



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
CENTRO TECNOLÓGICO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**Gilberto Caldeira Barreto**

**Avaliação da Operação e Estimativa das Perdas de Água e  
de Energia Elétrica no 3º Setor de Abastecimento de Água  
da Região Metropolitana de Belém.**

Belém (PA)  
2006

**Gilberto Caldeira Barreto**

**Avaliação da Operação e Estimativa das Perdas de Água e de Energia Elétrica no 3º Setor de Abastecimento de Água da Região Metropolitana de Belém.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará, à qualificação para o Mestrado Acadêmico em Engenharia Civil. Universidade Federal do Pará.

Área de concentração: Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.

Linha de Pesquisa: Saneamento e Sistemas de Infraestrutura Urbana.

Orientador: Prof. Dr. José Almir Rodrigues Pereira.

Belém (PA)  
2006

**Gilberto Caldeira Barreto**

**Avaliação da operação e Estimativa das perdas de água e de energia elétrica no 3º setor de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará, à qualificação para o Mestrado Acadêmico em Engenharia Civil. Universidade Federal do Pará.  
Área de concentração: Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.

Data de aprovação: 27 de dezembro de 2006

Banca examinadora:

---

**José Almir Rodrigues Pereira - Orientador**

**Membro**

Titulação      Doutor em Engenharia Hidráulica e Saneamento  
Instituição      Universidade Federal do Pará

---

**André Luiz Amarante Mesquita**

**Membro**

Titulação      Doutor em Engenharia Mecânica  
Instituição      Universidade Federal do Pará

---

**André Luis Calado Araújo**

**Membro**

Titulação      Doutor em Engenharia Civil  
Instituição      Universidade Federal do Rio Grande do Norte

---

**André Augusto Azevedo Montenegro Duarte**

**Membro**

Titulação      Doutor em Geologia e Geoquímica  
Instituição      Universidade Federal do Pará

Para o meu Deus, Eterno e Todo poderoso,  
Criador dos Céus e da terra,  
a quem sempre consagrarei  
minha vida, minha família e  
minha vocação. Amém!

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por tudo que foi, que é e que sempre será em minha vida.

Aos meus pais, Joel Alves Barreto e Ilma Caldeira Barreto, pois diariamente me alimentaram com porções do Amor de Deus.

Aos meus irmãos, Ivanildo Caldeira Barreto e Débora Caldeira Barreto, que sempre me desejaram sucesso.

A Monique Sandra Oliveira Dias, serva do Senhor Jesus Cristo, separa para me fazer feliz e servir de fonte de inspiração e de amor para servir ao Pai Celestial.

Aos amigos do Grupo de Pesquisa Hidráulica e Saneamento – GPHS, pela colaboração e ajuda.

Ao meu orientador, José Almir Rodrigues Pereira, pela paciência e por dispor de sua habilidade em motivar o alcance das metas estabelecidas.

Aos meus grandes amigos: Valdinei e Jaqueline da Silva; Josué e Andrea Rocha.

A Eletrobrás pelo apoio e financiamento do Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento, que deu suporte a realização deste estudo.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE TABELAS .....</b>	<b>7</b>
<b>LISTA DE QUADROS.....</b>	<b>8</b>
<b>LISTA DE ESQUEMAS .....</b>	<b>11</b>
<b>LISTA DE DESENHOS.....</b>	<b>12</b>
<b>LISTA DE FOTOGRAFIAS.....</b>	<b>14</b>
<b>LISTA DE GRÁFICOS.....</b>	<b>15</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>16</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>17</b>
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>18</b>
<b>2 OBJETIVOS.....</b>	<b>21</b>
2.1 OBJETIVO GERAL .....	21
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	21
<b>3 REVISÃO DA LITERATURA.....</b>	<b>22</b>
3.1 SISTEMA DE ABASTECIMENTO .....	22
3.2 UNIDADE DE RESERVAÇÃO .....	25
3.3 UNIDADE DE ELEVAÇÃO .....	41
<b>3.3.1 Dimensionamento de Estação Elevatória .....</b>	<b>51</b>
<b>3.3.2 Controle Operacional da Unidade Elevação .....</b>	<b>58</b>
3.4 PERDA DE ÁGUA E DE ENERGIA ELÉTRICA.....	62
<b>3.4.1 Perda de Água .....</b>	<b>62</b>
<b>3.4.1 Perdas de Energia Elétrica .....</b>	<b>70</b>
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>76</b>
4.1 ÁREA DE ESTUDO.....	76
4.2 ETAPAS DA PESQUISA .....	79
<b>4.2.1 Etapa 1 - Determinação teórica de parâmetros operacionais .....</b>	<b>79</b>
<b>4.2.2 Etapa 2 - Avaliação da operação do 3° SAA .....</b>	<b>80</b>
<b>4.2.3 Etapa 3 – Estimativa da Perda de água e energia no 3° SAA .....</b>	<b>82</b>
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>84</b>

5.1 DETERMINAÇÃO TEÓRICA DE PARÂMETROS OPERACIONAIS.....	84
<b>5.1.1 Consumo efetivo teórico de água.....</b>	<b>85</b>
<b>5.1.2 Consumo teórico de energia elétrica .....</b>	<b>88</b>
5.2 MONITORAMENTO DA OPERAÇÃO DO 3º SETOR DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA.....	96
<b>5.2.1 Reservatório apoiado.....</b>	<b>97</b>
<b>5.2.3 Estação elevatória.....</b>	<b>102</b>
<b>5.2.2 Reservatório elevado .....</b>	<b>117</b>
5.3 PERDA DE ÁGUA E ENERGIA ELÉTRICA NO 3º SETOR.....	125
<b>5.6.1 Perda de água.....</b>	<b>125</b>
<b>5.6.2 Perda de energia elétrica.....</b>	<b>133</b>
<b>5.6.3 Despesas com a perda de água no 3º setor. ....</b>	<b>139</b>
<b>6 CONCLUSÕES.....</b>	<b>141</b>
<b>7 RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>144</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>146</b>

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Nível do reservatório elevado no primeiro e segundo dia de monitoramento .....	99
Tabela 2 – Horas de bombeamento por tipo de operação dos CMBs, no mês de agosto de 2006.....	111
Tabela 3 – Horas de bombeamento no horário de ponta, por tipo de operação dos CMBs, no mês de agosto de 2006. ....	112
Tabela 4 – Número de horas trabalhadas dos CMBs da unidade elevatória do 3º Setor de abastecimento de água da RMB, no mês de agosto de 2006. ....	114
Tabela 5 - Informações do consumo de energia elétrica medido no período do dia 08 ao dia 09/08/2006 na elevatória do 3º Setor. ....	115
Tabela 6 - Nível do reservatório elevado no primeiro e segundo dia de monitoramento .....	121
Tabela 7 - Comparação entre dos resultados obtidos teoricamente com os valores obtidos no monitoramento do reservatório elevado, estação elevatória e reservatório elevado do 3º Setor da RMB.....	124
Tabela 8 – Volume se água distribuído, consumo de energia elétrica e custos com energia elétrica no 3º Setor da RMB, no período de agosto de 2005 a setembro de 2006. ....	126
Tabela 9 – Consumo e custo de energia elétrica na estação elevatória, com base nas variações horárias do hidrograma de vazão, horário de ponta e fora de ponta. ....	136



## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classificação das bombas.....	46
Quadro 2 - Origem das perdas reais e principais causas por unidade do sistema de abastecimento.....	64
Quadro 3 – Cálculo do consumo efetivo teórico de água médio no 3º setor da RMB. ....	85
Quadro 4 – Cálculo do consumo efetivo teórico de água para o dia de maior consumo no 3º setor da RMB.....	86
Quadro 5 – Cálculo do consumo efetivo teórico de água para o dia de maior demanda no 3º setor da RMB. ....	87
Quadro 6 – Volume dos reservatórios apoiado e elevado do 3º setor de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém, calculados com base no “método do consumo assimilado a uma senoide”.....	88
Quadro 7 – Volume de reservação para os reservatórios apoiado e elevado do 3º setor de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém. ....	88
Quadro 8 – Parâmetros operacionais teóricos do 3º setor de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém. ....	95
Quadro 9 - Hora de funcionamento dos CMBs do 3º Setor de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém no dia 01/08/2006.....	104
Quadro 10 - Hora de funcionamento dos CMBs do 3º Setor de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém no dia 02/08/2006.....	104
Quadro 11 - Hora de funcionamento dos CMBs do 3º Setor de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém no dia 03/08/2006.....	105
Quadro 12 - Hora de funcionamento dos CMBs do 3º Setor de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém no dia 04/08/2006.....	105
Quadro 13 - Hora de funcionamento dos CMBs do 3º Setor de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém no dia 05/08/2006.....	105
Quadro 14 - Hora de funcionamento dos CMBs do 3º Setor de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém no dia 06/08/2006.....	105
Quadro 15 - Hora de funcionamento dos CMBs do 3º Setor de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém no dia 07/08/2006.....	105
Quadro 16 - Hora de funcionamento dos CMBs do 3º Setor de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém no dia 08/08/2006.....	106

