	-0,216831969	0,984376644
31,272	0,586	-0,062876753	-0,013598177	4,623910539
Média				1,558466993

Nota: $R^2 = 0,897$.

Tabela 4.14 – Cálculo do expoente N para SMV-2 - ajuste da curva para $R^2 \geq 0,95$

Pressão (m.c.a)	Vazão (l/s)	ln Q	ln P	N
36,7833	2,24288	-0,049341679	-0,025940632	1,902100132
37,75	2,35633	-0,053293357	-0,02924642	1,822218153
37,875	2,36566	-0,068945739	-0,038771865	1,778241473
38,2375	2,40297	-0,074613191	-0,049933058	1,494264389
38,6667	2,41663	-0,003951678	-0,003305788	1,195381554
Média				1,63844114

Nota: $R^2 = 0,964$.Tabela 4.15 – Cálculo do expoente N para SMV-2 - ajuste da curva para $R^2 \geq 0,95$

Pressão (m.c.a)	Vazão (l/s)	ln Q	ln P	N
30,72	1,64	-0,009599265	-0,009717987	0,987783296
31,02	1,66	-0,042840432	-0,038187305	1,121850099
31,92	1,71	-0,051396231	-0,043005964	1,195095434
32,07	1,73	-0,098894525	-0,089709033	1,102392062
33,60	1,81	-0,033241166	-0,028469318	1,167613734
Média				1,11

Nota: $R^2 = 0,998$.

Tabela 4.16 – Fator Noite-Dia (FND) para os setores de medição de vazão

SMV-1		SMV-2		SMV-3	
P média (m.c.a)	FND (horas)	P média (m.c.a)	FND (horas)	P média (m.c.a)	FND (horas)
29,21	17,69	38,67	21,82	32,07	21,85
18,25	31,90	37,88	22,02	31,92	21,67
26,06	16,39	37,75	20,30	30,72	20,79
29,50	19,02	36,78	21,29	30,21	20,41
31,28	20,44	34,40	19,37	31,92	21,00
30,24	20,25	38,24	21,51	29,73	20,14
30,21	19,79	39,59	21,98	33,60	21,89
20,78		21,18		21,11	

B) Perdas físicas e aparentes

A Tabela 4.17 apresenta a perda física obtida por meio de três critérios utilizando a vazão mínima noturna (QMN):

Critério 1

- a) A partir da média ponderada das perdas físicas por ligação de cada setor de medição, tendo como peso o número de ligações dos setores respectivos.

Critério 2

- b) A partir da média aritmética das perdas físicas por ligação dos setores de medição, estabelecendo a proporcionalidade entre o número de ligações do sistema e a média do número de ligações dos três setores;

Critério 3

- c) A partir da média aritmética de todos os valores diários de perdas físicas por ligação medidas nos três setores de medição, sendo a perda física do sistema calculada para o número de ligações do sistema em cada mês.

Tabela 4.17 – Perdas físicas obtidas pelo método da vazão mínima noturna e no sistema de Queimadas

Mês	CRITÉRIO 1		CRITÉRIO 2		CRITÉRIO 3		Índices de perda (%)		
	Perda Física	Perda Apar.	Perda Física	Perda Apar.	Perda Física	Perda Apar.	Critério 2		
	m³/mês Sistema	m³/mês Sistema	m³/mês Sistema	m³/mês Sistema	m³/mês Sistema	m³/mês Sistema	física	aparente	total
Janeiro	19850,82	11939,90	11604,52	20186,20	13076,48	18714,24	36,50	63,50	41,55
Fevereiro	19914,05	-5215,03	11641,49	3057,54	12243,59	2455,43	79,20	20,80	23,32
Março	19981,80	12442,61	11681,09	20743,32	13162,76	19261,65	36,03	63,97	42,22
Abril	20054,07	11274,39	11723,34	19605,12	13210,37	18118,09	37,42	62,58	44,37
Maió	20022,45	-50,60	11704,86	8266,99	13189,54	6782,31	58,61	41,39	30,40
Junho	20121,82	-7201,16	11762,95	1157,72	13255,00	-334,34	91,04	8,96	25,53
Julho	20108,27	10028,65	11755,02	18381,90	13246,07	16890,85	39,01	60,99	42,54
Agosto	20225,70	-1876,63	11823,67	6525,40	13323,43	5025,64	64,44	35,56	32,89
Setembro	20279,90	-1974,30	11855,36	6450,24	13359,13	4946,47	64,76	35,24	29,98
Outubro	20456,05	17727,73	11958,33	26225,45	13475,17	24708,61	31,32	68,68	49,48
Novembro	20654,79	9127,34	12074,51	17707,62	13606,08	16176,04	40,54	59,46	40,88
Dezembro	21101,94	21277,84	12335,91	30043,87	13900,64	28479,14	29,11	70,89	49,94
Total	242771,68	77500,74	141921,06	178351,36	159048,27	161224,15	44,31	55,69	38,78
Média	20230,97	6458,40	11826,75	14862,61	13254,02	13435,35	-	-	-

4.4.2.2 – Método da EMBASA

O modelo da EMBASA (MAGALHÃES, 2001) estabelece as componentes das perdas aparentes, e a partir destas, a perda física. A Tabela 4.18 mostra os componentes estimados para o cálculo das perdas aparentes e físicas pelo método da EMBASA.

Na Figura 4.11 são comparadas as magnitudes das perdas físicas e aparentes pelo método da EMBASA e na Figura 4.12 é observada a variação das perdas físicas e aparentes pelo método da vazão mínima noturna.

Tabela 4.18 – Componentes das perdas aparentes

Vazões (l/s) (Magalhães, 2001)							Perda física mensal (m³)	Perda não física mensal (m³)
ligações medidas	ligações não medidas	submedição hidrômetros <i>0,1214</i>	desperdício doméstico <i>17</i>	ligações clandestinas <i>17</i>	ligações inativas <i>0,6</i>	ligações c/ by-pass		
12,59	2,54	1,53	2,37	0,69	1,48	0,63	14.421,31	17.369,41
14,00	2,84	1,12	0,65	0,49	1,47	0,70	3.214,74	11.484,29
12,56	2,54	1,52	2,41	0,70	1,48	0,63	14.935,36	17.489,06
10,72	2,16	1,30	2,79	0,70	1,33	0,54	14.068,80	17.259,66
12,88	2,58	1,56	2,34	0,70	1,51	0,64	2.461,80	17.510,05
10,06	2,01	0,80	1,47	0,50	1,14	0,50	1.462,62	11.458,04
11,18	2,23	1,36	2,69	0,71	1,37	0,56	12.812,89	17.324,04
10,15	2,06	0,81	1,48	0,50	1,16	0,51	6.797,21	11.551,86
11,96	2,42	0,96	1,12	0,50	1,31	0,60	6.686,57	11.619,03
10,59	2,22	1,29	3,00	0,71	1,34	0,53	20.404,93	17.778,86
12,14	2,59	1,47	2,75	0,72	1,47	0,61	11.594,76	18.187,37
11,61	2,50	1,41	3,00	0,73	1,44	0,58	23.817,34	18.562,45
140,42	28,70	15,14	26,07	7,66	16,49	7,02	132678,31	187594,11
11,70	2,39	1,26	2,17	0,64	1,37	0,59	11056,53	15632,84

Na estimativa das perdas físicas pelo método da EMBASA, foram adotados fatores de contribuição das componentes das perdas. A submedição em Queimadas foi estimada em 12,14 %. Para estimar o desperdício doméstico nas ligações não medidas bem como para as ligações clandestinas, estimou-se um valor de 17 m³/mês, isto é, mais do que o dobro do valor médio consumido nas ligações medidas. A vazão das ligações inativas encontradas funcionando foi estimada em 60 % considerando que 60 a 80 % das ligações inativas são encontradas funcionando (Magalhães, 2001).

Figura 4.11 – Comparação dos índices de perdas físicas e aparentes pelo método da EMBASA

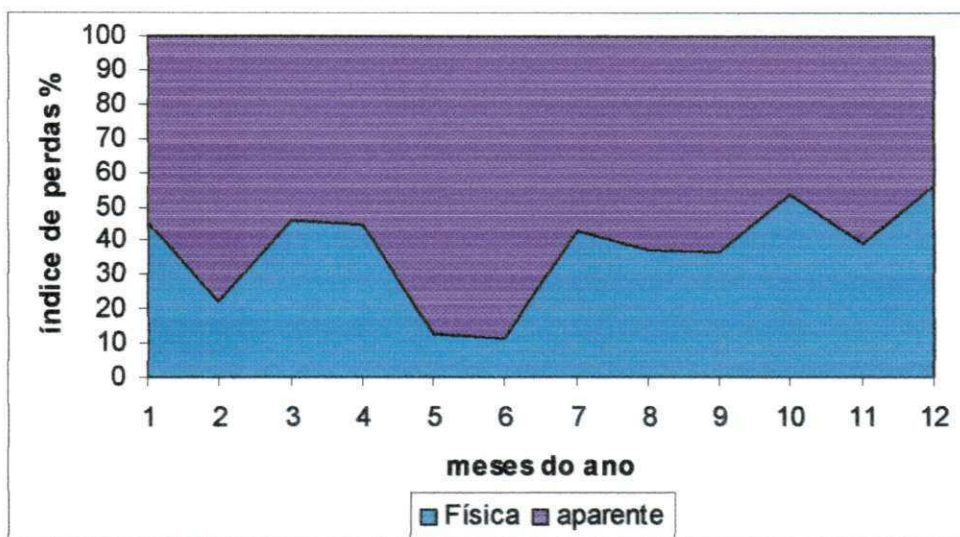
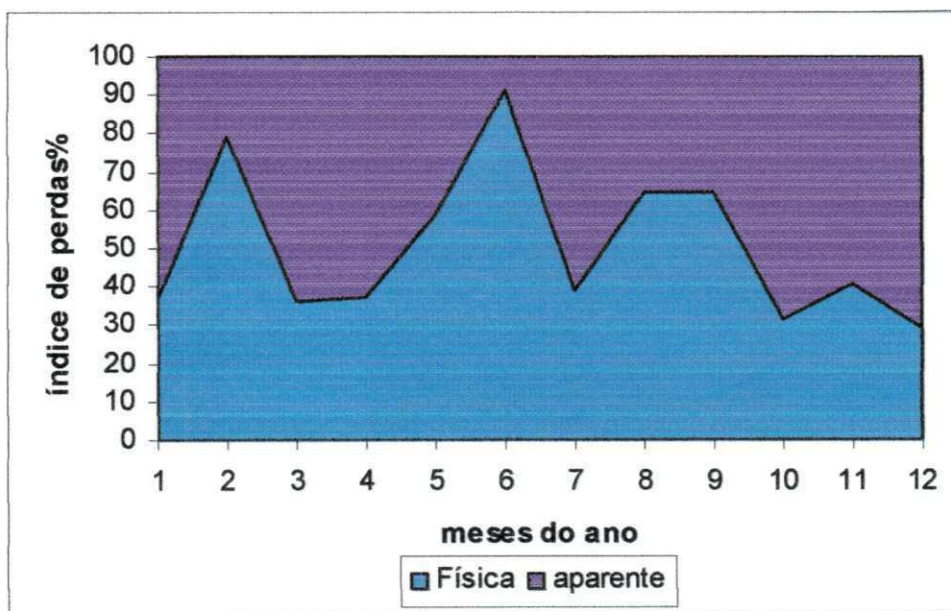


Figura 4.12 - Comparação dos índices de perdas físicas e aparentes pelo método da QMN



A perda física estimada pela QMN apresentou média de 11.826,75 m³/mês. O método EMBASA encontrou média de 11.056,53 m³/mês com diferença de 6,5 %. As perdas aparentes calculadas pela QMN mostraram média de 14.862,61 m³/mês. O método EMBASA mostrou valor de 15.632,84 m³/mês, com diferença de 4,93 %.

4.4.3 – Comparação entre os volumes perdidos

Os dados dos métodos foram comparados, para avaliar a relevância das componentes das perdas entre si. A Figura 4.13 mostra os volumes macromedidos e as perdas físicas e aparentes obtidas pela vazão mínima noturna e a Figura 4.14 a comparação pelo método EMBASA. As Figuras 4.15 e 4.16 mostram as perdas físicas e aparentes, respectivamente, pelos métodos da EMBASA e da vazão mínima noturna (QMN), comparadas aos volumes micromedidos e estimados. As Figuras 4.17 e 4.18 mostram as relações entre as perdas físicas, aparentes, os volumes perdidos totais e os volumes consumidos estimados pelos métodos da QMN e da EMBASA.

Figura 4.13 – Comparação das perdas físicas, aparentes e volume macromedido pelo método da vazão mínima noturna.

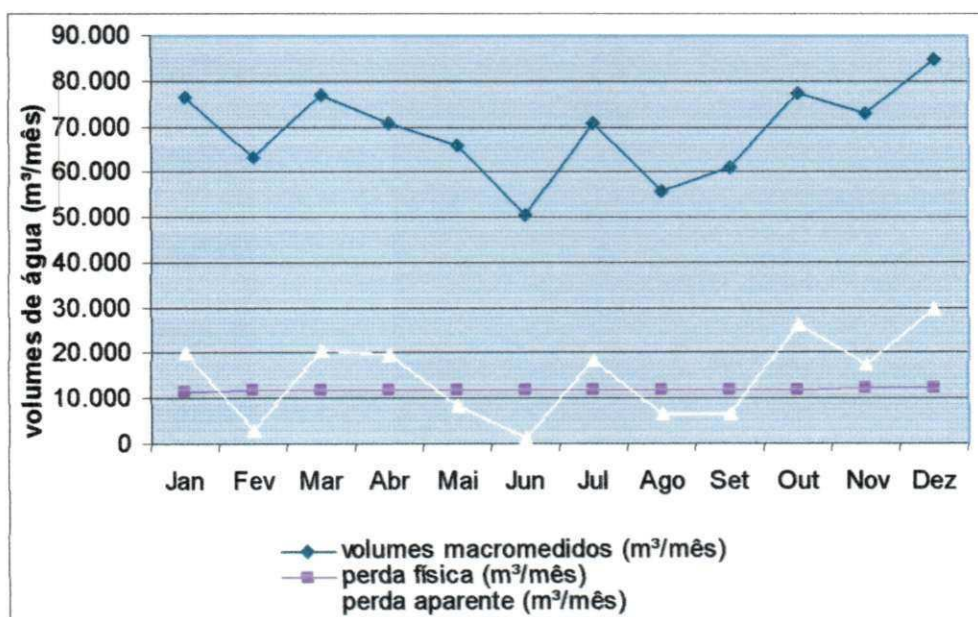


Figura 4.14 – Comparação das perdas físicas, aparentes e volume macromedido pelo método da EMBASA.