Quadro 17 - Hora de funcionamento dos CMBs do 3º Setor de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém no dia 09/08/2006.....	106
Quadro 18 - Hora de funcionamento dos CMBs do 3º Setor de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém no dia 10/08/2006.....	106
Quadro 19 - Hora de funcionamento dos CMBs do 3º Setor de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém no dia 11/08/2006.....	106
Quadro 20 - Hora de funcionamento dos CMBs do 3º Setor de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém no dia 12/08/2006.....	106
Quadro 21 - Hora de funcionamento dos CMBs do 3º Setor de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém no dia 13/08/2006.....	107
Quadro 22 - Hora de funcionamento dos CMBs do 3º Setor de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém no dia 14/08/2006.....	107
Quadro 23 - Hora de funcionamento dos CMBs do 3º Setor de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém no dia 15/08/2006.....	107
Quadro 24 - Hora de funcionamento dos CMBs do 3º Setor de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém no dia 16/08/2006.....	107
Quadro 25 - Hora de funcionamento dos CMBs do 3º Setor de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém no dia 17/08/2006.....	107
Quadro 26 - Hora de funcionamento dos CMBs do 3º Setor de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém no dia 18/08/2006.....	108
Quadro 27 - Hora de funcionamento dos CMBs do 3º Setor de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém no dia 19/08/2006.....	108
Quadro 28 - Hora de funcionamento dos CMBs do 3º Setor de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém no dia 20/08/2006.....	108
Quadro 29 - Hora de funcionamento dos CMBs do 3º Setor de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém no dia 21/08/2006.....	108
Quadro 30 - Hora de funcionamento dos CMBs do 3º Setor de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém no dia 22/08/2006.....	108
Quadro 31 - Hora de funcionamento dos CMBs do 3º Setor de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém no dia 23/08/2006.....	109
Quadro 32 - Hora de funcionamento dos CMBs do 3º Setor de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém no dia 24/08/2006.....	109
Quadro 33 - Hora de funcionamento dos CMBs do 3º Setor de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém no dia 25/08/2006.....	109

Quadro 34 - Hora de funcionamento dos CMBs do 3º Setor de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém no dia 26/08/2006.....	109
Quadro 35 - Hora de funcionamento dos CMBs do 3º Setor de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém no dia 27/08/2006.....	109
Quadro 36 - Hora de funcionamento dos CMBs do 3º Setor de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém no dia 28/08/2006.....	110
Quadro 37 - Hora de funcionamento dos CMBs do 3º Setor de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém no dia 29/08/2006.....	110
Quadro 38 - Hora de funcionamento dos CMBs do 3º Setor de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém no dia 30/08/2006.....	110
Quadro 39 - Hora de funcionamento dos CMBs do 3º Setor de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém no dia 31/08/2006.....	110
Quadro 40 – Trechos de interligação do 3º setor com o 1º, 2º e 8º setores de abastecimento da Zona Central da RMB. ....	132

## LISTA DE ESQUEMAS

Esquema 1 - Classificação do reservatório quanto à posição do sistema de abastecimento de água.....	28
Esquema 2 - Exemplo de matriz de determinação de perdas físicas em um sistema de abastecimento de água. ....	65
Esquema 3 – Etapas de desenvolvimento da pesquisa. ....	79
Esquema 4 – Definição de perda de água em sistema de abastecimento de água. .	82
Esquema 5 – Definição de demanda de água em sistema de abastecimento, segundo o Plano diretor do sistema de abastecimento de água da RMB. ....	85
Esquema 6 - 3º setor de abastecimento da Região Metropolitana de Belém, no ano de 2006. ....	96
Esquema 7 – Volume de água efetivamente utilizado na operação do reservatório Apoiado do 3ºsetor.....	101
Esquema 8 – Proposta de poço de rebaixamento para a saída de água do reservatório apoiado do 3º setor de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém. ....	101
Esquema 9 – Déficit da reservação de água do reservatório elevado de distribuição, em relação a reservação teórica calculada para o 3º Setor. ....	123
Esquema 10 – Perda média de água no 3º setor de abastecimento de água da RMB, no período de outubro de 2005 a setembro de 2006. ....	127
Esquema 11 – Perda per capita de água no 3º setor de abastecimento de água da RMB, no período de outubro de 2005 a setembro de 2006. ....	127
Esquema 12 - Perda média mensal de energia elétrica no 3º setor de abastecimento de água da RMB. ....	133
Esquema 13 – Comparação entre a perda real de energia com a perda teórica que deveria ocorrer no 3º Setor de abastecimento de água da RMB. ....	134
Esquema 14 – Perda de energia elétrica no 3º Setor de abastecimento de água da RMB. ....	135
Esquema 15 – Consumo e custo de energia no horário de ponta e no horário fora de ponta, na EE do 3º Setor de abastecimento de água da RMB.....	137
Esquema 16 – Perda de água no 3º Setor de abastecimento de água da RMB.....	139
Esquema 17 – Perda de arrecadação referente ao volume de água perdido, e perda de energia elétrica no 3º Setor de abastecimento de água da RMB.....	140

## LISTA DE DESENHOS

Desenho 1 - Sistema de abastecimento de água.....	23
Desenho 2 - Classificação do reservatório quanto à disposição no solo.....	26
Desenho 3 - Níveis operacionais (níveis da lâmina d'água) importantes para o controle de um reservatório.....	33
Desenho 4 - Determinação da submergência mínima. ....	34
Desenho 5 - Exemplos de placas supressoras de vórtices. ....	35
Desenho 6 - Medidor de nível com flutuador.....	37
Desenho 7 - Medidor de nível ultrassônico. ....	38
Desenho 8 – Tubo de Pitot tipo Cole.....	39
Desenho 9 – Medidor de vazão eletromagnético. ....	40
Desenho 10 – Esquema de poço seco.....	42
Desenho 11 – Esquema de poço úmido ....	43
Desenho 12 - Corte esquemático de uma bomba centrífuga típica Fonte: Fernandes (2007).....	47
Desenho 13 – Esquema sistema estação elevatória.....	52
Desenho 14 - Esquema das demandas de energia nos conjuntos motor e bomba. .	55
Desenho 15 - Esquema da curva característica da associação em série e paralelo de duas bombas “A” idênticas.....	57
Desenho 16 – Aplicação de inversor de frequência em bombeamento de água. ....	59
Desenho 17 – Despesas totais com a produção de água nas Companhias de saneamento do Brasil.....	70
Desenho 18 – Valor e percentual médio com as despesas com exploração de água nas Companhias de saneamento do Brasil.....	71
Desenho 19 – Despesas com energia elétrica nas Companhias de saneamento do Brasil. ....	72
Desenho 20 – Balanço energético em sistemas de bombeamento de água.....	73
Desenho 21 – Layout das unidades reservação e elevação do 3º Setor de abastecimento de água da COSANPA.....	78
Desenho 22 – Trechos do barrilete de sucção e recalque em estações elevatórias.	89
Desenho 23 – Unidades elevatória do 3º Setor de abastecimento de água da RMB .....	102

Desenho 24 – Layout da unidade de elevação do 3º Setor de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém. ....	103
Desenho 25 – Localização dos instrumentos de controle e do registro de saída do 3º setor de abastecimento. ....	118
Desenho 26 – Medição de vazão, por pitometria, na saída do reservatório elevado do 3º Setor de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém. ....	119

## LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografia 1 - Registro de Gaveta .....	49
Fotografia 2 - Válvula de Retenção horizontal.....	50
Fotografia 3 - Manômetro analógico.....	50
Fotografia 4 - Vacuômetro analógico. ....	50
Fotografia 5 - Medidor de potencia multifuncional.....	60
Fotografia 6 - Medidor de Consumo e Demanda de Energia Elétrica .....	60
Fotografia 7 – Localização das Unidades de reservação e elevação do 3º setor da Região Metropolitana de Belém. ....	78
Fotografia 8 - Reservatório apoiado do 3º setor de abastecimento de água da Zona Central.....	97
Fotografia 9 – Régua graduada utilizada para medição do nível do reservatório apoiado .....	98
Fotografia 10 - Estação elevatória do 3º setor de abastecimento .....	103
Fotografia 11 – Reservatório elevado do 3º setor de abastecimento de água de Região Metropolitana de Belém .....	117

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Determinação do volume de reservação em reservatórios de distribuição de água pelo método da curva de consumo.....	30
Gráfico 2 - Determinação do volume de reservação em reservatórios de distribuição de água pelo método do consumo assimilado uma curva senoidal. ....	31
Gráfico 3 – Curva característica esquemática de uma bomba centrifuga. ....	56
Gráfico 4 – Variação do nível do reservatório apoiado monitorados nos dias 16 e 17 de agosto de 2006.....	100
Gráfico 5 – Horas de bombeamento, por tipo de operação dos CMBs do 3º Setor, no mês de agosto de 2006.....	112
Gráfico 6 – Horas de bombeamento, por tipo de operação dos CMBs do 3º Setor, no mês de agosto de 2006.....	113
Gráfico 7 – Horas de bombeamento, por tipo de operação dos CMBs do 3º Setor, no mês de agosto de 2006.....	113
Gráfico 8 – Consumo médio mensal de energia elétrica na EE de água tratada do 3º setor de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém no período de junho de 2005 a setembro de 2006.....	116
Gráfico 9 - Hidrograma de vazão da saída do reservatório elevado do 3º setor de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém. ....	120
Gráfico 10 - Curva de variação altura da lâmina líquida do reservatório elevado, definida com base nos dados registrados em agosto de 2006.....	122
Gráfico 11 - Perdas de água (em m <sup>3</sup> /mês) do 3º setor de abastecimento de água da RMB, no período de outubro de 2005 a setembro de 2006. ....	129
Gráfico 12 - Perdas de água (em percentual) do 3º setor de abastecimento de água da RMB, no período de outubro de 2005 a setembro de 2006.....	130
Gráfico 13 - Perdas de água (em percentual) do 3º setor de abastecimento de água da RMB, no período de outubro de 2005 a setembro de 2006.....	131



## RESUMO

Avaliação da operação e a determinação das perdas de água e energia do 3º Setor de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém. Essa pesquisa foi desenvolvida no período de janeiro a dezembro de 2006, tendo 3 etapas. Na primeira etapa foram determinados teoricamente os parâmetros operacionais, para possibilitar a comparação com os resultados obtidos da segunda etapa, na qual foram desenvolvidas atividades de monitoramento nas unidades de reservação e de elevação de água. Na terceira etapa foram estimadas as perdas de água e energia elétrica no 3º Setor. Os resultados possibilitaram observar que a falta de instrumentação para monitoramento e controle dos parâmetros operacionais, e a capacidade insuficiente do reservatório elevado, resultam em operações sem rotina planejada, o que acaba incorrendo em perdas de água e energia elétrica. O volume de água perdido foi estimado em 423.847 m<sup>3</sup>/mês, o que representa 42,58 % do volume total distribuído (989.580 m<sup>3</sup>/mês). O valor que a COSANPA deixa de arrecadar mensalmente com essa perda é de R\$ 508.616,00. A perda de energia referente ao volume de água perdido no 3º setor foi estimada em 105.962 kWh/mês, o que representa um custo médio de R\$ 21.192,4 ao mês ou R\$ 254.308,8 ao ano.

**Palavras-chaves:** Abastecimento de água. Perda de água. Perda de energia elétrica. Operação.

## ABSTRACT

Evaluation of the operation and the determination of the loss of water and energy of the 3<sup>rd</sup> sector of water supplying of Belém metropolitan region. This search was developed in the period of January to December of 2006, in three phases. In the first phase was theoretically determined the operational standard, to make possible the comparison between the results obtained in the second phase, in which one was developed monitoring activities in the water's reservation and elevation unities. In the third phase was estimated the loss of water and electric energy in the 3<sup>rd</sup> sector. The results made possible observe that the lack of tools to monitor and control of the standard operational, and the insufficient capacity of the elevated reservoir, results in operations without planned routine, what produces loss of water and electric energy. The volume of lost water was estimated in 423.847 m<sup>3</sup>/month, what represent 42,58 % of the total volume distributed (989.580 m<sup>3</sup>/month). The value that the COSANPA does not gain per month with this loss are R\$ 508.616,00. The loss of energy referring to the volume of lost water in the 3<sup>o</sup> sector was estimated in 105.962 kWh/month, what represent a medium cost of R\$ 21.192,4 per month or R\$ 254.308,8 per year.

**key-words:** Water supplying. Loss of water. Loss of electric energy. Operation.

## 1 INTRODUÇÃO

Com a instituição do Plano Nacional de Saneamento - PLANASA, em 1971, o aumento da oferta de serviços públicos de abastecimento de água no Brasil ganhou impulso, o que permitiu avanços consideráveis ao setor saneamento do país.

Segundo Miranda (2002), o cenário na época do PLANASA era de grandes obras. Nesse sentido, a expansão absoluta da oferta de água ocorrera com ênfase nos sistemas de produção (captação, adutora e tratamento). O sistema de distribuição e as ações de desenvolvimento operacional receberam menor atenção, com recursos mais modestos e menor evolução tecnológica.

Nessa época, a água doce era usada em abundância e entendida como bem inesgotável, e não havia a preocupação de conter desperdícios e de promover o uso racional. O bem-estar da população estava diretamente relacionado ao aumento do consumo, inclusive o da água.

Por causa da crise econômica da década de 80, os investimentos em obras de saneamento diminuíram, apesar da necessidade de aumentar a oferta do serviço de abastecimento de água, e assim aconteceu por meio de soluções pragmáticas a expansão indiscriminada de redes de distribuição (MIRANDA, 2002).

O pouco investimento no desenvolvimento operacional (e na manutenção), as expansões desordenadas das redes de distribuição e a cultura generalizada do desperdício, associada às pressões urbanas resultantes do crescimento populacional descontrolado, resultaram, com o passar dos anos, na depredação dos sistemas de abastecimento de água, configurando cenário ideal para o aumento das perdas nesses sistemas.

Cheung e Reis (2006) ressaltam que Infraestruturas deterioradas em sistemas de distribuição de água podem provocar perdas por vazamentos, diminuição da capacidade de transporte de água, falhas nos componentes do sistema, elevação nos custos de manutenção e operação, constantes interrupções do funcionamento dos sistemas e diminuição da sua confiabilidade, com isso perda de água e energia elétrica.

Atualmente, o índice de perdas de água no Brasil é muito elevado, com perdas nas concessionárias de saneamento de 44,66% do volume de água que é produzido. Das 27 companhias estaduais de água e de esgotamento sanitário, apenas 5 delas conseguiram diminuir suas perdas para menos de 30%. Em 125 Concessionárias Municipais essas perdas variam entre 30% e 70% (BRASIL, 2005).

As perdas em sistemas públicos de abastecimento de água são consideradas como a totalidade dos volumes de água não contabilizados pela concessionária. Esses englobam tanto as perdas reais (físicas), que representam a parcela não consumida, como as perdas aparentes (não físicas), que correspondem à água consumida e não registrada (BRASIL, 2004).

Considerando que a perda de volume de água em sistemas de abastecimento de água implica diretamente em perda da energia utilizada no bombeamento, e que, segundo USEPA (1998), tais sistemas consomem entre dois a três por cento da energia distribuída no mundo; e considerando ainda que o desenvolvimento do Brasil encontra-se relativamente limitado a indisponibilidade de recursos para investimentos na produção da energia elétrica, necessária ao seu crescimento econômico, sendo observada a necessidade de um planejamento para redução de perdas no setor, e que esse planejamento deve considerar o binômio água e energia (BRASIL, 2006)

Tsutiya (2004) comenta que o combate às perdas e ao desperdício de água implica na redução do volume de água não contabilizado e exige adoção de medidas que reduzam as perdas reais e aparentes, para diminuir os custos de produção (consumo de energia, de produtos químicos e outros) e melhorar a

eficiência dos serviços prestados e viabilizar o equilíbrio financeiro das prestadoras de serviços.