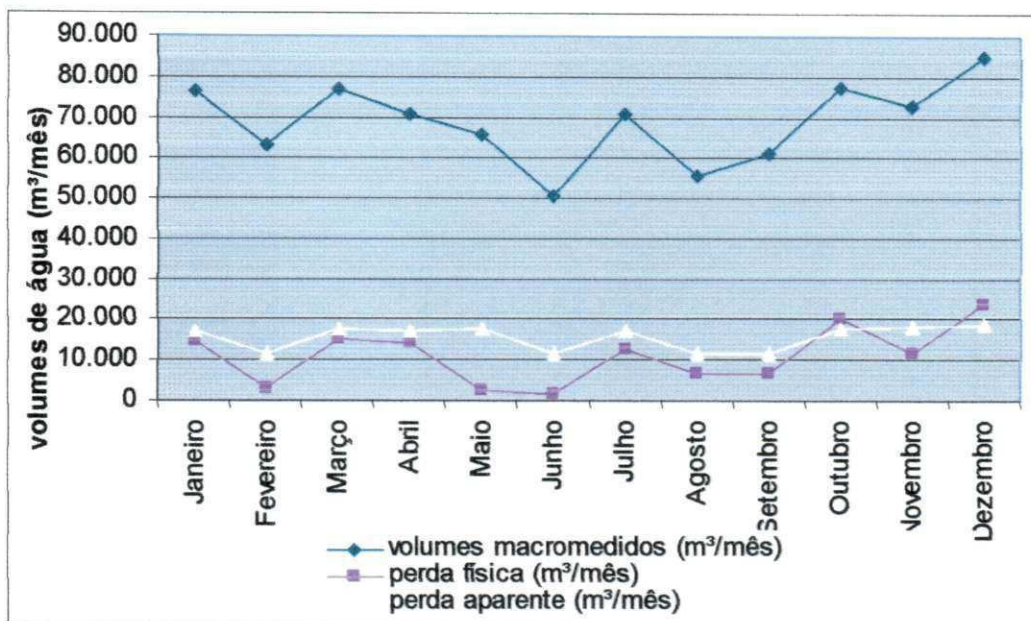


Figura 4.15 – Comparação das perdas físicas, aparentes, volume micromedido e volume consumido estimado pelo método da EMBASA

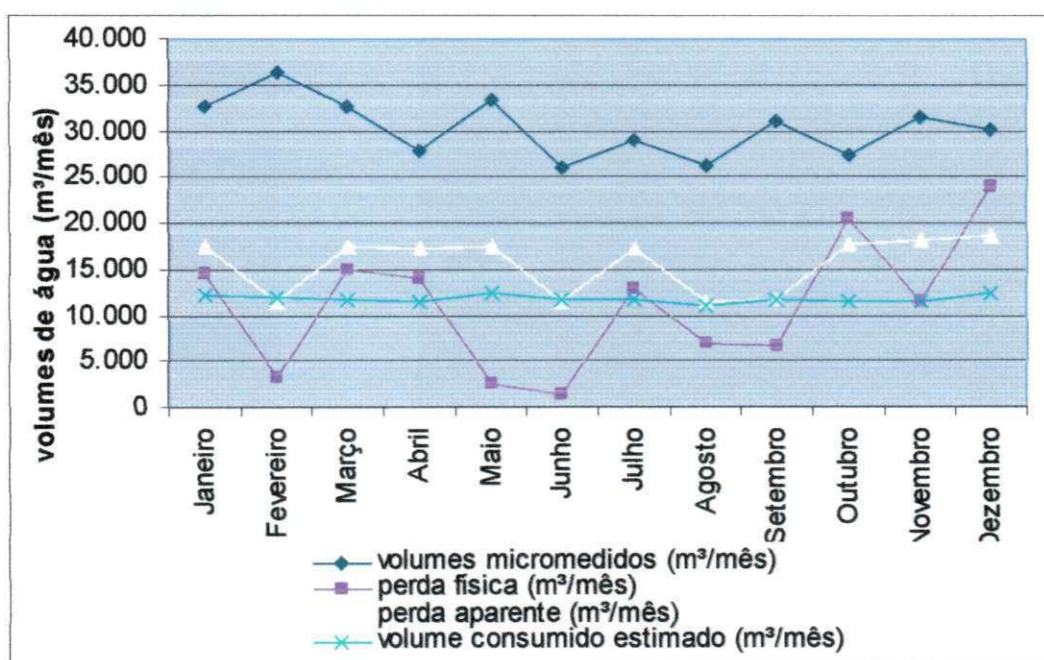


Figura 4.16 – Comparação das perdas físicas, aparentes, volume micromedido e volume consumido estimado pelo método da vazão mínima noturna

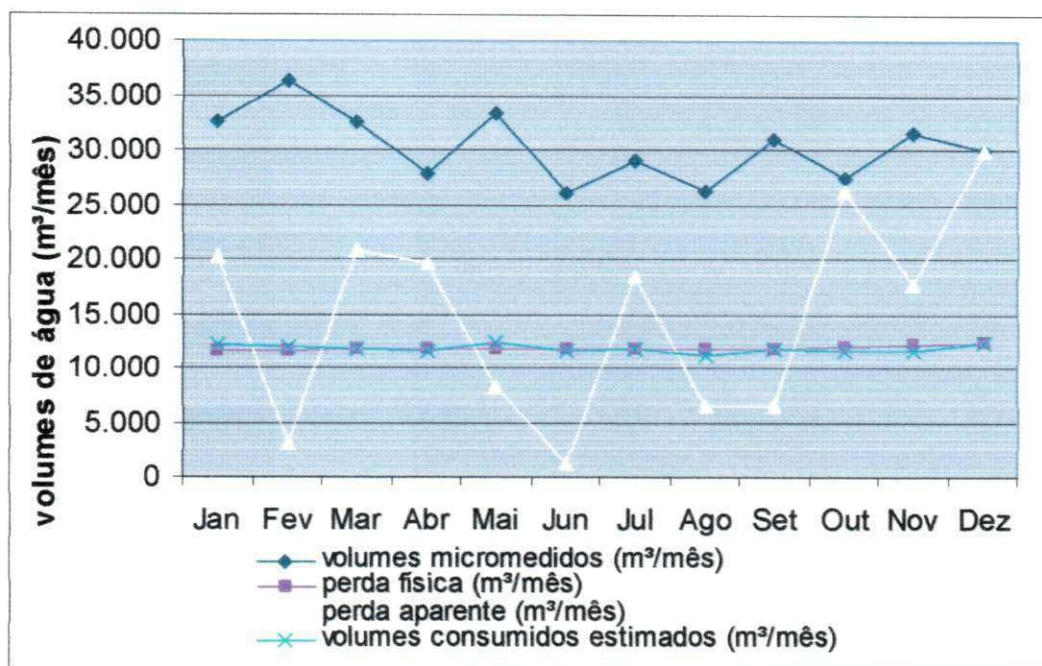


Figura 4.17 – Comparação das perdas físicas, aparentes, volumes perdidos totais e volumes consumidos estimados pelo método da vazão mínima noturna

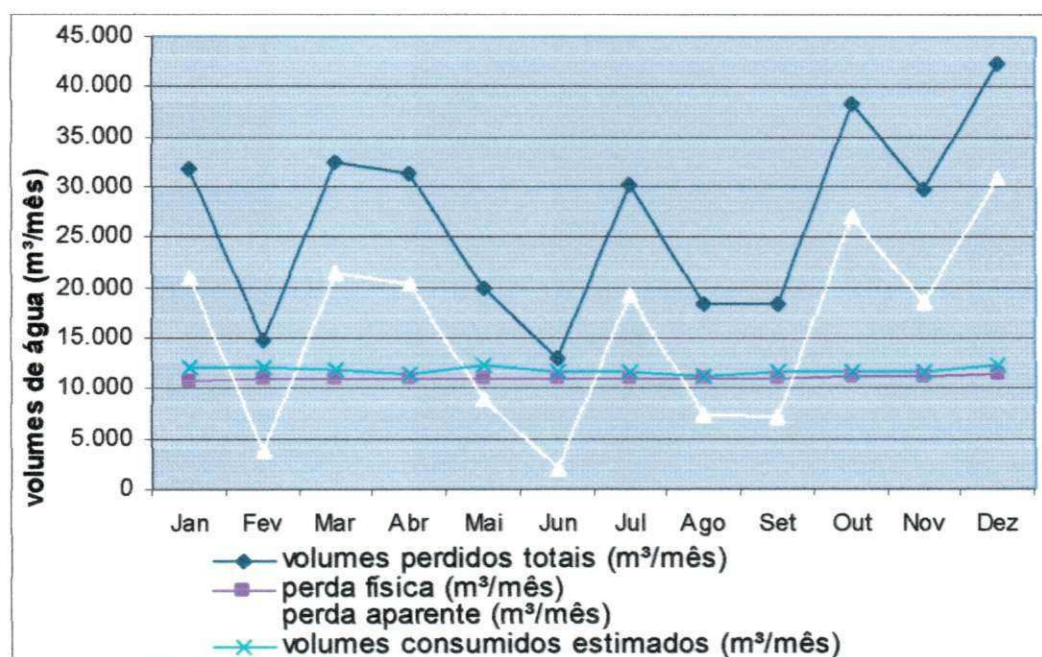
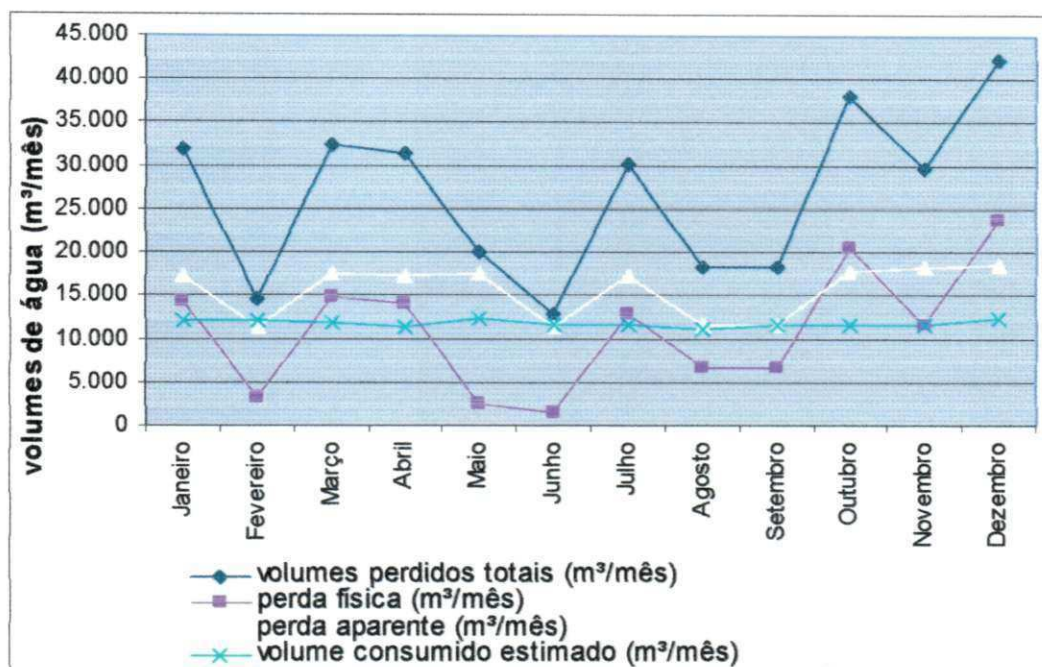


Figura 4.18 – Comparação das perdas físicas, aparentes, volumes perdidos totais e volumes consumidos estimados pelo método da EMBASA.



4.5.0 – Demonstrativo financeiro das perdas no sistema de abastecimento

Os esforços de aquilatar as perdas devem equacionar tanto a questão técnica quanto econômica, sendo útil demonstrar o peso exercido pelas perdas sobre a saúde financeira da empresa de saneamento.

Na Tabela 4.19 é mostrado o faturamento médio mensal em Queimadas por categoria de consumo no ano de 2003, utilizado no cálculo dos custos das perdas.

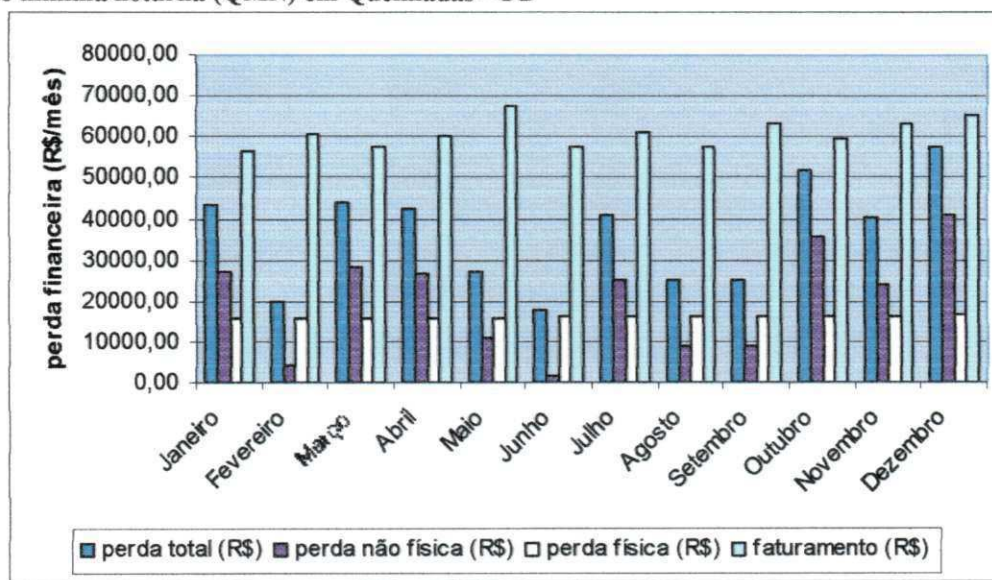
Tabela 4.19 – Faturamento médio mensal no ano de 2003 por categoria de consumo em Queimadas

Categoria	Faturamento médio mensal		
	por ligação	por m³	Total
Residencial	12,17	1,22	52605,86
Comercial	29,18	2,65	2473,08
Industrial	144,08	3,13	564,32
Público	106,53	2,96	5503,96
Misto	35,31	2,35	714,96
Geral Médio	13,57	1,36	60824,05

Nota: dados do relatório comercial da CAGEPA - 2003

A Figura 4.19 compara os custos médios mensais das perdas totais, físicas e aparentes pelos métodos da vazão mínima noturna (QMN) em relação ao faturamento total mensal da CAGEPA em Queimadas.

Figura 4.19 – Custos médios mensais das perdas físicas e não físicas no ano de 2003 pelo método da vazão mínima noturna (QMN) em Queimadas – PB



CAPÍTULO V

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

5.1 – Considerações Gerais

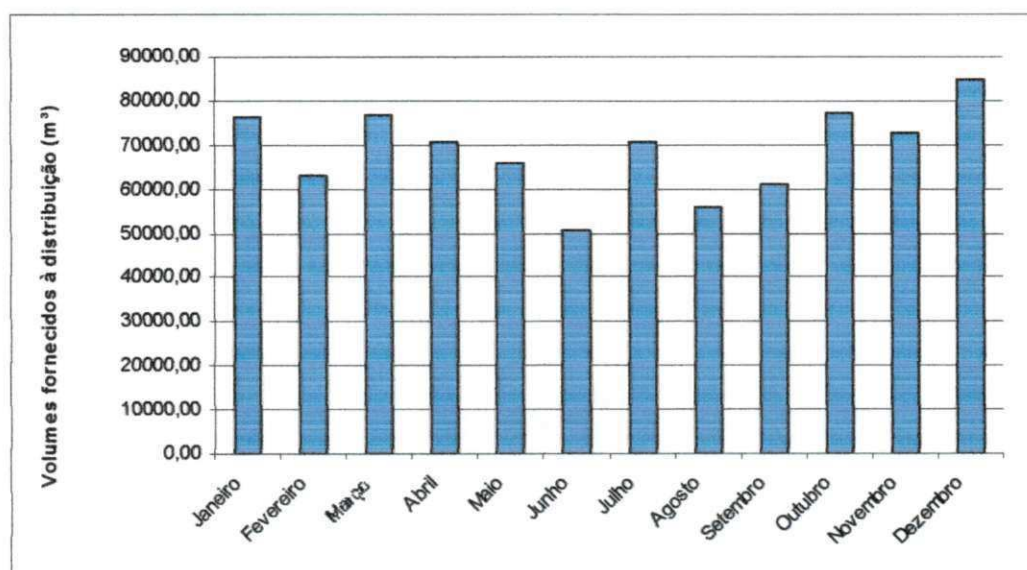
A CAGEPA não possui política clara de combate às perdas. O controle de perdas é baseado apenas na quantificação percentual das perdas a partir dos volumes macromedidos, micromedidos e estimados sem decompor as componentes físicas e não físicas, cujo conhecimento é necessário à tomada de decisão para alocação otimizada de recursos no combate às perdas. Deste modo, as metodologias utilizadas neste trabalho podem munir o controle operacional da empresa de uma ferramenta eficaz na caracterização e combate às perdas em sistemas de abastecimento de porte semelhante em todo o Estado da Paraíba.

5.2 – Volumes distribuídos

Os volumes totais fornecidos ao sistema mostraram-se em alguns meses quase que duas vezes maiores que o demandado pela população consumidora, revelando o elevado índice global de perdas do sistema.

A Figura 5.1 apresenta os volumes macromedidos mensais no ano de 2003 aportados ao sistema de abastecimento de Queimadas.

Figura 5.1 – Volumes macromedidos mensais no ano de 2003



Em 2003, foi medido um total de 825.834,42 m³, com uma média mensal de 68.819,54 m³. A diferença entre o maior e o menor fornecimento mensal foi significativa e foi de 34.238,12 m³ (40,35 %), respectivamente nos meses de dezembro e junho. De fato, há tendência de redução do fornecimento de água com a aproximação do mês de junho, e outra de aumento do fornecimento com a aproximação do fim do ano. Tomando como base as 4.729 economias do sistema (dezembro/2003), o volume fornecido e macromedido médio diário *per capita* foi de 95,85 l/hab.dia, com valores máximo e mínimo de 115,07 l/hab.dia em dezembro e 70,25 l/hab.dia em junho.

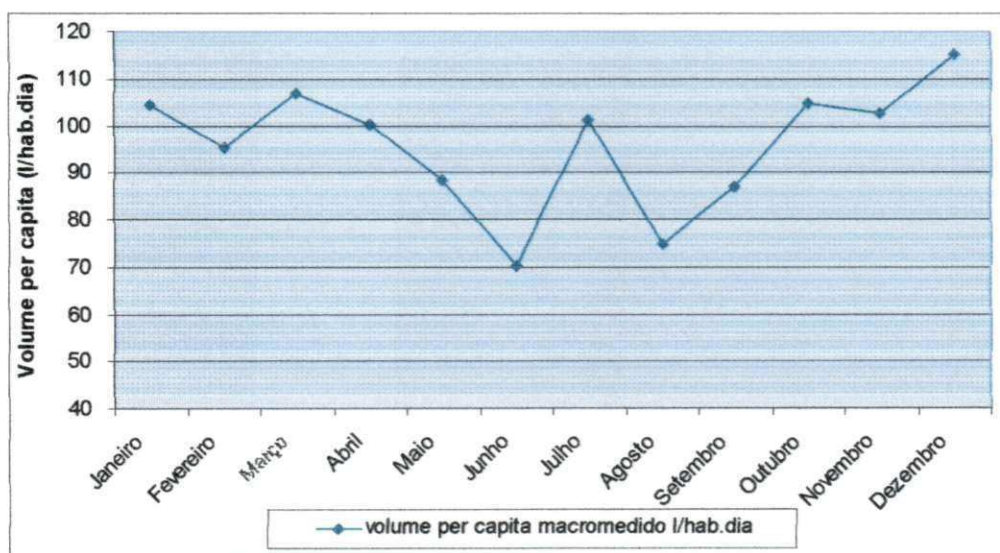
Os volumes totais fornecidos e macromedidos foram subdivididos proporcionalmente ao número de ligações entre as duas zonas de pressão do sistema. A

zona de pressão ZPR-1 recebeu um volume total de 631.129,99 m³, com uma média de 52.594,17 m³, representando 76,42 % do volume total aportado. A zona de pressão ZPR-2 ficou com apenas 194.704,43 m³, com valor médio de 16.225,37 m³.

Os três setores de medição de vazão, SMV-1, SMV-2 e SMV-3, receberam volumes anuais, respectivamente de 22.863,02 m³, 78.176,78 m³ e 55.129,38 m³, com valores médios de 1.905,25 m³, 6.514,73 m³ e 4.594,11 m³. A diferença máxima entre os setores de medição se deu entre SMV-1 e SMV-2 e foi de 4.609,48 m³, isto é, 29,20 %.

A Figura 5.2 demonstra o fornecimento *per capita* macromedido no sistema de Queimadas em 2003.

Figura 5.2 – Fornecedor *per capita* macromedido no sistema de Queimadas em 2003.



Saturnino de Brito (BRASIL, 1981) apresentou o valor mínimo adequado para consumo humano de 80 l/hab.dia. O sistema de Queimadas produziu, em média, 95,85 l/hab.dia com valor mínimo de 70,25 l/hab.dia e máximo de 115,07 l/hab.dia. Sendo feito o abatimento dos consumos, ter-se-á um *per capita* perdido médio de 37,63 l/hab.dia, o que limita o nível de consumo da população em 58,22 l/hab.dia, que representa 72,77 % do valor mínimo preconizado por Saturnino de Brito.

Gomes (2004) apresentou uma faixa de consumo *per capita* entre 100 e 200 l/hab.dia para a determinação da demanda de projeto de redes de abastecimento, incluídas

as perdas e os desperdícios com valores entre 25 e 50 l/hab.dia (valor médio de 37,50 l/hab.dia). Para cidades com população inferior a 50.000 habitantes, como é o caso de Queimadas, é recomendada uma previsão de demanda *per capita* média entre 150 e 200 l/hab.dia, sendo o mínimo de 100 l/hab.dia (*Ibid.*).

Conforme é possível observar, o valor perdido *per capita* de 37,63 l/hab.dia situa-se na faixa de 25 a 50 l/hab.dia registrada na literatura, ficando bastante próximo do valor médio.

Do ponto de vista da disponibilidade de água em quantidade suficiente, Heller (1997) apresentou um estudo realizado por Blum & Fichem (1983) de avaliação metodológica de estudos sobre a relação entre o abastecimento de água, esgotamento sanitário e indicadores de saúde. Os resultados mostraram que de 200 estudos publicados, 198 deles associam abastecimento d'água e saúde pública. Entre 140 estudos publicados, 118 deles consideram positiva a influência do abastecimento d'água na saúde da população. Destes, 21 atribuem influência da quantidade de água disponibilizada na saúde da população. A partir destes dados, é possível concluir que ações de investimento no sentido de garantir água em quantidade suficiente são importantes. Essas ações, entretanto não só devem passar pela iniciativa de implantação e ampliação de sistemas novos, mas também pela introdução de melhorias na gestão de sistemas de abastecimento, que incluam um programa contínuo de combate e controle às perdas de água.

No sistema de Queimadas, os resultados apresentados mostraram ser possível fornecer água em quantidade suficiente para atender as necessidades da população, sem ampliação do sistema, bastando intervenções de redução dos índices globais das perdas.

5.3 – Volumes consumidos e perfil de consumo do sistema

Na Figura 5.3 encontram-se os volumes mensais consumidos. Estes volumes incluem os volumes micromedidos e estimados. A Figura 5.4 mostra a evolução do consumo micromedido e do número de ligações medidas no ano de 2003, e a Figura 5.5 apresenta as diferenças de variação mensal dos consumos *per capita* macromedidos, micromedidos e perdidos no ano de 2003.

Figura 5.3 – Volumes consumidos mensais no ano de 2003

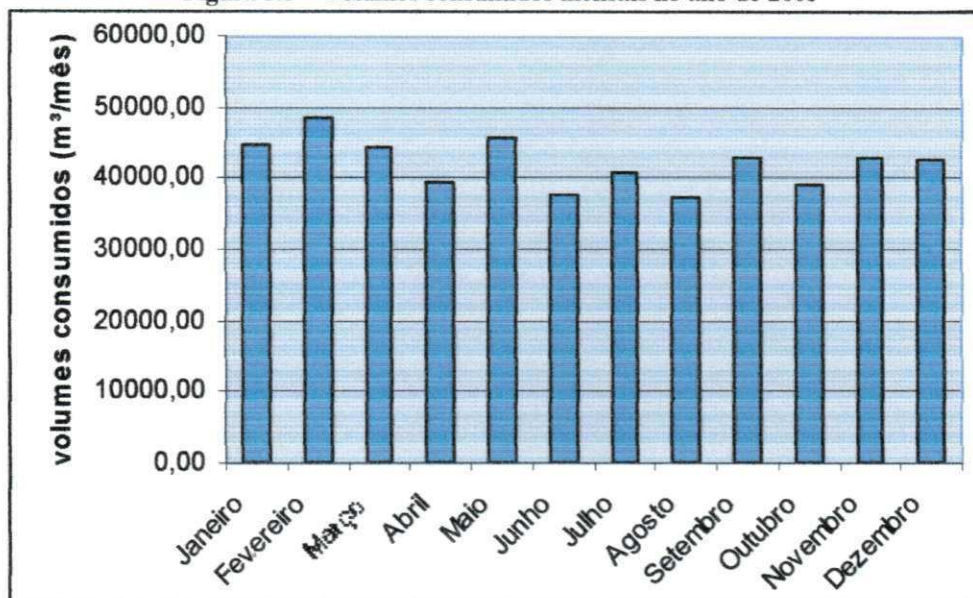
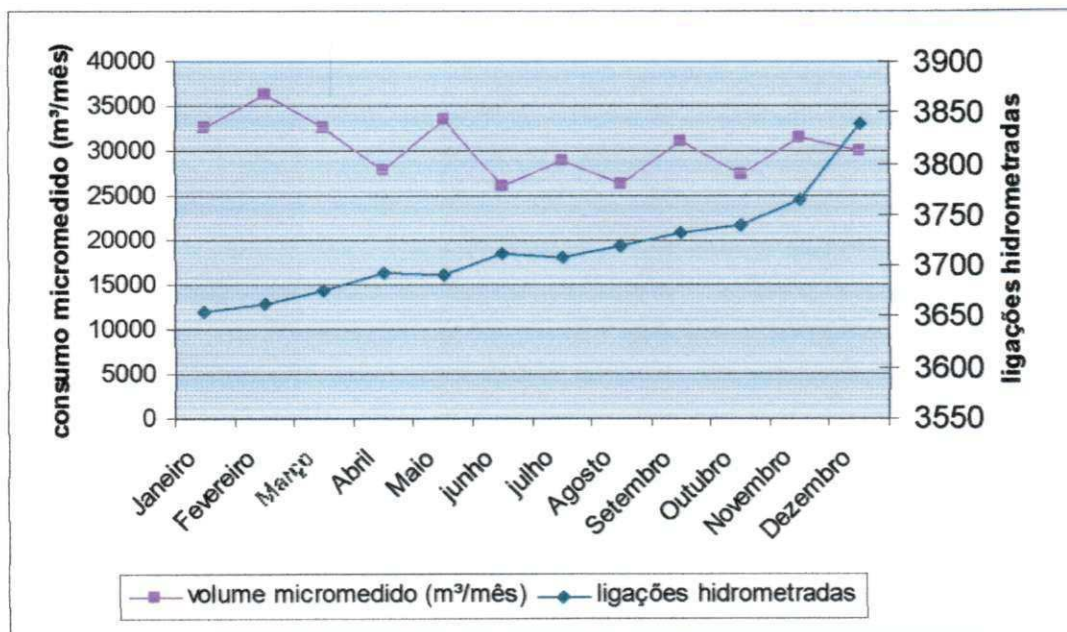


Figura 5.4 – Evolução do consumo micromedido e das ligações hidrometradas no sistema em 2003



Os volume totais consumidos apresentados na figura 5.3 apresentaram menor variação anual se comparados com os volumes disponibilizados (Figura 5.1), diminuindo ao longo do ano.

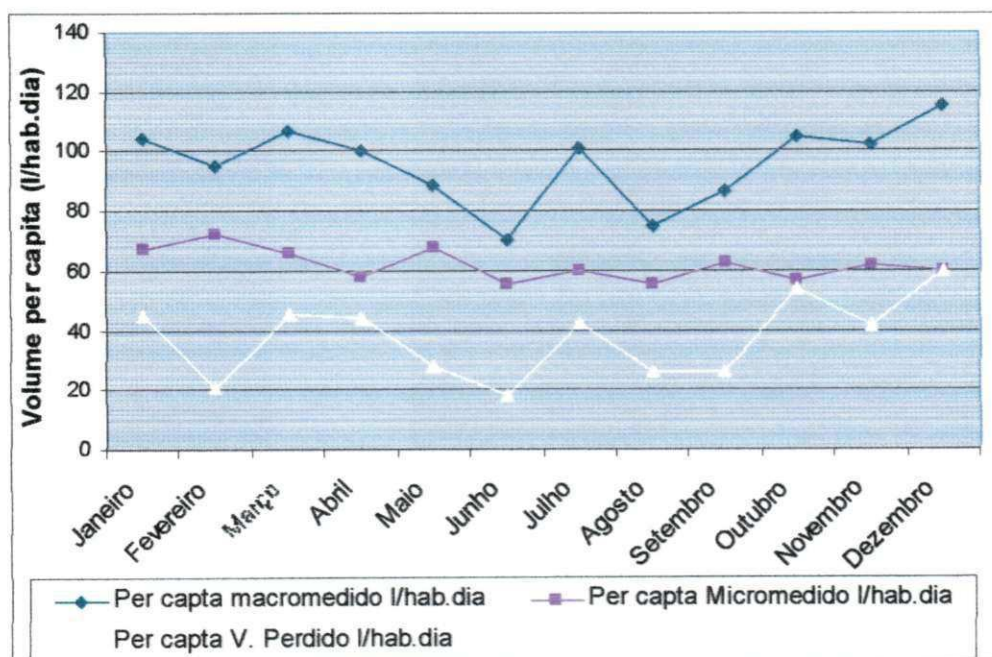
O volume anual efetivamente utilizado foi de 505.562,00 m³, com um valor médio de 42.130,17 m³. A diferença entre o mês de maior e menor consumo foi de 10.881,00 m³ (22,50 %), respectivamente nos meses de fevereiro e agosto, sendo menor do que a diferença observada entre os volumes mensais fornecidos.

O volume micromedido médio anual em 2003, foi de 363.979,00 m³, com valor médio mensal de 30.331,58 m³. Para um fornecimento anual de 825.834,42 m³, o volume micromedido representou 44,07 % desse volume anual distribuído, demonstrando, *a priori*, alto nível de perdas globais quando confrontadas a macromedição e a micromedição. Nesse contexto deve ser destacado que o volume estimado para as ligações não medidas, 141.583,00 m³, representou apenas 17,10 % do volume total fornecido.

Houve queda do consumo micromedido ao longo do ano, de 36.289 m³ em fevereiro para 26.072 m³ em junho. A variação pode ter ocorrido pelo aumento do número de ligações medidas ao longo do ano.

O volume consumido micromedido *per capita* médio anual foi de 61,92 l/hab.dia, com valores máximo e mínimo de 72,04 l/hab.dia em dezembro e 55,05 l/hab.dia em fevereiro.

Figura 5.5 – Comparação dos volumes *per capita* macromedidos, micromedidos e perdidos no sistema de Queimadas no ano de 2003.