Portanto, avaliar a operação de cada unidade do sistema de abastecimento de água, estimando as perdas de água e energia elétrica (para o estabelecimento de metas), é estratégia importante nas ações para melhorar o desempenho operacional da concessionária responsável pelo sistema.

Nesse sentido, no trabalho é procurado determinar os valores de perdas de água e de energia elétrica, no 3º Setor de abastecimento de água, localizado na Zona Central da Região Metropolitana de Belém e gerenciado pela Companhia de Saneamento do Pará (COSANPA).

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a operação e estimar as perdas de água e de energia elétrica no 3º setor de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinação teórica de parâmetros operacionais;
- Avaliação da operação do reservatório apoiado, da estação elevatória, e do reservatório elevado do 3º Setor;
- Estimativa das Perdas de Água e de Energia Elétrica no 3º Setor .

### 3 REVISÃO DA LITERATURA

#### 3.1 SISTEMA DE ABASTECIMENTO

A implantação dos serviços de abastecimento de água é umas das principais prioridades para a população. Ela traz rápida e sensível melhoria na saúde e nas condições de vida da comunidade, principalmente ao prevenir doenças, promover hábitos higiênicos e melhorar a limpeza pública. O homem tem necessidade de água de qualidade adequada e em quantidade suficiente para todas suas necessidades, como proteção da saúde, e desenvolvimento econômico (PEREIRA et al., 1987).

Para ARAUJO e NETO (1998), o sistema de abastecimento de água é um conjunto de obras, equipamentos e serviços destinados ao abastecimento de água potável para fins de consumo doméstico, serviços públicos, consumo industrial e outros usos.

Tsutiya (2004) observa que os tipos de sistemas de abastecimento de água dependem, principalmente, do tipo de manancial, da topografia da área e da população a ser atendida.

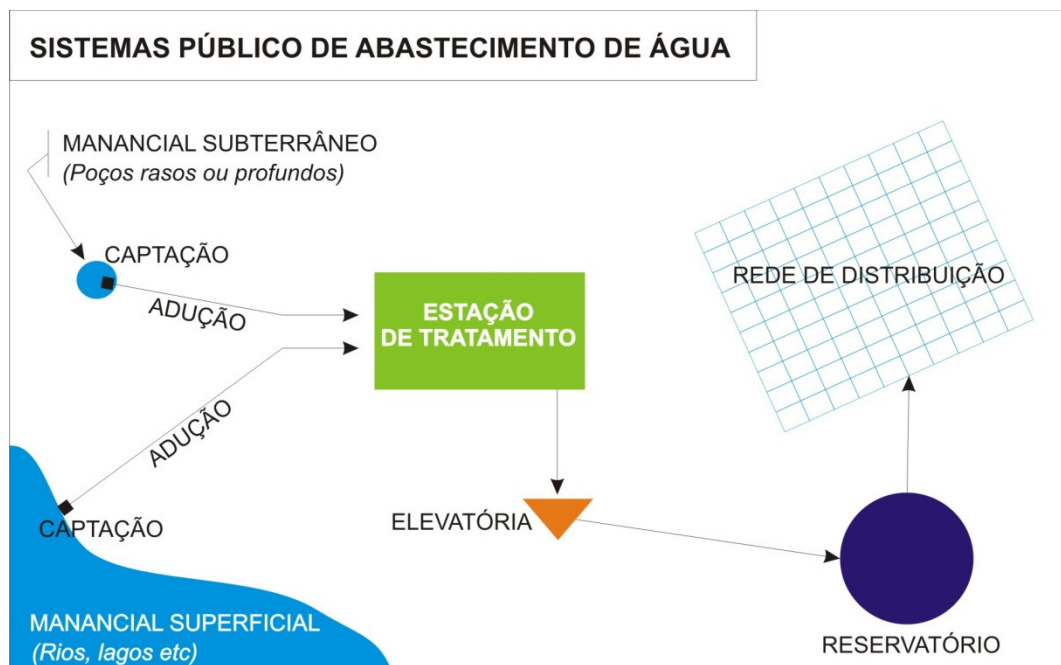
Para Fundação Nacional da Saúde (2004), os sistemas de abastecimento de água podem ser do tipo individual e coletivo, sendo o primeiro indicado para assentamentos de baixa densidade, como em áreas rurais e/ou áreas ribeirinhas, que são muito comuns na região amazônica. Quando a comunidade cresce e a densidade demográfica aumenta, a solução coletiva passa a ser mais econômica e permanente para o abastecimento de água.

Os sistemas de abastecimento de água também podem ser classificados de acordo com o tipo de manancial: sistema de abastecimento de água superficial e sistema de abastecimento de água subterrâneo (SISTEMA..., 2006a).

Os sistemas individuais são comuns em áreas rurais, ou em áreas peri-urbana com pouca Infraestrutura , e com população de baixa renda. Nas áreas

rurais, por exemplo, os moradores de zonas ribeirinhas ou de comunidades indígenas retiram água diretamente dos rios, passíveis a contaminação por doenças. Em áreas peri-urbanas, é comum a exploração de aquíferos freáticos por meio de poços escavados do tipo amazonas, ou do tipo tubular raso.

Todos os sistemas de abastecimento de água operados pelas concessionárias prestadoras de serviços de saneamento podem ser citados como exemplo de sistemas coletivos. De maneira geral, os sistemas de abastecimento de água coletivos são constituídos por unidades de captação, elevação, adução, tratamento, reservação e distribuição, conforme representado no Desenho 1.



Desenho 1 - Sistema de abastecimento de água.  
Fonte: Adaptado de Fundação Nacional de Saúde (2004).

A unidade de captação pode ser entendida como o conjunto de estruturas e dispositivos, construídos ou montados junto ao manancial (superficial ou subterrâneo), para a retirada de água destinada ao sistema de abastecimento.

A unidade de elevação tem por finalidade o transporte de água bruta ou tratada de uma unidade para uma outra unidade do sistema, normalmente situada em uma área de cota mais elevada. Cuidados especiais devem ser tomados na



concepção e projeto dessas unidades, para que seja garantido o atendimento à demanda de água e o consumo mínimo de energia elétrica na operação.

A unidade de reservação é constituída por reservatórios que tem como objetivo regularizar vazões, diminuir intermitência no fornecimento de água, garantir reserva para combate a incêndios, regularizar pressões na rede de distribuição e possibilitar paralisação total ou parcial dos conjuntos elevatórios no período de pico de energia.

Adução é um conjunto de canalizações que se destinam conduzir água entre as unidades que precedem à rede de distribuição. As adutoras distribuem água diretamente aos consumidores, mas podem está interligadas a outros trechos de menor diâmetros denominados de sub-adutoras.

Defini-se por unidade de tratamento de água o conjunto de unidades destinado a tratar a água de modo a adequar as suas características aos padrões de potabilidade estabelecidos pelas normas vigentes.

A distribuição é parte do sistema de abastecimento de água formada de tubulações e órgãos acessórios, destinada a colocar água potável à disposição dos consumidores, de forma contínua, em quantidade e pressão recomendada.

### 3.2 UNIDADE DE RESERVAÇÃO

Os reservatórios são elementos importantes nos sistemas de abastecimento de água, pois além da sua importância na operacionalidade desses sistemas, visto que permitem a paralisação do bombeamento de água no horário de pico elétrico, diminuindo sensivelmente os custos com energia elétrica, apresentam grande estrutura física e de mais variadas formas geométricas.

A reservação é a unidade do sistema de abastecimento de água responsável pelo equilíbrio entre a demanda e a oferta, entendido como tal o consumo dos clientes, que é função dos hábitos de consumo, das condições socioeconômicas da população abastecida e das condições meteorológicas, e a capacidade de produção da instalação (MONACHESI, 2005, p. 87).