Em dezembro, o volume fornecido atingiu seu valor máximo anual, (84.854,78 m³), com fornecimento *per capita* de 115,07 l/hab.dia. O consumo micromedido *per capita*, nesse período, permaneceu em 59,88 l/hab.dia. Os meses de janeiro, março, abril, julho, outubro e novembro apresentaram fornecimento *per capita* superior a 100 l/hab.dia, com consumo micromedido sempre abaixo de 70 l/hab.dia. As perdas físicas, de ocorrências constantes e significativas, na adutora de água tratada, podem ter ocorrido especialmente nestes meses do ano.

Assim, foi constatado não haver relação entre o consumo *per capita* fornecido e o micromedido, indicando a presença de elevadas perdas mensais. De fato em qualquer sistema bem gerenciado, cujas perdas tendessem ao valor das perdas inerentes, as variações de fornecimento acompanhariam de perto as variações de consumo.

Os resultados apontaram redução de 7,78 % no consumo micromedido, havendo aumento de 5,03 % no número de ligações medidas. Esta redução de consumo pode estar relacionada à instalação de hidrômetros nas ligações novas. Entretanto, o volume fornecido cresceu 10,92 %, mostrando que a instalação de micromedidores não necessariamente reduz perdas. Na seção 2.2.4.2, a Figura 2.11 mostrou a repressão ocorrida no consumo após aumento do número de ligações medidas, registrando redução de até 38,37 % (RECH, 1992). As séries históricas do SNIS 2002, igualmente, demonstram haver relação entre a elevação do índice de micromedição e a redução das perdas de faturamento (BRASIL, 2004), refletida pela minimização das perdas globais no sistema.

Herrera & Leopoldo (1995) relacionaram as perdas às condições físicas da rede e ao controle operacional do sistema como um todo. Magalhães (2001), por sua vez, apontou também os hábitos, perfil de consumo e situação sócio-cultural da população. Em Queimadas as perdas podem estar mais relacionadas ao estado físico e à eficiência do controle operacional. Isto é percebido a partir da estabilidade do consumo, frente à variação desproporcional do fornecimento.

O setor de medição de vazão SMV-1 apresentou consumo diário de 46,39 m³/dia, com uma vazão média horária de 1,933 m³/h. Já o setor SMV-2 consumiu em média 204,277 m³/dia com média horária de 8,512 m³/h. O setor SMV-3 consumiu em média 145,737 m³/dia com vazão média de 6,072 m³/h.

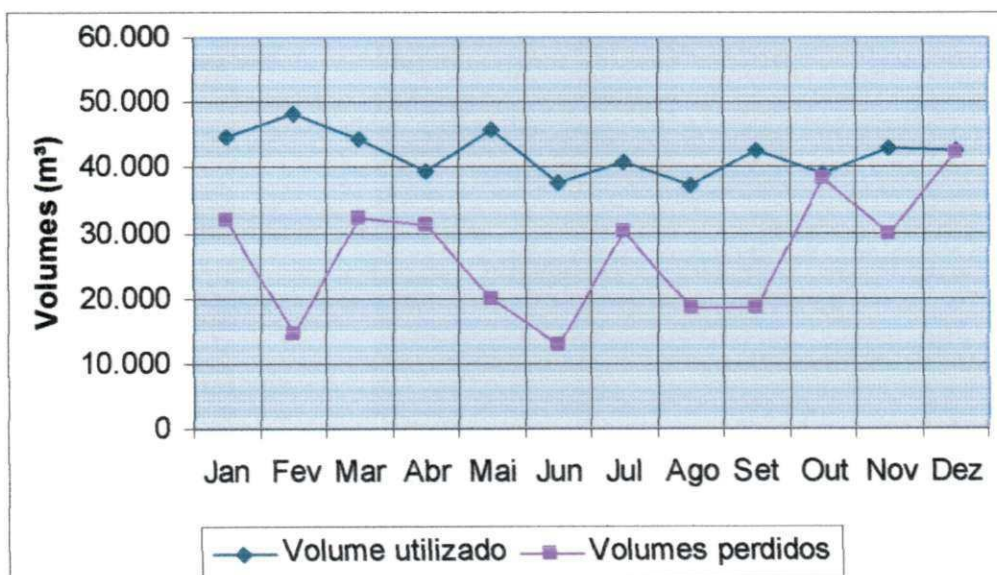
Estes dados foram utilizados para a determinação das perdas físicas diárias nestes setores calculadas proporcionalmente para o sistema como um todo.

5.4 – Volumes perdidos.

Os volumes perdidos totais foram calculados pela diferença do volume fornecido ao sistema e do volume utilizado (SILVA *et al.*, 2003).

Buscando a precisão na estimativa deve-se quantificar perdas por unidade de sistema. Para tanto, macromedidores (Figura 2.9) devem ser instalados nas várias unidades de sistema. Os valores perdidos de Queimadas representam as perdas desde a adução de água tratada até as ligações prediais, já que a infraestrutura de macromedição não é apropriada. A Figura 5.6 mostra, na comparação dos volumes perdidos totais e os volumes utilizados que estes volumes se equipararam nos meses de outubro e novembro do ano de 2003, indicando que a cidade consumiu a mesma quantidade que perdeu nestes meses.

Figura 5.6 – Volumes totais perdidos no sistema de Queimadas



Os resultados mostram grande variação nos volumes perdidos havendo nítido aumento das perdas ao longo do ano, mesmo com a redução do volume utilizado.

Os volumes perdidos oscilaram entre 12.920,66 m³ e 42.379,78 m³, com média de 26.689,37 m³. Dos 825.834,42 m³ fornecidos, 320.272,42 m³ foram perdidos. O índice de perdas total oscilou entre 25,53 % (junho/2003) e 49,94 % (dezembro/2003) com média de 38,78 % do volume total fornecido ao sistema. Este índice do sistema de Queimadas pode servir como indicador primário da realidade dos sistemas de pequeno porte espalhados por todo o estado.

Em 2002, em todo o estado da Paraíba, a CAGEPA, apresentou índice de perda no faturamento de 30,50 %, significativamente menor do que aquele apresentado para a região Nordeste que foi de 45 % (BRASIL, 2004).

No sistema de Queimadas, diversos fatores contribuíram para o elevado índice de perda global. Pelo menos 15 grandes vazamentos foram retirados da adutora de água tratada ao longo do ano de 2003. Quase todos os dias, são retirados vazamentos nas redes antigas de CA predominantes na zona de pressão ZPR-1, que atende 76,42 % de todo o sistema. A ZPR-1 é caracterizada por pressões mais elevadas que a zona ZPR-2. Em alguns setores, a rede de PVC aflora ao pavimento, ficando à mercê de vândalos. De acordo com o encarregado do escritório local da CAGEPA, boa parte dos vazamentos na rede de PVC ocorre por atos de vandalismo. Em outros locais, o tráfego de veículos é responsável pela quebra de tubos assentados em valas rasas aterradas com material de 3^a. categoria da escavação. A detecção de vazamentos invisíveis é dificultada pela porosidade do solo que permite sua infiltração. Os recursos humanos e físicos do escritório local são insuficientes para a pesquisa, detecção e reparo de vazamentos. Os vazamentos visíveis, muitas vezes, são retirados no dia seguinte, em função da baixa produtividade do encanador que não dispõe de ferramentas e condições adequadas de trabalho. As condições físicas da rede, as dificuldades enfrentadas pela equipe de manutenção que não dispõem de recursos humanos e técnicos suficientes para desempenhar bem suas funções, aliadas ainda à ausência de cadastro técnico da rede, certamente têm contribuído para as elevadas perdas físicas no sistema. A Figura 5.7 ilustra as condições de trabalho de manutenção do sistema de Queimadas.

Figura 5.7 – Condições de trabalho de manutenção da rede de distribuição do sistema de Queimadas



Numa pesquisa realizada em 226 ligações (4,84 % do total), 46 estavam religadas ou com “*by-pass*”, isto é, 20,35 % do total pesquisado. Magalhães (2001) encontrou consumo médio nas ligações clandestinas entre 20 e 32 m³/mês. Em ligações não-medidas foram encontrados consumos de até 32 m³/mês (*Ibid.*).

No setor de medição de vazão SMV-2, foram retiradas amostras de 30 ligações entre 424 ligações (7,10%). Destas, 70 % possuíam hidrômetros novos de Classe B. Os 30 % restantes ou eram Classe A ou não podiam ser identificados, por causa do visor danificado. Nesse caso, submedição de 8 % a 14,8 % (SANCHES & MOTTA, 2000 *apud* VIEGAS, 2003), pode ser esperada. Para ligações inativas, Magalhães (2001) mostrou que 60 a 80 % dessas ligações, num recadastramento, estavam abertas com até 35 m³/mês.

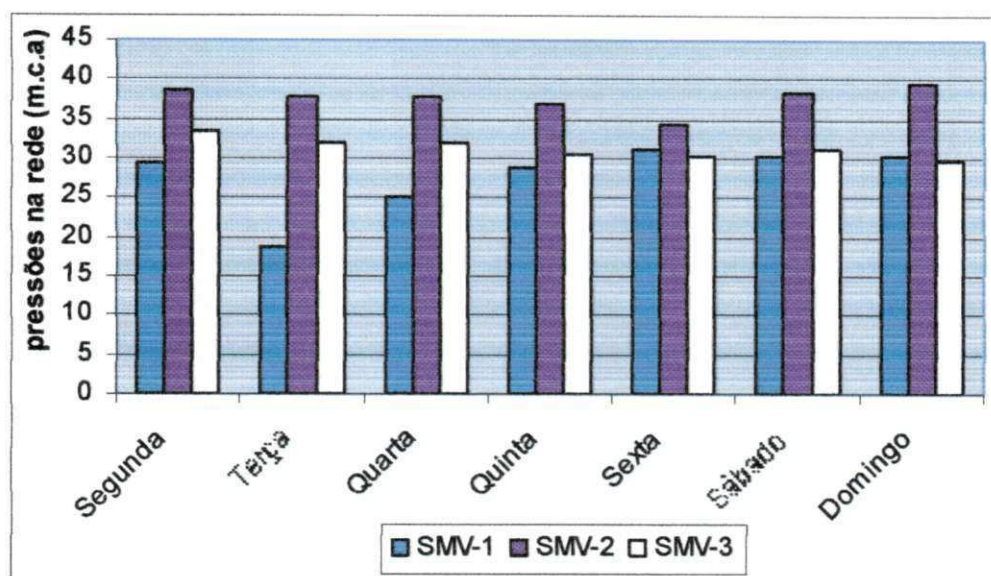
5.5 – Perdas físicas e não físicas.

Na estimativa das perdas físicas, pelo método da vazão mínima noturna, foram medidas vazões, no horário de 3 às 4 horas da manhã, bem como as pressões na rede, em 24 horas, durante uma semana em três setores de medição SMV-1, SMV-2 e SMV-3.

Medições de Pressão

A Figura 5.8 mostra que as variações das pressões médias medidas nos três setores de medição de vazão ao longo de uma semana típica ficaram dentro da faixa preconizada pela Norma NBR – NM - 12218 da ABNT.

Figura 5.8 – Variação das pressões médias medidas em 24 horas nos setores de medição SMV-1, SMV-2 e SMV-3 na zona de pressão ZPR-1.



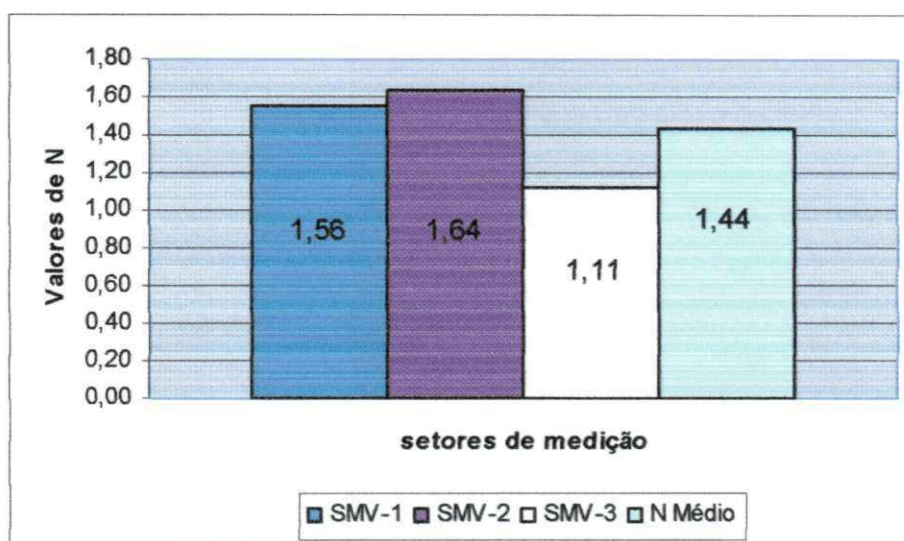
As pressões variaram de 18,72 a 41,50 m.c.a. Embora estes valores estejam dentro da faixa admissível das normas de projetos para redes de distribuição, algumas vezes caíram para valores inferiores a 5 m.c.a. A NBR 12218 da ABNT, estabelece valor mínimo

da pressão em 10 m.c.a (100 kPa) e máximo de 50 m.c.a (500 kPa) (GOMES, 2004). A maior observação das pressões medidas foi de 41,50 m.c.a.

O conhecimento das pressões é importante por causa da relação direta entre a magnitude das pressões e as vazões de vazamentos, responsáveis pelas perdas físicas. De fato, uma redução na carga hidráulica da rede de 20 a 60 % pode promover uma redução das perdas de 10 a 37 % (SILVA *et al.*, 2003).

Pela combinação de pares de pressão e vazão, foram calculados os coeficientes N, e a partir deste e das pressões em 24 horas, foi calculado o fator Noite-Dia (FND) necessário à estimativa das perdas físicas diárias. A Figura 5.9 mostra valores de N nos três setores.

Figura 5.9 – Coeficiente N para os setores de medição de vazão SMV-1, SMV-2 e SMV-3



Em SMV-1, N ficou em 1,56 com R^2 de 0,897. Em SMV-2 N foi de 1,64, com R^2 de 0,964. Em SMV-3, para um R^2 de 0,998, N ficou em 1,11, com valor médio de 1,44.

Lambert (2002) encontrou valores de 0,65 e 2,12 no Japão. No Brasil, 0,88 e 1,23 foram relatados (CHAUDHRY, PORTO & BRAGA, 2002; GONÇALVES, 1998 apud LAMBERT, 2002), com média de 1,05, demonstrando semelhança com os valores encontrados nos três setores de medição.

Os equipamentos de medição disponíveis impediram o registro contínuo da vazão, sendo as vazões diárias, necessárias ao cálculo de N , estimadas pelo volume consumido em 24 horas, tomado pela leitura do medidor de 24 em 24 horas por seis dias em cada setor de medição. A adaptação foi necessária já que a CAGEPA não dispunha de séries históricas de dados que levariam a iterações mais significantes. Valores mais acurados de N para o sistema podem ser encontrados, a partir do estabelecimento de coleta sistemática de dados de vazão e pressão por parte da companhia.

Estabelecido o valor de N , foi calculado o Fator Noite-Dia (FND) para cada setor de abastecimento. Na seção 4.4.2.1, a Tabela 4.16 apresentou os fatores Noite-Dia para os setores de medição. Para sistemas abastecidos com reservatórios de equalização de pressão, o FND é, usualmente, menor do que 24 h (LAMBERT, 2002b). Gonçalves (2000) encontrou um FND de 18 horas no sistema de Paranoá no Distrito Federal. Viegas (2003), por sua vez, encontrou FND entre 23,18 e 23,39 horas.

Os valores para os setores SMV-1, 2 e 3 foram, respectivamente de 20,78; 21,18 e 21,11 horas e estão de acordo com os resultados encontrados na literatura.

Medição da Vazão Mínima Noturna

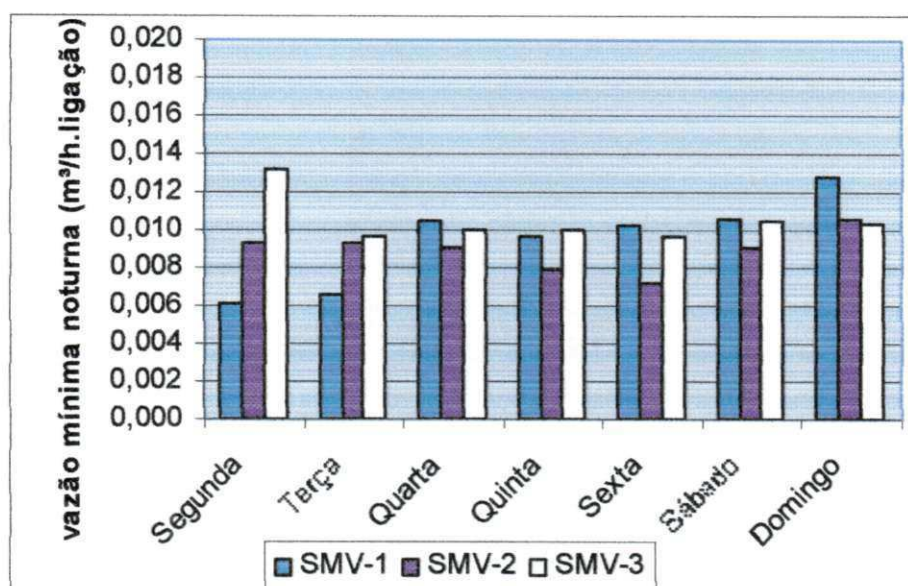
A vazão mínima noturna foi tomada a partir da leitura do medidor Woltmann, instalado em três setores de medição na zona de pressão do reservatório R1 – ZPR-1.

Como mostra a figura 5.10, no setor SMV-1, os valores das vazões mínimas noturnas por ligação oscilaram entre 0,0062 e 0,013 m³/h.lig. Em SMV-2, as vazões variaram entre 0,0071 e 0,011 m³/h.lig. Para SMV-3, os valores mínimo e máximo foram de 0,0096 m³/h.lig e 0,013 m³/h.lig. Os valores médios para os setores SMV-1, SMV-2 e SMV-3 foram, respectivamente, 0,010 m³/h.lig, 0,090 m³/h.lig e 0,010 m³/h.lig.

A Figura 5.11 mostra as perdas físicas por ligação nos setores de medição de vazão SMV-1, SMV-2 e SMV-3, com destaque para as perdas físicas do setor SMV-1, onde houve inúmeras ocorrências de vazamentos.

A partir da análise dos critérios 1, 2 e 3 de obtenção da perda física mencionados na seção 4.4.2.1, destaca-se o aparecimento de valores negativos em maior quantidade nos cálculos realizados pelo critério 1.

Figura 5.10 – Vazão mínima noturna nos setores de medição de vazão SMV-1, SMV-2 e SMV-3.



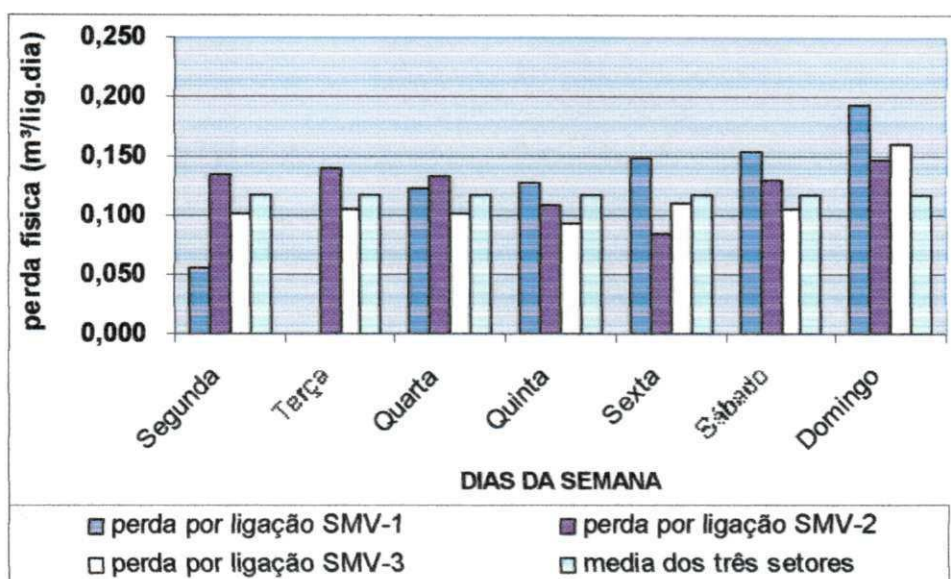
Os critérios 1 e 3 de estimativa pela vazão mínima noturna apresentaram valores negativos de perdas. Pelo critério 1, foram encontrados valores de perda aparente negativos em fevereiro, maio, junho e setembro. Pelo Critério 3, foram encontrados valores de perda aparente negativa apenas no mês de junho, sendo que as perdas físicas e aparentes tiveram valores médios bem próximos. Os valores negativos observados ocorreram porque os cálculos das perdas físicas foram baseados em vazões medidas que não acompanham o comportamento mensal do sistema, por causa da ausência de dados disponíveis por parte da Companhia. O critério 2, entretanto não apresentou resultados negativos mostrando resultados mais coerentes com a realidade operacional de sistemas dotados de reservatórios domiciliares, como é o caso de Queimadas.

De fato, em sistemas dotados de reservatórios domiciliares, as perdas aparentes são superiores às físicas (MIRANDA, 2003). Magalhães (2001), encontrou para

os 69 setores pesquisados em Salvador-BA valores de perdas aparentes maiores do que os de perda física, com índices respectivos de 36,02 % e 21,49 %.

Assim podemos adotar para a estimativa das perdas físicas no sistema, aquelas obtidas pelo critério 2. Em 2003, 141.921,06 m³ foram perdidos na forma de vazamentos, na adutora e/ou na rede de distribuição. O valor mínimo para as perdas físicas foi de 11.604,52 m³/mês e o máximo de 12.335,91 m³/mês, com valor médio de 11.826,75 m³/mês. As perdas aparentes totais em 2003 foram de 178.351,36 m³ com valor médio de 14.862,61 m³/mês.

Figura 5.11 – Perda física por ligação nos setores de medição de vazão SMV-1, SMV-2, SMV-3.



Método da EMBASA

O método da EMBASA mostrou-se satisfatório na determinação das componentes das perdas aparentes, sendo as perdas físicas determinadas por diferença entre estas componentes e os volumes perdidos totais, e apresentou resultado semelhante àquele encontrado pelo método da vazão mínima noturna, utilizando o fator Noite-Dia.

O volume total físico perdido encontrado para o ano de 2003 foi de 132.678,31 m³, um valor mínimo de 1.462,62 m³/mês em junho e máximo de 23.817,34

m³/mês em dezembro. O valor médio ficou em 11.056,53 m³/mês. A perda aparente total anual foi de 187.594,11 m³/mês, com valor médio mensal de 15.632,84 m³/mês.

Para a obtenção da submedição nos hidrômetros do sistema foi calculada a média ponderada do consumo médio faturado de todas as categorias de ligação predial por faixa de consumo obtendo-se o erro médio provável de submedição a partir da curva de erro das especificações técnicas do hidrômetro típico instalado no sistema.

A Tabela 5.1 mostra a média por faixa de consumo nas ligações do mês de janeiro de 2003, para o cálculo de submedição:

Tabela 5.1 – Média de consumo por faixa de consumo no mês de janeiro de 2003 em Queimadas

Faixa de Consumo	Número de ligações	Média de consumo
0 – 5 m ³	1045 ligações	3 m ³
6 – 10 m ³	1190 ligações	8 m ³
11 – 20 m ³	1141 ligações	14 m ³
21 – 30 m ³	212 ligações	24 m ³
31 – 45 m ³	38 ligações	35 m ³
46 – 90 m ³	20 ligações	62 m ³
90 a 150 m ³	9 ligações	116 m ³

A média ponderada do consumo foi de 10,21 m³/mês.lig. e a vazão horária, a partir desta média foi de 14,18 l/h.lig. O erro de submedição, nessas condições, a partir da curva de erro do medidor IM-T3 Turbimax, classe B foi estimado em -12,14 %.

Magalhães (2001) sugere, no seu método estimativo, índices de submedição entre 5 e 15 % enquanto Sanchez & Motta (2000) citado por Viegas (2003) mostra a faixa entre 8 % e 14 % para hidrômetros novos e abaixo de 5 anos de instalação, respectivamente, ficando o valor encontrado dentro da faixa observada na literatura.

Para as componentes do desperdício doméstico nas ligações não medidas e do consumo nas ligações clandestinas estimou-se um valor de 17 m³ para o consumo das ligações não medidas. Este valor é 2,15 vezes maior que o consumo médio por residência no ano de 2003 no sistema. Magalhães (2001) adotou um valor de 30 m³ para a região

metropolitana de Salvador. Neste trabalho este valor não foi adotado em virtude de que em Salvador o perfil de consumo médio é muito superior ao do sistema estudado (até 36,82 m³/ligação.mês).

Em pesquisa operacional realizada pela EMBASA na região metropolitana de Salvador, Magalhães (2001) mostrou, ainda, que 60 a 80 % das ligações inativas são encontradas funcionando, consumindo até 35 m³. Para este estudo, foi adotado o percentual de 60 % para o número de ligações encontradas funcionando e consumo de 17 m³/ligação.mês.

As ligações com "by-pass" foram contabilizadas a partir do total de ligações com *by-pass* pesquisadas pela companhia, calculada a vazão a partir do volume medido *per capita da distribuição (Ibid.)*.

A Tabela 5.2 apresenta os volumes mensais correspondentes às perdas aparentes no ano de 2003, a partir do método da EMBASA (MAGALHÃES, 2001).

Tabela 5.2 – Volumes estimados de perdas dos componentes das perdas aparentes em m³

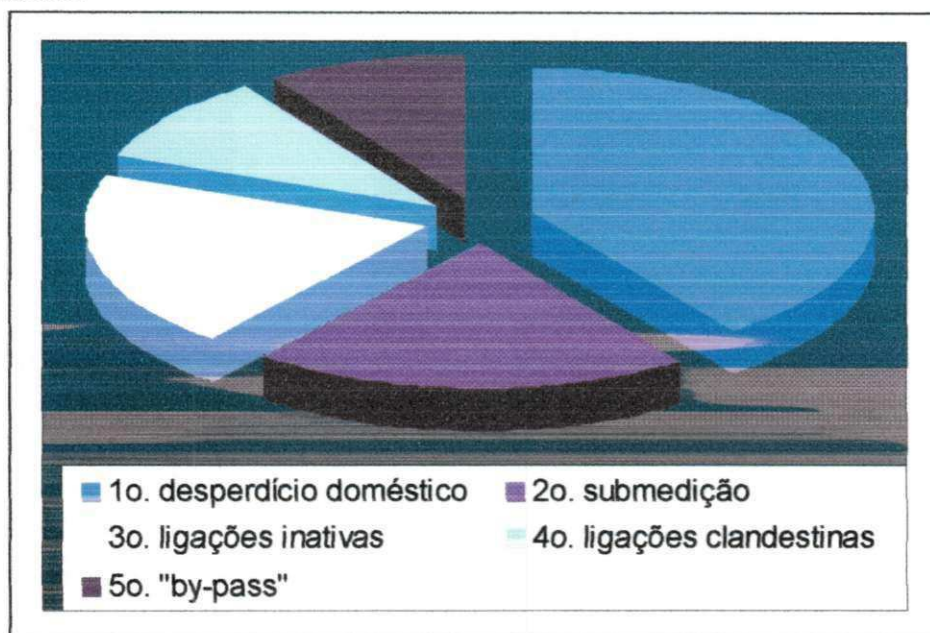
Mês	Componentes das perdas aparentes					Perdas Aparentes
	submedição	desperdício doméstico	ligações clandestinas	ligações inativas	ligações c/ "by-pass"	
Jan	3960,19	6139,04	1800,81	3838,31	1631,05	17369,41
Fev	2903,12	1688,69	1274,04	3803,98	1814,45	11484,29
Mar	3952,06	6255,69	1811,01	3842,60	1627,70	17489,06
Abr	3372,49	7226,40	1820,70	3451,06	1389,00	17259,66
Mai	4052,57	6061,11	1820,19	3907,07	1669,10	17510,05
Jun	2085,76	3810,07	1292,40	2966,21	1303,60	11458,04
Jul	3516,84	6980,90	1829,37	3548,47	1448,45	17324,04
Ago	2104,00	3843,26	1294,92	2994,68	1315,00	11551,86
Set	2480,96	2905,42	1299,24	3382,81	1550,60	11619,03
Out	3331,70	7768,04	1844,67	3462,25	1372,20	17778,86
Nov	3820,94	7122,45	1856,40	3813,88	1573,70	18187,37
Dez	3651,95	7774,88	1902,30	3729,22	1504,10	18562,45
Médias	3269,38	5631,33	1653,84	3561,71	1516,58	15632,84
Totais	39232,59	67575,96	19846,05	42740,56	18198,95	187594,11

A Figura 5.12 mostra a contribuição de cada parcela para a formação das perdas aparentes no sistema de Queimadas no ano de 2003, a partir da estimativa realizada pelo método da EMBASA (*Ibid.*).

Os resultados mostraram vazões significativas de desperdício doméstico nas perdas aparentes, com valor máximo de 7.774,88 m³/mês, seguidas pelas vazões de

submedição de hidrômetro, com valor máximo anual de 4.052,57 m³/mês. Com base nesses dados a Companhia pode alocar recursos, priorizando as parcelas das perdas que mais contribuem prejudicialmente ao faturamento.

Figura 5.12 – Contribuição das parcelas na formação das perdas aparentes estimadas em Queimadas no ano de 2003



Estes resultados apontam ainda para a importância e a viabilidade de realização de pesquisas operacionais periódicas ou contínuas no sistema para suprir a Divisão de Controle Operacional de informações necessárias à tomada de decisão racional no combate às perdas em seus sistemas, bastando, para isso, um investimento mínimo adicional na capacitação dos recursos humanos para utilização apropriada da metodologia e adequação do sistema para a aquisição de dados mais acurados.

5.6 – Comparação entre os métodos de estimativa

Este trabalho aplicou duas metodologias de estimativa das perdas físicas e aparentes. O método da EMBASA (MAGALHÃES, 2001) e o método da vazão mínima noturna (VIEGAS, 2003; GONÇALVES, 2000).

A Figura 5.13 mostra a comparação dos índices de perdas mensais obtidos pelos dois métodos. A Figura 5.14 apresenta a comparação desses índices para o valor médio anual dessas perdas.