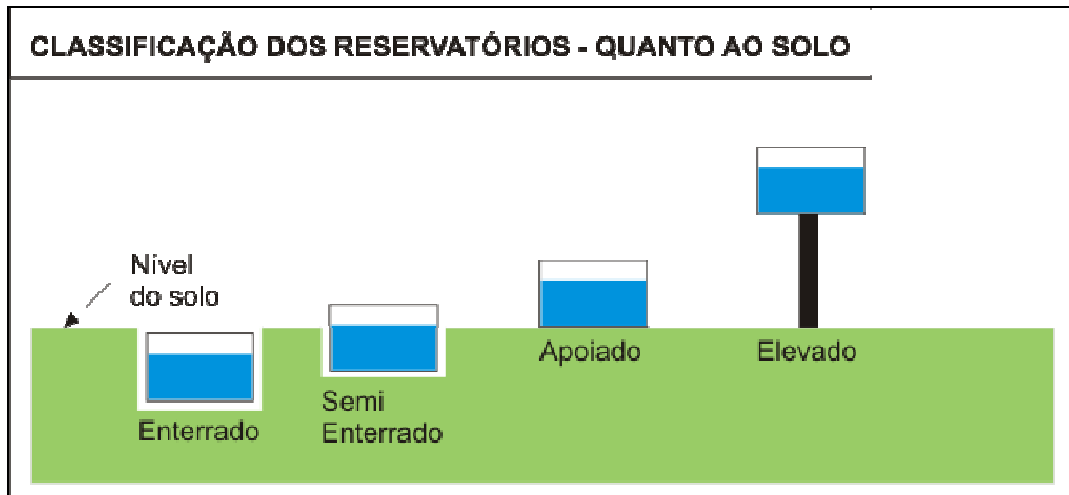
As unidades de reservação de água são tradicionalmente concebidas e operadas tendo alguns objetivos e finalidades principais, tais como:

- A regularização entre as vazões de adução e de distribuição, para acumular água durante as horas em que a demanda é inferior a média e fornecer vazões complementares quando a vazão de demanda for superior a média;
- O condicionamento das pressões na rede de distribuição, pois a localização dos reservatórios pode influir nas condições de pressão da rede, principalmente, reduzindo as variações de pressões;
- Reservar água para combate a incêndios e outras situações de emergenciais;
- Garantir o abastecimento por umas horas, em casos de interrupção no funcionamento normal por falta de energia elétrica ou devido atividades de manutenção etc.

Segundo Heller e Pádua (2006), os reservatórios podem ser classificados quanto a sua posição no solo e/ou a sua localização no sistema de abastecimento de água, os quais serão apresentados a seguir:

### a) Posição do reservatório em relação ao solo

Em relação ao solo, a classificação do reservatório depende da sua disposição em relação à superfície do solo, portanto, podendo ser do tipo elevado, apoiado, enterrado e semi-enterrado como mostrado no Desenho 2.



Desenho 2 - Classificação do reservatório quanto à disposição no solo  
Fonte: Adaptado Heller e Pádua (2006).

Os reservatórios elevados são aqueles que apresentam laje de fundo em cota superior a do terreno, geralmente de menores dimensões e são utilizados em área de maior cota topográfica, com o objetivo de garantir pressões necessárias à distribuição de água na rede do sistema.

Para Heller e Pádua (2006), em cidades mais planas, o reservatório elevado normalmente é construído próximo à unidade de reservação enterrada ou apoiada, com o objetivo de otimizar a operação, reduzindo o desperdício com energia elétrica, pois o conjunto elevatório é dimensionado para menor altura manométrica, pela redução do desnível geométrico e do comprimento da tubulação de recalque.

O reservatório enterrado pode ser definido como aquele localizado abaixo do nível do terreno e responsáveis pela maior parte do volume de reservação do sistema, estando na maioria das vezes associados a uma unidade elevada.

Tsutiya (2001) observa que a utilização de reservatórios apoiados depende muito da viabilidade de custo e construção. O custo de execução desse

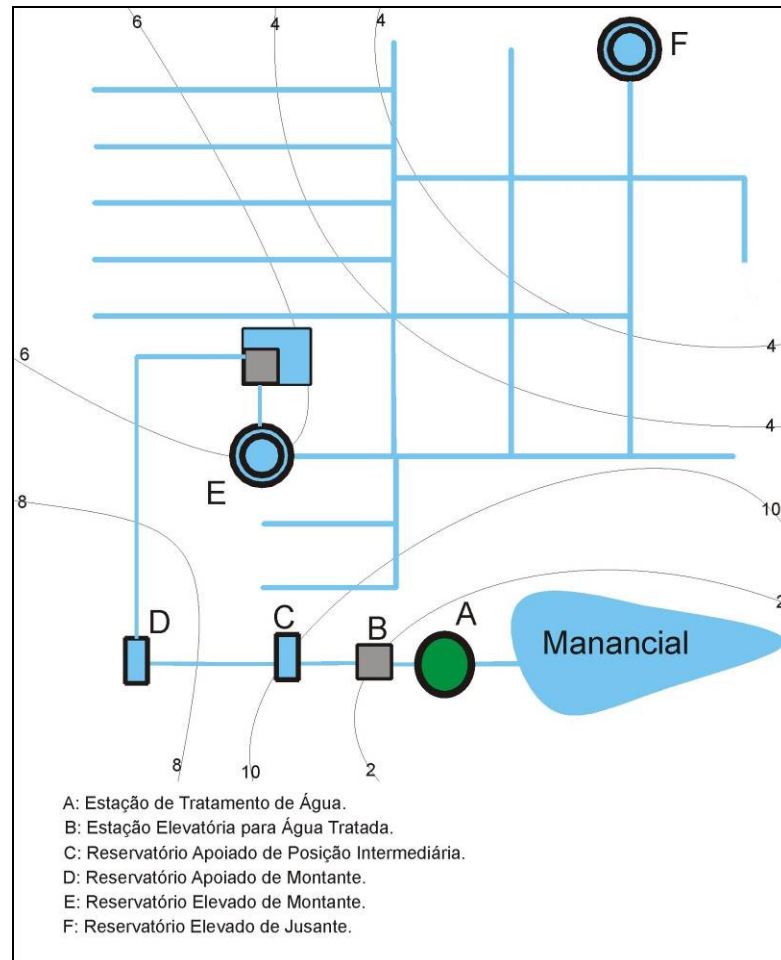
tipo de reservatório é maior quando comparado ao de outros tipos de reservatórios, por outro lado, provocam menos impacto ambiental.

Os reservatórios são classificados como semi-enterrados, quando pelo menos um terço de sua altura está abaixo do nível do terreno. Similarmente aos reservatórios enterrados, esse tipo de reservatório armazena grande parte do volume de água para distribuição, sendo que apresentam maior facilidade em sua construção e são mais fáceis de construir (HELLER E PÁDUA, 2006).

Os reservatórios apoiados são aqueles construídos a partir do nível do solo, e cuja cota do fundo é coincidente com a cota do terreno. De acordo com as características da região fica à critério do responsável pelo planejamento e execução do projeto a utilização de reservatórios desse tipo.

b) Posição do reservatório no sistema de abastecimento de água.

Quanto à localização no sistema de abastecimento de água, os reservatórios podem ser classificados em reservatórios de jusante, montante e de posição intermediária, o que depende das condições topográficas da área e da rede de distribuição de água atendida pelo reservatório, conforme apresentado no Esquema 1 .



Esquema 1 - Classificação do reservatório quanto à posição do sistema de abastecimento de água.

Os reservatórios de montante apresentam a função de fornecer água continuamente à rede de distribuição, sendo os mais utilizados nos sistemas de abastecimento de água do país. Esses reservatórios geralmente são localizados próximo ao centro de consumo, para garantir pressão em pontos de extremidades da rede (HELLER e PÁDUA, 2006).

De acordo com Tsutiya (2004), os reservatórios de jusante são aqueles utilizados quando há necessidade de minimizar as oscilações de pressão em áreas de menor cota. O mesmo autor ainda destaca que esses reservatórios também são chamados de reservatórios de sobras, porque recebem água durante as horas de menor consumo, apresentando a peculiaridade de ter um único barrilete servindo de entrada e de saída de água

Os reservatórios de posição intermediária são intercalados no sistema de adução, e apresentam a função de servir como volante de regularização das transições entre bombeamento e/ou adução por gravidade (TSUTIYA, 2004).

Para o bom funcionamento dos reservatórios devem ser considerados: o volume de reservação, os níveis de operação do reservatório e o controle operacional.

- **Volume de Reservação**

Segundo Heller e Pádua (2006), a reservação corresponde ao volume de água resultante da soma dos volumes úteis de todos os reservatórios de uma determinada zona de pressão ou do sistema de abastecimento de água como um todo. O volume útil do reservatório corresponde ao volume de água compreendido entre as lâminas líquidas mínima e máxima do reservatório.

A determinação do volume útil pode ser feita de duas maneiras: a) método da curva de consumo - balanço de massas, no qual são consideradas as vazões de entrada (produção) e as vazões de saída (definida pelo hidrograma de vazão) do sistema, e b) método do consumo assimilado uma curva senoidal, quando não se tem dados da curva de consumo.

No “método da curva de consumo”, a reservação é determinada, tomando como base o hidrograma de vazão e a vazão de entrada no reservatório.

O hidrograma de vazão de um sistema de distribuição de água é a variação da quantidade de água distribuída ao longo de determinado intervalo temporal, que pode ser mensurado em horas, dias, meses ou anos.

Nesse método, o cálculo do volume de reservação (volume útil) é realizado por meio da equação  $V = Q_e \cdot A$ , sendo:

$V$ , Volume de reservação necessário;  
 $Q_e$ , vazão de entrada no reservatório;

$A$ , área da *curva do hidrograma*, com  $q \leq 0$  (área hachurada no Gráfico 1)

No Gráfico 1 é mostrado o cruzamento do hidrograma de vazão com a vazão média de consumo diário.

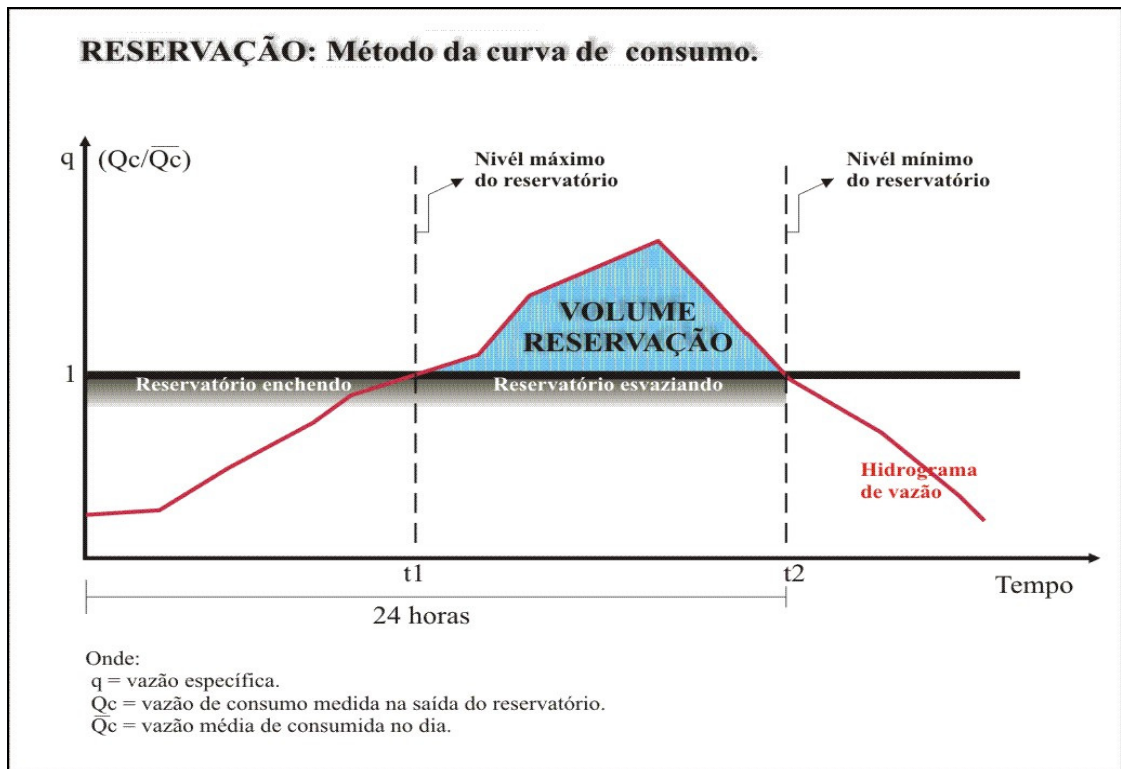


Gráfico 1 - Determinação do volume de reservação em reservatórios de distribuição de água pelo método da curva de consumo.

Fonte: Adaptado de Tsutiya (2004).

O “método do consumo assimilado uma curva senoidal” é semelhante ao “método da curva de consumo”, porém, pela inexistência de dados de consumo do sistema o hidrograma de vazão é assimilado a uma curva senoidal, conforme apresentado Gráfico 2 .

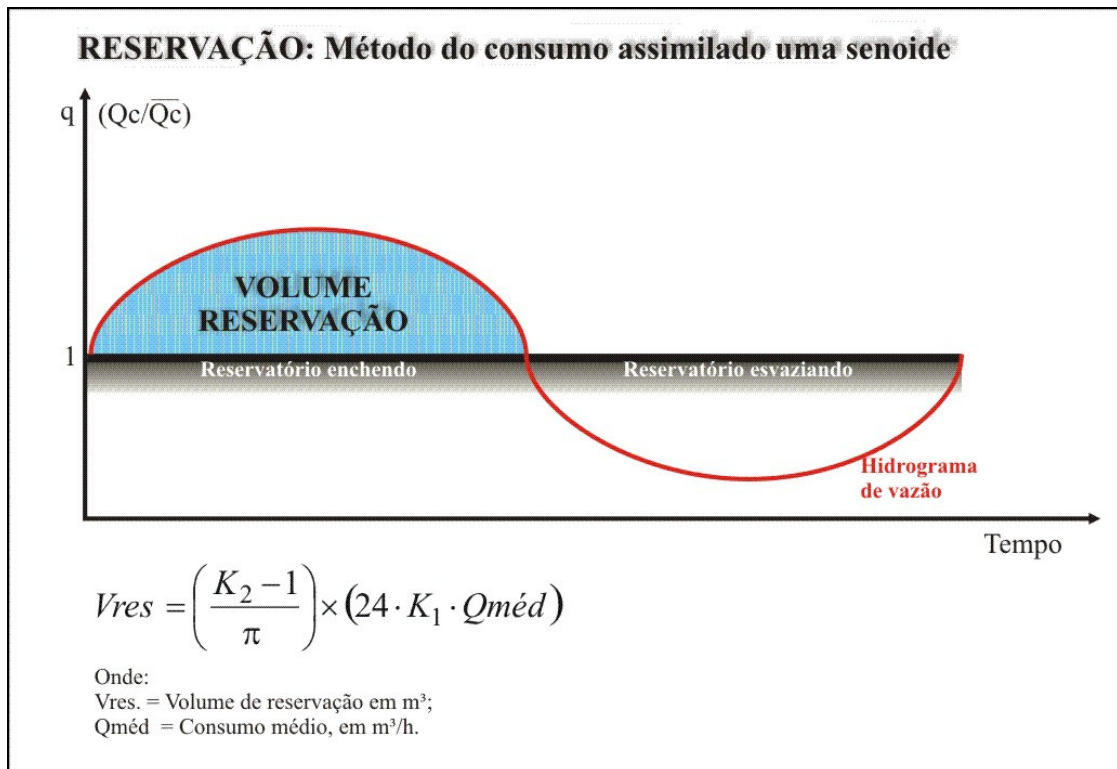


Gráfico 2 - Determinação do volume de reservação em reservatórios de distribuição de água pelo método do consumo assimilado uma curva senoidal.  
 Fonte: Adaptado de Tsutiya (2004).

O cálculo da reservação é realizado por meio da seguinte equação:

$$V_{res} = \left( \frac{K_2 - 1}{\pi} \right) \times (24 \cdot K_1 \cdot Q_{méd}), \text{ sendo:}$$

$V_{res}$  = Volume de reservação em m<sup>3</sup>;

$Q_{méd}$  = Consumo efetivo teórico de água médio, em m<sup>3</sup>/h.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (1994), na NBR 12.217 recomenda a adoção de fator de segurança de 1,2 aos volumes calculados ou pelo “método da curva de consumo” ou pelo “método do consumo assimilado uma curva senoidal”. Na impossibilidade de utilização de um desses métodos, a mesma norma sugere a reservação equivalente a 1/3 do volume correspondente a demanda máxima do dia de maior consumo.