Figura 5.13 – Comparação dos índices de perdas físicos e não físicos mensais obtidos pelos métodos da QMN e da EMBASA no ano de 2003

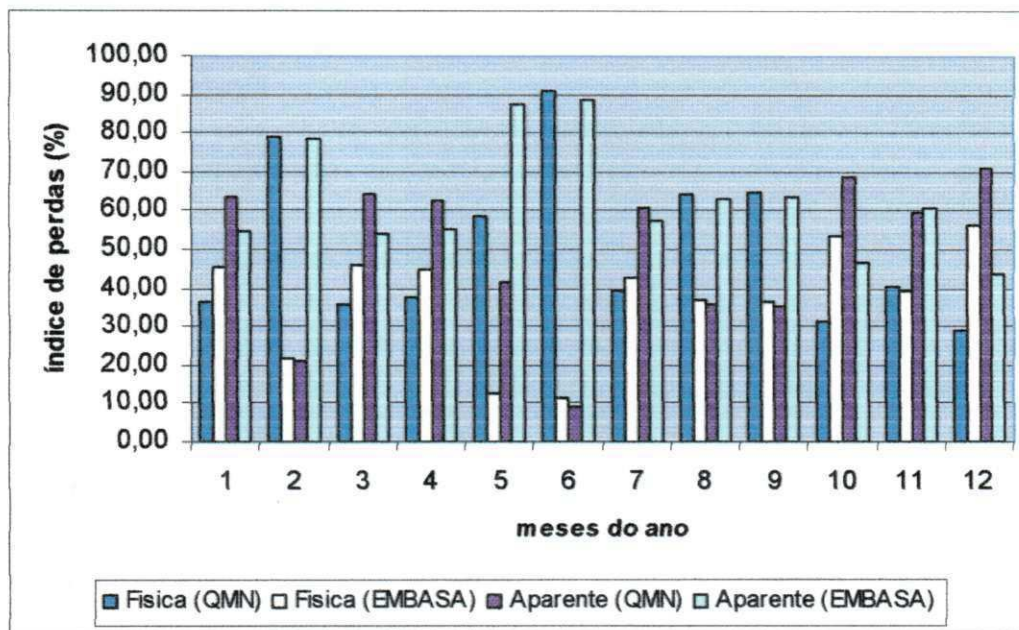
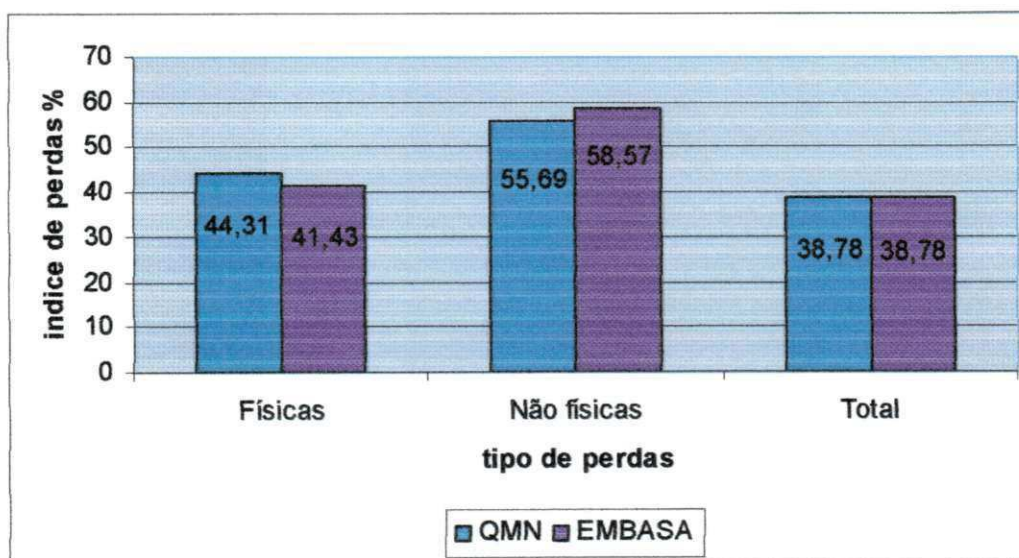


Figura 5.14 – Comparação do índice médio anual das perdas obtidas pelos métodos da QMN e da EMBASA no ano de 2003



Da análise da Figura 5.14 são observados maiores valores para as perdas aparentes em ambos os métodos. Este resultado já era esperado, em função da presença de caixas d'água nos domicílios. O valor médio mensal da perda aparente pelo método da EMBASA foi de 15.632,84 m³/mês (58,57 % do volume médio perdido), bastante próximo daqueles obtidos pelo método da QMN, que foi de 14.862,61 m³/h (55,69 % do volume médio perdido), com diferença de 4,93 %. Para as perdas físicas, o valor observado para o método da EMBASA foi de 11.056,53 m³/mês (41,43 % do volume médio perdido) e para o método da QMN de 11.826,75 m³/mês (44,31 % do volume médio perdido), uma diferença de 6,51 %. O índice perdas médio anual de 38,78 % foi igual para ambos os métodos, uma vez que este valor é obtido pela diferença entre os volumes fornecidos e utilizados no sistema, independentemente das componentes das perdas.

Os resultados mensais evidenciaram discrepâncias entre os métodos ao longo dos meses. Essa discrepância se dá devido à grande variação do volume fornecido ao longo do ano, independente do consumo da população, enquanto a estimativa das perdas físicas e aparentes teve seu valor fixado para todos os meses do ano, pela não disponibilidade de séries históricas destes dados na CAGEPA. Outro fator contribuinte está no enfoque dos métodos. O método da EMBASA estima as perdas aparentes para, a partir destas, calcular as perdas físicas. O método da QMN, baseado em medições de campo, estima as perdas físicas para então calcular as perdas aparentes.

O método da vazão mínima noturna (QMN) foi considerado mais acurado que o da EMBASA por basear-se em dados de campo. Todavia, o método EMBASA, pode ter sua acurácia melhorada se for alimentado com os dados do controle operacional, relativos aos índices de submedição, desperdício doméstico em ligações não medidas, ligações clandestinas, ligações inativas, e "by-pass" do sistema local.

Considerando as divergências metodológicas e as condições desfavoráveis para a coleta de dados contínuos e mais acurados, os resultados mostram que a diferença entre os métodos estudados não foi significativa permitindo sua aplicação no controle operacional da companhia em todos os sistemas com perfis de consumo e operacional semelhantes, tornando-se assim uma ferramenta de trabalho útil para apoiar um programa efetivo de combate às perdas de água no interior do estado da Paraíba.

5.7 – Custos das Perdas

As perdas nos sistemas de abastecimento geram prejuízos de ordem ambiental, pela exploração irrestrita e irresponsável de mananciais cada vez mais escassos; de ordem social, ao negar à população o acesso à água de qualidade em quantidade suficiente para atendimento de suas necessidades. Associados a esta problemática, estão os prejuízos financeiros da Companhia, que reprimem o crescimento, onerando os cofres públicos com subsídios para cobrir déficits orçamentários, e impedindo investimentos na ampliação, manutenção e no controle operacional de seus sistemas.

A Tabela 5.3 apresenta o custo das perdas para o sistema de Queimadas a partir dos dados do ano de 2003, com análise dos custos feita pelos volumes encontrados pelo método da vazão mínima noturna, por ser mais acurado na estimativa dos componentes das perdas de água.

Tabela 5.3 – Custo das perdas pelos métodos da vazão mínima noturna com base no ano de 2003 para o sistema de abastecimento de Queimadas.

Mês	Custo das perdas pelo método da QMN					
	P. Física m³/mês Sistema	P. apar. m³/mês Sistema	Valor m³ (R\$)	perda financeira (R\$)		
				física	n.física	Total
Janeiro	11.604,52	20186,20	1,36	15749,66	27396,71	43146,36
Fevereiro	11.641,49	3057,54	1,36	15799,83	4149,69	19949,52
Março	11.681,09	20743,32	1,36	15853,58	28152,84	44006,42
Abril	11.723,34	19605,12	1,36	15910,92	26608,06	42518,98
Mai	11.704,86	8266,99	1,36	15885,83	11219,96	27105,80
Junho	11.762,95	1157,72	1,36	15964,67	1571,25	17535,92
Julho	11.755,02	18381,90	1,36	15953,92	24947,91	40901,83
Agosto	11.823,67	6525,40	1,36	16047,09	8856,27	24903,36
Setembro	11.855,36	6450,24	1,36	16090,09	8754,27	24844,37
Outubro	11.958,33	26225,45	1,36	16229,85	35593,18	51823,03
Novembro	12.074,51	17707,62	1,36	16387,53	24032,78	40420,30
Dezembro	12.335,91	30043,87	1,36	16742,30	40775,54	57517,84
Total	141921,06	178351,36	-	192615,26	242058,47	434673,73
Média	11826,75	14862,61	1,36	16051,27	20171,54	36222,81

No sistema de Queimadas, o prejuízo financeiro anual, adotando uma tarifa média de R\$ 1,36 (ano de 2003), foi de R\$ 434.673,73 de um faturamento médio anual de R\$ 729.888,59. O valor médio mensal do custo das perdas ficou em R\$ 36.222,81, para um faturamento médio mensal de R\$ 60.824,05. O custo das perdas aparentes representou 55,68 % do custo total das perdas. Essas perdas constituem 33,16 % do faturamento anual do sistema de Queimadas. Já as perdas físicas representam 44,31 % do custo total das perdas e 26,38 % do faturamento anual. As perdas totais representam 59,55 % do faturamento anual da empresa nesse sistema.

Estes resultados mostram que a Companhia perde um valor correspondente a quase 60 % do seu faturamento anual no sistema de Queimadas, inexistindo qualquer programa focado no combate a estas perdas na política de gestão e controle operacional da CAGEPA. De fato, no ano de 2004, a Divisão de Macromedição e Controle de Perdas foi extinto, passando a figurar apenas a Divisão de Controle Operacional e Macromedição.

O relatório anual do sistema nacional de informações sobre saneamento (SNIS/2002) mostra investimentos inferiores R\$ 5 milhões anuais para as Companhias do Nordeste. Desde 1999 os investimentos médios anuais no Brasil caíram de R\$ 160 milhões anuais para R\$ 83 milhões de reais em 2002 (BRASIL, 2004). Isto expõe a situação deficitária dos balanços anuais das companhias de saneamento e está relacionada às perdas de faturamento, demonstrando a necessidade de investimentos para a redução das perdas.

Orellana *et al.* (2004) mostrou ser vantajoso investir em programas de redução de perdas, através de um programa implantado pela SABESP para redução de perdas na região metropolitana de São Paulo. O investimento realizado foi de R\$ 1.000.000,00 garantindo uma economia de 487.180 m³. O ganho mensal foi de R\$ 253.000,00, com retorno do investimento em apenas quatro meses.

A CAGECE investiu cerca de R\$ 2.400.000,00 na instalação do centro de controle operacional, visando o combate às perdas físicas e não físicas em toda a região metropolitana de Fortaleza. A economia total entre 2002 e 2003 foi de R\$ 1.517.593,40 (BRANDÃO JÚNIOR, 2004).

Padula Filho (2001) registrou uma economia mensal de R\$ 888.731,48, com retorno do investimento total em 3,9 meses na implantação de válvulas de pressão na unidade de negócio centro da SABESP atendendo 4.000.000 de habitantes.

Em Queimadas, a implantação de macromedidores nas unidades de sistema aliada a um programa de compatibilização do cadastro técnico custaria à Companhia por volta de R\$ 24.800,00. Os custos operacionais para leitura de vazão e pressão de modo a gerar um banco de dados consistente para a estimativa das perdas seriam, mensalmente, em torno de R\$ 4.300,00, perfazendo um custo anual em torno de R\$ 53.000,00. Esse programa poderia ser implantado ao custo estimado de R\$ 77.548,30. Se for considerado o custo anual das perdas no sistema de R\$ 434.673,73, o investimento representaria apenas 17,80 % do valor perdido anualmente.

Evidentemente, os custos mais precisos só poderão ser levantados em função do equacionamento dos diversos componentes das perdas, dependendo, primariamente, do tipo de combate às perdas. Qualquer que seja o método utilizado, um combate eficiente às perdas no sistema de Queimadas deverá passar pela priorização às perdas aparentes, notadamente aquelas relativas ao desperdício doméstico em ligações não medidas e à submedição de hidrômetros. Já que as perdas físicas também representam parcela significativa do montante das perdas, atenção especial deve ser dada à retirada de vazamentos, investindo em recursos humanos e materiais e em um estudo de otimização das pressões na zona de pressão do reservatório R1, através da instalação de válvulas redutoras de pressão nos pontos críticos.

De fato, muitos outros estudos podem ser realizados, visando indicar a intervenção mais vantajosa para a CAGEPA, considerando as diversas frentes possíveis de ação no combate às perdas.

CAPÍTULO VI

CONCLUSÃO

Os resultados apresentados nesse trabalho mostraram que o sistema estudado está compatível com a realidade encontrada no Nordeste brasileiro. Mostraram ainda que as perdas aparentes apresentam maior predominância do que as físicas não obstante a ocorrência diária, comum e preocupante de vazamentos no sistema, tanto na adutora como na rede de distribuição.

Os dois métodos aplicados no estudo do sistema de abastecimento de Queimadas - PB mostraram a compatibilidade entre si. As metodologias se constituem em excelente alternativa como ferramenta na caracterização e controle das perdas em sistemas de abastecimento d'água de pequeno porte, onde investimentos em sistemas de controle por telemetria e métodos computacionais mais sofisticados seriam proibitivos do ponto de vista econômico e operacional.

O sistema de abastecimento de Queimadas, operado precariamente quanto às condições físicas, aos recursos humanos e à disponibilidade de equipamentos, apresentou resultados que demonstram prejuízo significativo para a população e, especialmente, para a Companhia, e que levaram às seguintes conclusões:

- O consumo médio medido nas ligações residenciais, de 7,90 m³/economia.mês, mostrou-se abaixo do valor mínimo para as ligações residenciais não-medidas, de 10 m³/mês.
- A variação significativa de 40,35 % no fornecimento mensal, sem variação similar do consumo, aponta para falhas na gerência de fornecimento de água;

- O aumento de 5,03 % do número de ligações medidas ao longo do ano foi fator contribuinte na redução do consumo micromedido em 7,78 %.
- A instalação de hidrômetros no decorrer do ano, embora possa ter contribuído na redução do consumo micromedido, não influenciou na redução das perdas, já que houve aumento do fornecimento em 10,92 % no mesmo período.
- A demanda e as perdas tenderam a aumentar com a aproximação do fim do ano.
- As ligações residenciais, representando 96,45 % do total de ligações, consumiram 93,49 % do volume médio utilizado, estabelecendo uma homogeneidade do perfil de consumo da população que permitiu considerar proporcionalmente as perdas físicas e não físicas dos setores de medição como representativos do sistema;
- O índice médio mensal das perdas em 2003 foi de 38,78 % do volume total produzido.
- Os índices de perdas físicas e aparentes no ano de 2003 estimadas pelo método da **QMN**, respectivamente de 44,31 % e 55,69 %, e pelo método da **EMBASA**, respectivamente de 41,43 % e 58,57 %, mostram compatibilidade na aplicação de ambos.
- As perdas aparentes foram significativamente maiores que as perdas físicas, representando 33,16 % do faturamento anual;
- As perdas totais representam 59,55 % do faturamento anual da **CAGEPA** no sistema de Queimadas - PB.
- O sistema requer adaptações físicas através da instalação de macromedidores na rede de distribuição em cada zona de pressão, pontos de pitometria e isolamento hidráulico (setorização) das duas zonas de pressão, necessárias ao estudo mais acurado das perdas;
- O controle de perdas utilizado pela **CAGEPA** é inadequado por não proporcionar o conhecimento das componentes físicas e não físicas do sistema.

CAPÍTULO VII

RECOMENDAÇÕES

Para pesquisas futuras recomenda-se:

- Estimar as perdas por unidade de sistema (adução, reservação e rede de distribuição), através da instalação de maior número de macromedidores.
- Estudar o perfil de consumo do desperdício doméstico nas ligações não medidas e nas ligações clandestinas;
- Estudar a influência do bombeamento (contínuo e descontínuo) do sistema nas variações das vazões mínimas noturnas e nas perdas físicas estimadas a partir deste parâmetro;
- Avaliar o índice de submedição do parque de hidrômetros da cidade de Queimadas para todas as categorias de consumo.