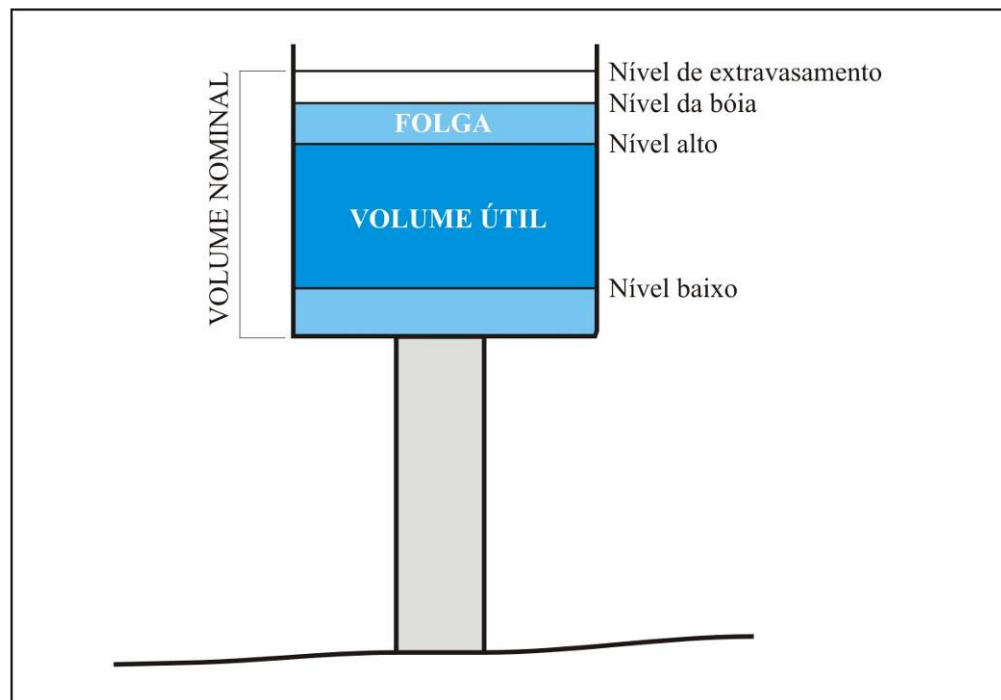
Esses dois procedimentos de determinação da reservação referem-se ao volume total a ser reservado no sistema de abastecimento de água. Para a determinação do volume do reservatório apoiado e do reservatório elevado, a NBR 12.217/94 recomenda a adoção de 2/3 e de 1/3 da reservação total, respectivamente.

- **Níveis de operação do reservatório**

Os níveis operacionais são as alturas da lâmina líquida do reservatório utilizadas como referência no monitoramento do reservatório. Para Tsutiya (2004), os níveis operacionais importantes para o controle de um reservatório são:

- **Nível Baixo:** *nível mínimo do reservatório para que não haja formação de vórtice, entrada de ar na tubulação de saída;*
- **Nível Alto:** *nível máximo do reservatório para que haja tempo hábil de manobra, evitando que atinja o limite de extravasamento, ou que a bóia de segurança seja acionada;*
- **Nível da Bóia:** *nível d'água a partir do qual é acionado o mecanismo de uma bóia que atua localmente no fechamento da válvula de controle do reservatório;*
- **Nível de Extravasamento:** *lâmina d'água a partir da qual começa haver perda de água pelo tubo ladrão.*
- **Volume Nominal:** *volume compreendido entre o fundo do reservatório e o nível de extravasamento;*
- **Volume Útil:** *Volume compreendido entre o nível alto e o nível baixo;*
- **Folga:** *altura correspondente à diferença entre o limite da bóia e o limite alto, e corresponde ao acréscimo de volume entre a emissão do alarme de limite alto e o total fechamento da válvula de controle.*

No Desenho 3 são apresentados os níveis operacionais (níveis da lâmina d'água) importantes para o controle de um reservatório.



Desenho 3 - Níveis operacionais (níveis da lâmina d'água) importantes para o controle de um reservatório.

Tsutiya (2004) enfatiza a necessidade de definição dos limites operacionais de segurança, para que falhas e/ou acidentes com reservatórios sejam evitados. Segundo esse autor, a determinação desses limites dependerá da definição da folga de segurança.

Cálculo da folga de segurança:

$$\Delta h = V_s \cdot T_t$$

Onde:  $\Delta h$ , folga de segurança.

$V_s$ , velocidade de subida da lâmina d'água.

$$T_t = T_{rec} + T_{fech} \cdot P(\%)$$

Onde:  $T_{rec}$ , tempo de reconhecimento do alarme.

$T_{fech}$ , tempo de fechamento da válvula ou registro.

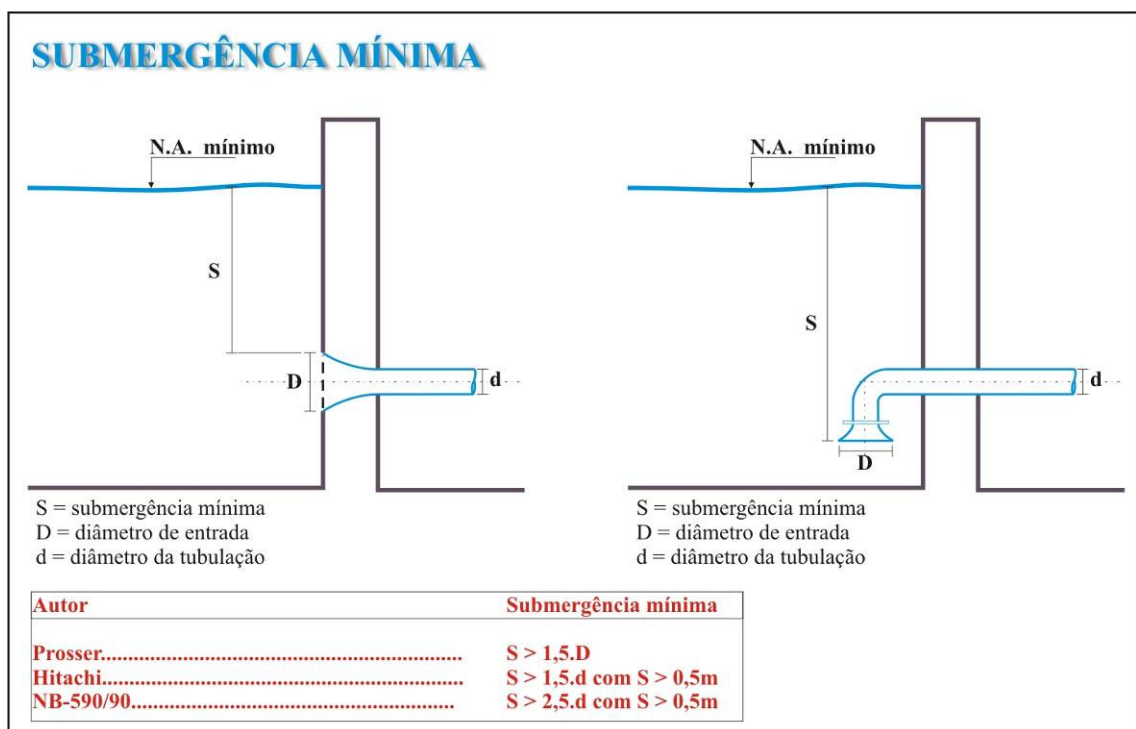
$P(\%)$ , percentual de fechamento da válvula ou registro.

Um aspecto operacional relacionado com o nível mínimo de água é o fenômeno hidráulico denominado vórtice, que é o movimento circular da massa líquida, em forma de cone. O vórtice pode desencadear sérios problemas operacionais, tais como entrada de ar na tubulação, e cavitação da bomba, reduzindo a eficiência do bombeamento.

O controle de vórtices em reservatórios de água, geralmente é feito por meio de dois métodos, a saber: a) submersão na saída dos reservatórios e b) utilização de supressores de vórtices.