CAPÍTULO VIII

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, V. L. P; LIMA, I. J. A. **Modelo de desenvolvimento de um programa de micromedição.** Revista DAE/SABESP, São Paulo, Ano XLI, n.126, set. 1981. São Paulo: SABESP, 1981.

AZEVEDO NETTO, J. M. **Manual de hidráulica.** 6^a. edição revista e complementada. Volume 1. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 1973. 333 p.

BRANDÃO JÚNIOR, M. **Tecnologia de automação para centro de controle operacional como resultado de gestão de projeto integrado de controle e redução de perdas.** In: SEMINÁRIO HISPANO-BRASILEIRO SOBRE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO URBANO DE ÁGUA, 4., 2004, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: Bezerra, S.T.M., 2004. 1 CD-ROM.

BRASIL, Ministério da Saúde. Fundação Serviços de Saúde Pública. **Manual de Saneamento.** 2^a. ed. revista e atualizada. Rio de Janeiro: Fundação SESP, 1981. 250p. il.

_____. Senado Federal. Decreto-lei no. 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Define a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Brasília, DF, 1997.

_____. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Programa de Modernização do Setor de Saneamento. Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2002.** Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA, 2004. v.2 – 93p.

_____. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Programa de Modernização do Setor de Saneamento. Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2003**. Arquivo: D9_Texto.pdf, Disponível em: http://www.snis.gov.br/diag_2003.htm. Acessado em 10.06.2005 às 19:37:25.

CASTRO, M. A . H. **Uso conjunto do AUTOCAD e do EPANET para projeto, simulação e dimensionamento de redes de abastecimento de água**. In: SEMINÁRIO HISPANO-BRASILEIRO SOBRE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO URBANO DE ÁGUA, 4., 2004, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: Bezerra, S.T.M., 2004. 1 CD-ROM.

CEARÁ, COMPANHIA DE ÁGUA E ESGOTOS DO CEARÁ. **Programa de controle e redução de perdas de água**. Fortaleza: CAGECE, 2003. 60p. .

_____. **Medição por proporcionalidade**. Fortaleza: CAGECE, 2003. 13p. .

COELHO, A. C. **Medição de águas e controle de perdas**. Rio de Janeiro: ABES/BNH, 1983. 339 p.

_____. **Manual de economia de água, conservação de água**. Olinda: Ed. do Autor, 2001. xvi, 264 p.

CUNHA, J. M. R da. **Tecnologia utilizada na operação de redes de distribuição para redução de perdas de água – setorização em distritos pitométricos**. In: SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. 9., 2000, Porto Seguro. **Anais...** Porto Seguro, 2000. 1 CD-ROM.

DANTAS, M. da P. **Setorização de redes de distribuição de água e controle de pressão, voltados para controle de perdas**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20., 1999, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 1999. 1 CD-ROM.

DELMÉE, G. J., **Manual de medição de vazão**. São Paulo: Edgard Blücher, 1983. 329 p.

DENAPOLI, F. L. **Serviços de Engenharia para controle de pressão e vazão com implantação de válvulas redutoras de pressão (VRP) controladas por telemetria**. In:

KOCHEN, J. V. e BERENHAUSER, C. J. B. Revista DAE/SABESP, São Paulo, Ano XLI, n.126, set. 1981. **Estado atual do programa de controle de perdas de água na RMSP.** São Paulo: SABESP, 1981.

LAMBERT A., **Apresentação do seminário sobre perdas de água.** In: ENCONTRO TÉCNICO SOBRE REDUÇÃO E CONTROLE DE PERDAS DE ÁGUA EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO D'ÁGUA DE SALVADOR, 2002. Salvador. 11p.

LAMBERT, A. **Revisão de metodologias e indicadores de desempenho para controle de perdas em sistemas de abastecimento de água.** Tradução: Elton Gonçalves. Salvador: In: ENCONTRO TÉCNICO SOBRE REDUÇÃO E CONTROLE DE PERDAS DE ÁGUA EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO D'ÁGUA DE SALVADOR, 2002. Salvador. 11p.

LAMON, G. P. S. **Pitometria e macromedição nas empresas de saneamento.** 2^a. edição. Belo Horizonte: Edição do Autor, 2002.

MAGALHÃES, A. S., **Metodologia para diagnóstico e controle de perdas. Uma experiência desenvolvida em sistema de abastecimento de água.** Salvador: EMBASA, 2001. 176 p.

MIRANDA, E . C. **Indicadores de perdas de Água: o que, de fato, eles indicam?.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 22., 2003, Joinville. **Anais...** Joinville: ABES, 2003. 1 CD-ROM.

NUNES, J. H. A. **Manual de pitometria. Volume I.** Companhia de água e esgoto do Ceará; Unidade de Serviço de Medição. Fortaleza: CAGECE, 2002. 109 p.

OLIVEIRA JÚNIOR, J. L. **A gestão dos recursos hídricos no controle de perdas de água para abastecimento público.** Trabalho apresentado como requisito para aprovação na Disciplina Gestão de Recursos Hídricos, Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2003.

ORELLANA, A; HAGUTUDA C.; OLIVEIRA, C. R. O.; RODRIGUES, R.; AMARAL, E. M.; PAIXÃO, G. M.; CARRILO, M.; DRUDI, M.; BRAGHIROLI, M. A.; SANTOS,

P.A. R.; INAOKA, R. T.; CARVALHO, S. M.; FREITAS, V. V.; **Conservação e uso racional de energia elétrica e água no sistema de distribuição de água do setor Santana, na região norte da cidade de São Paulo-SP.** In: SEMINÁRIO HISPANO-BRASILEIRO SOBRE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO URBANO DE ÁGUA, 4., 2004, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: Bezerra, S.T.M., 2004. 1 CD-ROM.

PADULA FILHO, H. N. **Experiência da unidade de negócio centro da SABESP, na utilização de válvulas redutoras de pressão como parte do programa de redução de perdas.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21., 2001, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: ABES, 2001. 1 CD-ROM.

PARAÍBA, Companhia de Água e Esgoto do estado da Paraíba. **Relatório de micromedição - janeiro/ 2003 a dezembro/2003.** Campina Grande: CAGEPA, 2003. 4p.

_____. Governo do Estado da Paraíba. Laboratório de Meteorologia e Recursos Hídricos. **Precipitação pluviométrica anual e temperatura média anual do município de Queimadas para o ano de 2003.** Dados_meteorolog_queimadas 2003.xls. Campina Grande: 2005. Disco Rígido_computador pessoal.

WWW.PLANETA ORGÂNICO.COM.BR. 2003 – **Dia internacional da água doce.** Disponível em: <http://www.planetaorganico.com.br/agua2003.htm>. Webdesign: Programação Visual A2: 2004. Acessado em 10.06.2005 às 19:16.

_____. Governo do Estado da Paraíba. Companhia de Água e Esgoto do estado da Paraíba. **Informações técnicas do município de Queimadas – Controle operacional.** Campina Grande: CAGEPA, 2005. 4p.

RECH, A. L. **Água, micromedição e perdas.** Edição DMAE, Porto Alegre, 1992. 114p.

SARZEDAS, G. L. **Pesquisa de vazamentos ou redução de pressão? Como investir na redução de perdas físicas.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20., 1999, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 1999. 1 CD-ROM.

SERAGELDIN, I. **Water supply, sanitation, and environmental sustainability: the financing challenge.** Washington D.C. 1994. ISBN 0-8213-3022-5. 35 p.

SILVA, R. T. V. **Medidores de vazão utilizados pela empresa baiana de águas e saneamento S/A – EMBASA.** In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE PROGRAMAS DE REDUÇÃO E CONTROLE DE PERDAS EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA. Recife, 2002. Arquivo... Salvador: EMBASA, 2002.

SILVA, R.T; CONEJO, J.G.L; ALVES, R.F.F.; MIRANDA, E.C. **Documento Técnico de Apoio A2 – Indicadores de Perdas nos Sistemas de Abastecimento de Água.** MPO/SEPURB/DESAN, Brasília, 2003. Disponível em: <http://www.cetesb.gov.br/pt-br>. Acesso em: 13 jul.2004, 16:40:30.

SILVA, S. A. **Programa de controle e gestão de perdas do SAAE – Barra Mansa – RJ.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21., 2001, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: ABES, 2001. 1 CD-ROM.

SILVA SAMUEL, P. R. da. **Efeitos da substituição de redes sobre a perda d' água no distrito pitométrico de Ipanema.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21., 2001, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: ABES, 2001. 1 CD-ROM.

SLACK, N.; Chambers, S.; Harland, C.; Harrison, A. E Johnston, R. **Administração da Produção.** São Paulo: Atlas, 1997.

SOARES, A . K & REIS, L . F. R. **Estudo dos parâmetros dos modelos de vazamentos de um setor da rede de distribuição de água de Piracicaba-SP.** In: SEMINÁRIO HISPANO-BRASILEIRO SOBRE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO URBANO DE ÁGUA, 4., 2004, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: Bezerra, S.T.M., 2004. 1 CD-ROM.

SOKAL R. R. E ROHLF F. J. **Biometry. The principles and practice of Statistics in Biological Research.** Second edition. W. M. Freeman and Company. New York. 1981. ISBN 0-7167-1254-7 861 p.

SUMAN, L. E. & CHISCA Jr, H. **Macromedição e controle de perdas** In: ENCONTRO TÉCNICO SOBRE REDUÇÃO E CONTROLE DE PERDAS DE ÁGUA EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO D'ÁGUA DE SALVADOR, 2002. Salvador. 11p.

TUNDISI, J. G.. **Água no Século XXI: Enfrentando a escassez**. São Carlos: RiMa, IIE, 2003. 248 p. ISBN – 85.886552-51-8.

VIEGAS, J. V. **Redução de pressão – uma alternativa técnica para melhorar a eficiência operacional**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21., 2001, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: ABES, 2001. 1 CD-ROM.

VIEGAS, J. V. **Estudo de metodologias para determinar perdas físicas em redes de distribuição de água**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal Sana Maria. Santa Maria: 2003. 154 p.

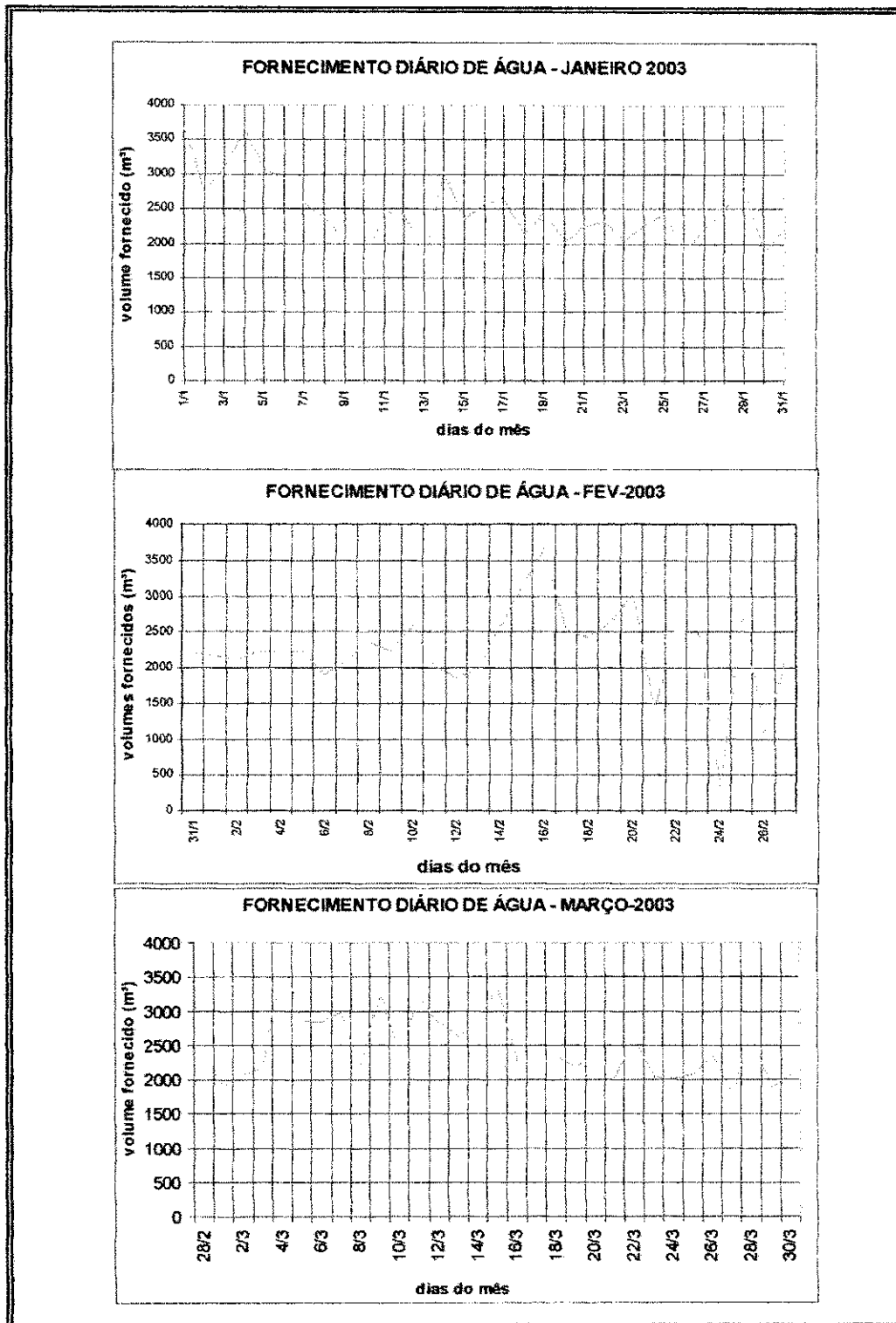
WOLNEY C. A.; COSTA, A. J.M.P.; GOMES, J. S.; PEIXOTO, J. B. e LEITE, S. R.; **Documento Técnico de Apoio DTA – D2 – PNCDA – macromedição**. Brasília, DF: MPO/SEPURB/DESAN, 1999. 48 p. Disponível em: <http://www.cidades.gov.br/medida>. Acesso em: 13 jul.2004, 16:45:35.

_____. **Documento Técnico de Apoio DTA – D3 – PNCDA – micromedição**. Brasília, DF: MPO/SEPURB/DESAN, 1999. Disponível em: <http://www.cidades.gov.br/medida>. Acesso em: 13 jul.2004, 16:51:59.

YASSUDA, E. R. E BORBA JÚNIOR, E. F. **Sistema para planejamento e controle operacional das redes de distribuição de água**. Revista DAE/SABESP, São Paulo, Ano XLI, n.126, set. 1981. São Paulo: SABESP, 1981.

Apêndice A

Figura A1 – Fornecimento diário de água entre os meses de janeiro e março de 2003 – Queimadas - PB



José Lima de Oliveira Júnior
UFCG - PB

Figura A2 – Fornecimento diário de água entre os meses de abril e junho de 2003 – Queimadas - PB

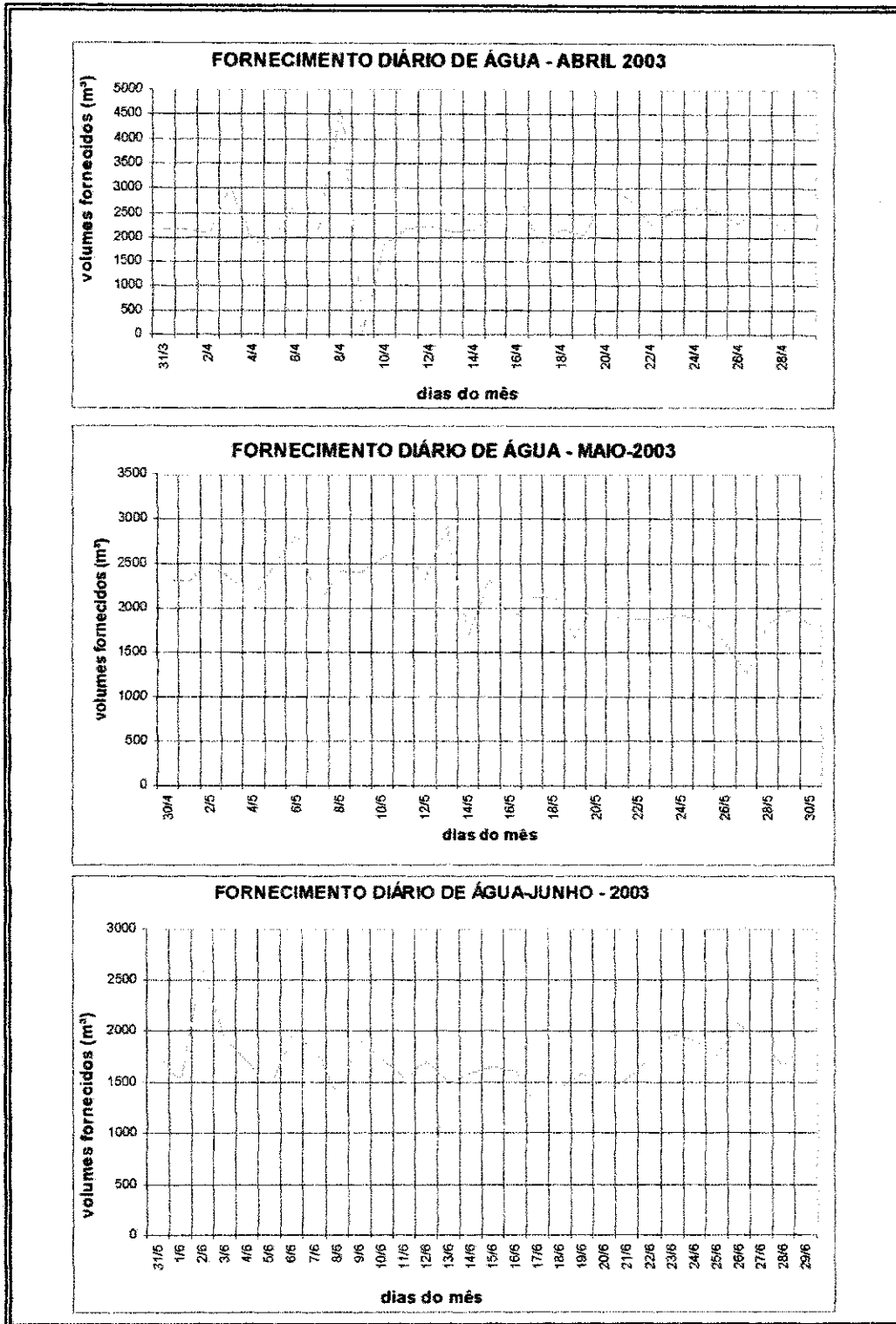
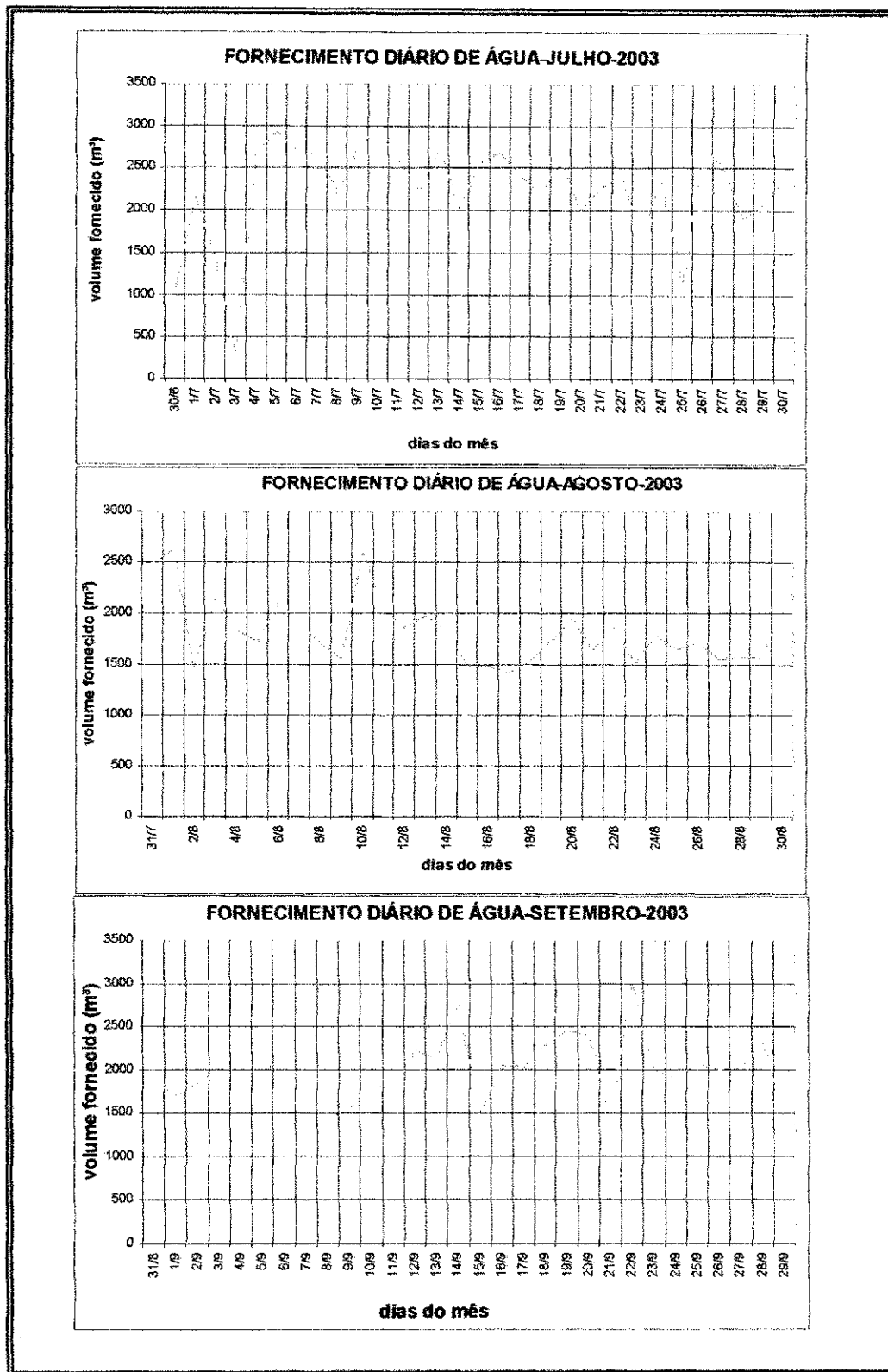
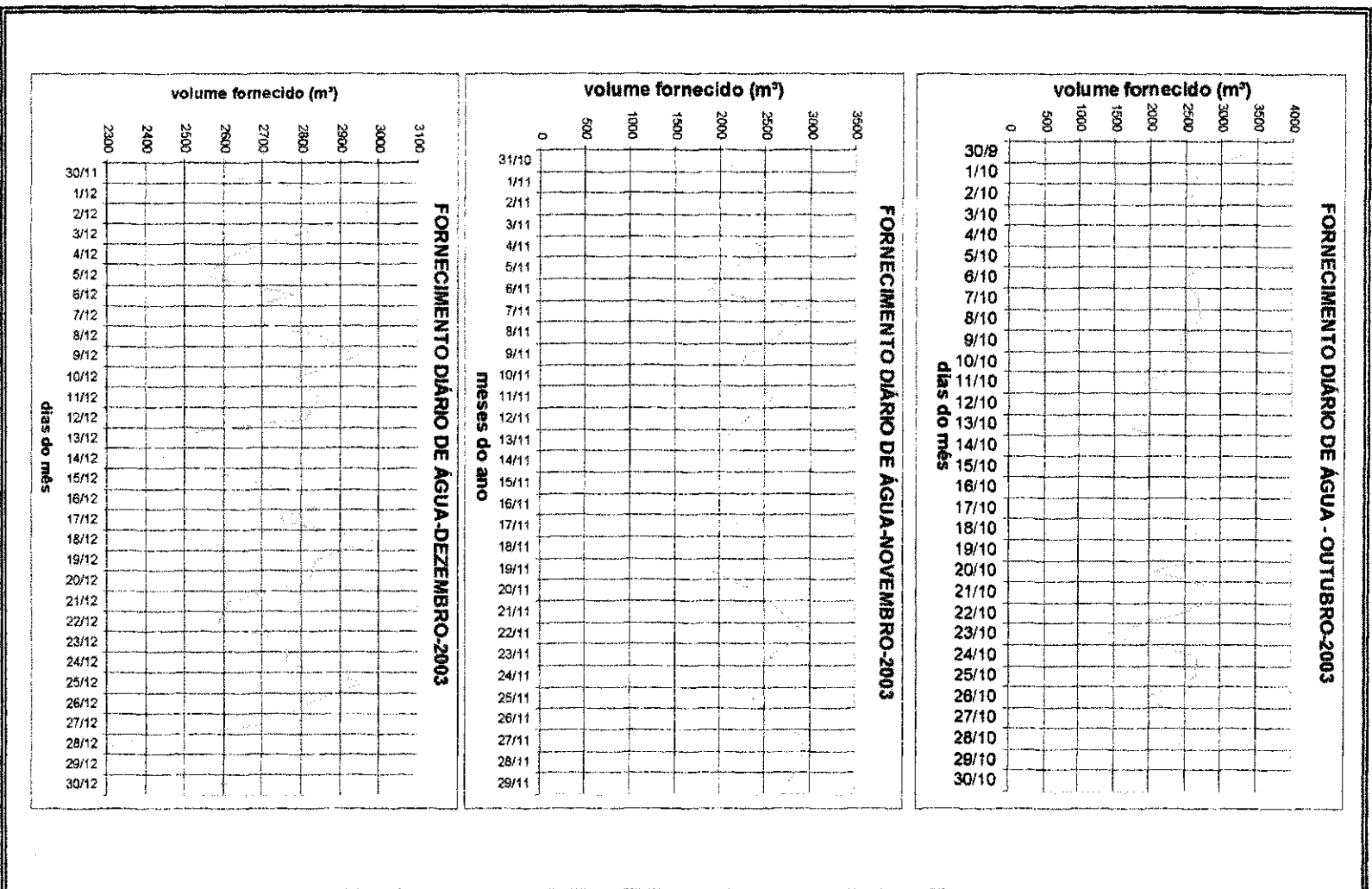


Figura A3 – Fornecimento diário de água entre os meses de julho e setembro de 2003 – Queimadas-PB



José Lima de Oliveira Júnior
 UFCG - PB

Figura A4 – Fornecimento diário de água nos meses de outubro e dezembro de 2003 – Queimadas – PB



José Lima de Oliveira Júnior
 UFCG - PB

Tabela A1 – Iterações iniciais do cálculo do coeficiente N do setor de medição SMV-1

Pressão (m.c.a)	Vazão (l/s)	ln Q	ln P	N
29,32	0,51	0,056350648	0,448677406	0,125592792
18,72	0,48	0,009496575	0,152378717	0,06232219
25,18	0,51	-0,023739789	0,013598177	-1,745806762
28,92	0,53	-0,086616541	-0,064453251	1,343866127
31,272	0,56	-0,132939081	-0,029307112	4,536069013
30,192	0,59	-0,124569835	-0,028379283	4,389463749
30,164	0,58	-0,046854073	-0,296298689	0,158131219
27,68	0,54	-0,080090437	-0,435079229	0,184082419
		-0,14296719	-0,513130657	0,278617517
		-0,189289729	-0,477984518	0,396016444
		-0,180920483	-0,477056689	0,379243154
		-0,033236364	-0,138780541	0,239488649
		-0,096113117	-0,216831969	0,443260822
		-0,142435656	-0,181685829	0,783966791
		-0,134066411	-0,180758001	0,741690051
		-0,062876753	-0,078051428	0,805581064
		-0,109199292	-0,042905288	2,545124302
		-0,100830047	-0,04197746	2,402004467
		-0,046322539	0,03514614	-1,317997924
		-0,037953294	0,036073968	-1,052096453
		0,008369245	0,000927828	9,020252536
			Média	1,177089151

Tabela A2 – Iterações iniciais do cálculo do coeficiente N do setor de medição SMV-2

Pressão (m.c.a)	Vazão (l/s)	ln Q	ln P	N
38,67	2,42	-0,046626464	0,020686639	-2,25394105
37,88	2,53	0,074613191	0,023992427	3,109864284
37,75	2,24	0,078667118	0,049933058	1,575451622
36,78	2,23	0,005667452	0,117042469	0,048422183
34,40	2,40	0,021319834	0,011161193	1,910175195
38,24	2,37	0,025271512	-0,023640756	-1,06898071
39,59	2,36	0,121239655	0,003305788	36,67496223
37,61	2,36	0,125293582	0,02924642	4,284065629
		0,052293916	0,096355831	0,542716672
		0,067946298	-0,009525446	-7,133135856
		0,071897976	-0,044327395	-1,621976133
		0,004053927	0,025940632	0,156277106
		-0,068945739	0,093050043	-0,740953331
		-0,053293357	-0,012831234	4,153408626
		-0,049341679	-0,047633183	1,035867773
		-0,072999666	0,067109411	-1,087770923
		-0,057347284	-0,038771865	1,479095299
		-0,053395606	-0,073573814	0,725741981
		0,015652382	-0,105881276	-0,147829555
		0,01960406	-0,140683225	-0,139348953
		0,003951678	-0,034801949	-0,113547611
			Média	1,970884023

Tabela A3 – Iterações iniciais do cálculo do coeficiente N do setor de medição SMV-3

Pressão (m.c.a)	Vazão (l/s)	ln Q	ln P	N
32,07	1,63	-0,006401414	0,004818659	-1,328463824
31,92	1,64	-0,016000679	0,043005964	-0,37205722
30,72	1,66	0,004430655	0,059829174	0,07405509
30,21	1,62	-0,105295939	0,033287976	-3,163182345
31,02	1,81	-0,049241846	0,075818392	-0,649470985
29,73	1,71	-0,057797645	-0,046703069	1,237555599
33,60	1,73	-0,009599265	0,038187305	-0,25137321
31,32	1,69	0,010832069	0,055010515	0,196909059
		-0,098894525	0,028469318	-3,47372307
		-0,042840432	0,070999733	-0,603388631
		-0,051396231	-0,051521728	0,99756419
		0,020431334	0,01682321	1,214472975
		-0,08929526	-0,009717987	9,188657987
		-0,033241166	0,032812428	-1,013066335
		-0,041796965	-0,089709033	0,465917022
		-0,109726594	-0,026541197	4,134199109
		-0,0536725	0,015989218	-3,356793342
		-0,062228299	-0,106532243	0,584126437
		0,056054094	0,042530415	1,317976641
		0,047498295	-0,079991045	-0,593795149
		-0,008555799	-0,122521461	0,069831024
			Média	0,222664334