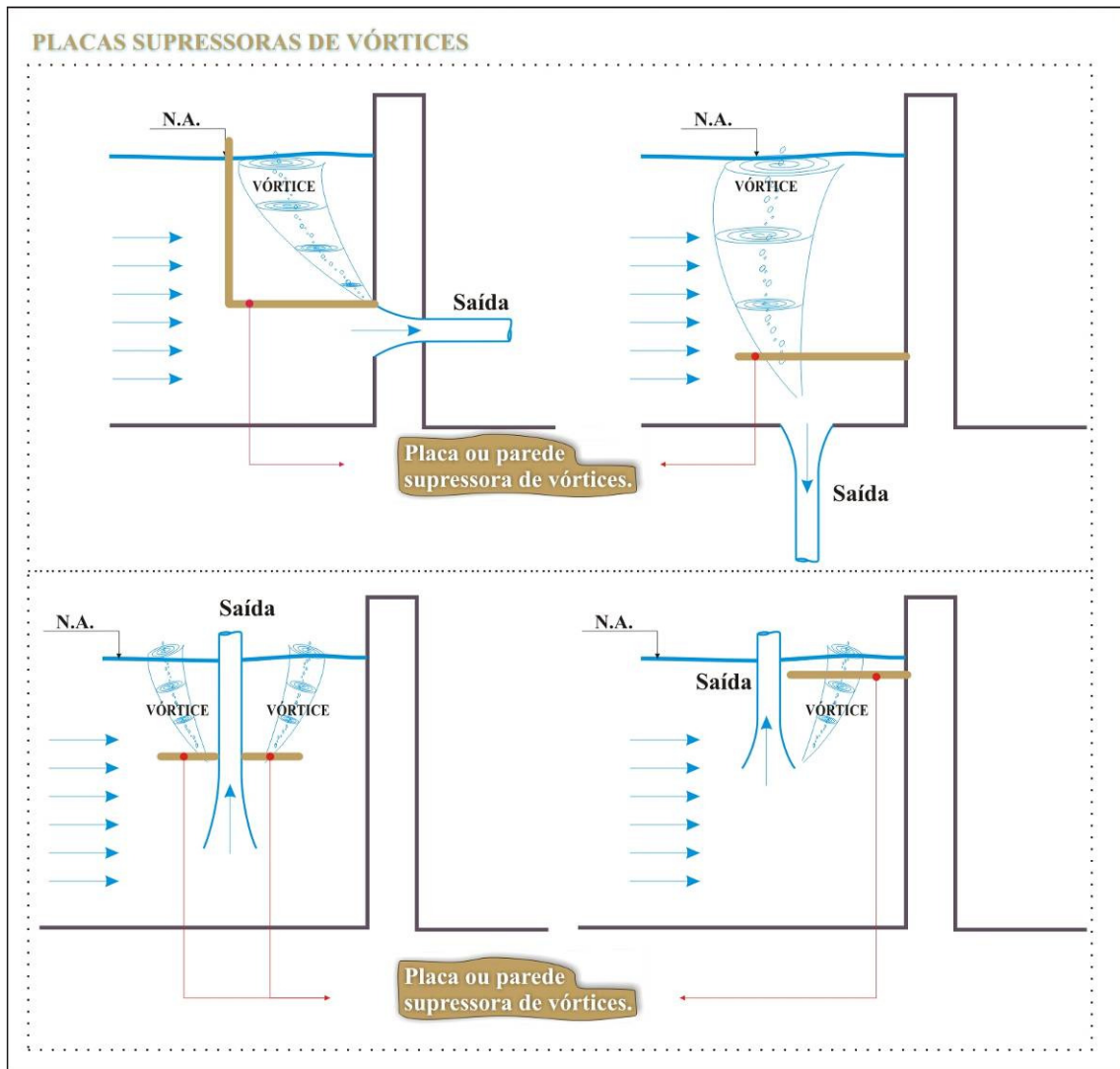
A submersão é a profundidade ou distância entre o ponto de saída da água e a superfície livre da massa líquida do reservatório. A determinação da submersão mínima deve ser feita com muito cuidado, pois a sua grandeza tem relação direta o volume nominal do reservatório e, portanto, com o seu custo de construção.

No Desenho 4 são propostas algumas recomendações para determinação da submersão mínima em reservatórios de água.



Desenho 4 - Determinação da submersão mínima.  
Fonte: Adaptado de Tsutiya (2004).

Os supressores de vórtices são placas, ou parede instalada próxima da tubulação de saída do reservatório, com a finalidade de diminuir ou eliminar os movimentos circulares da massa líquida que dão origem aos vórtices. No Desenho 5 são mostrados alguns exemplos de placas supressoras de vórtices.



Desenho 5 - Exemplos de placas supressoras de vórtices.  
Fonte: Adaptado de Alem Sobrinho e Tsutiya (2000).

- ***Controle operacional***

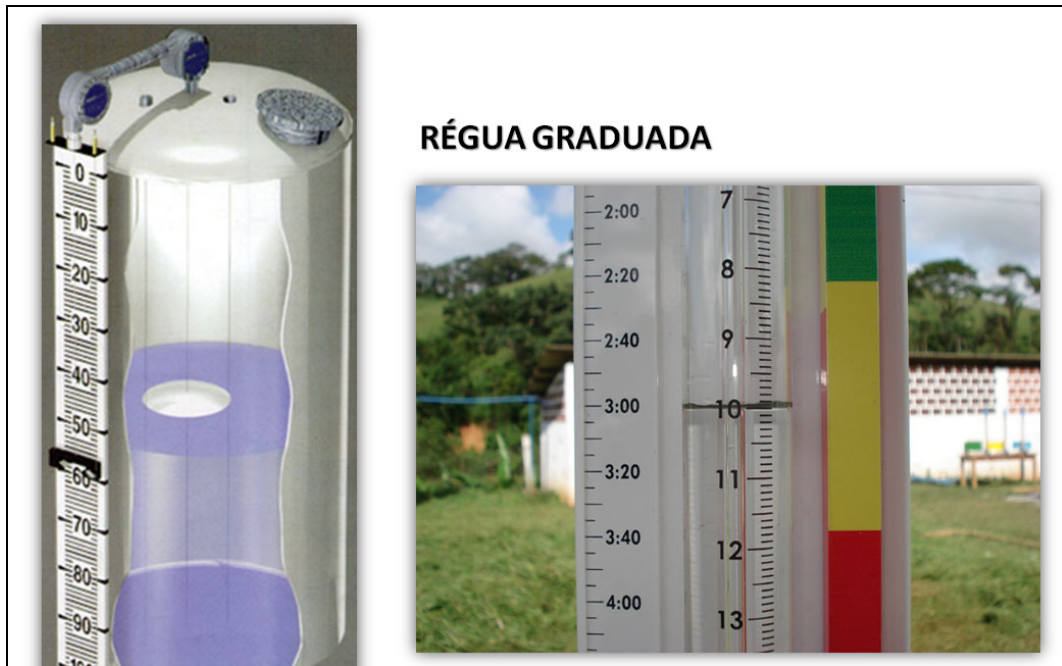
Para Gomes (2004), o controle operacional de um sistema de abastecimento de água ocorre quando se tem efetivamente o monitoramento e o controle dos parâmetros hidráulicos e elétricos de todas as unidades que compõe o sistema a cada instante do dia.

No caso dos reservatórios, os principais parâmetros de controle operacional são: o nível da lâmina líquida e as vazões de entrada e de saída do reservatório.

O controle do nível é importante para manter o equilíbrio de pressão na rede de distribuição e para a redução de perdas físicas por transbordamento de água.

Os métodos mais comuns para medição de nível são: a) utilização de flutuador, associado à régua graduada e b) utilização de sensores do tipo ultrassônico.

A medição de Nível com flutuadores funciona através de uma bóia flutuante que transmite seu movimento, através de sistemas de roldanas, a uma régua graduada situada externamente ao reservatório. Um exemplo desse tipo de medidor é indicado no Desenho 6.



Desenho 6 - Medidor de nível com flutuador  
 Fonte: Catálogo ... (2006).

O monitoramento da variação do nível da lâmina líquida em reservatórios por meio de sensores do tipo ultrassônico, conforme mostrado no Desenho 7, já é bastante conhecido, porém ainda são poucos os sistemas que tem implantado esse tipo de tecnologia devido às limitações financeiras das concessionárias de saneamento.

A medição pela tecnologia do ultra-som baseia-se no tempo de trânsito (transit time) que uma onda sonora leva para se deslocar em um meio. Um sensor ultra-sônico (transmissor/receptor) emite uma onda na frequência do ultra-som, que se desloca pelo ambiente até atingir a superfície do material que se quer medir; ao atingir a superfície do material, o sinal é refletido de volta ao sensor. Pelo tempo decorrido desde a emissão do sinal até o seu retorno pode-se obter a distância percorrida pelo mesmo. Assim, o sinal ultra-sônico refletido será enviado a um módulo eletrônico para ser processado, e através de um algoritmo será convertido em nível, vazão, distância ou outra variável associada (INCONTROL, 2002b, p.3)



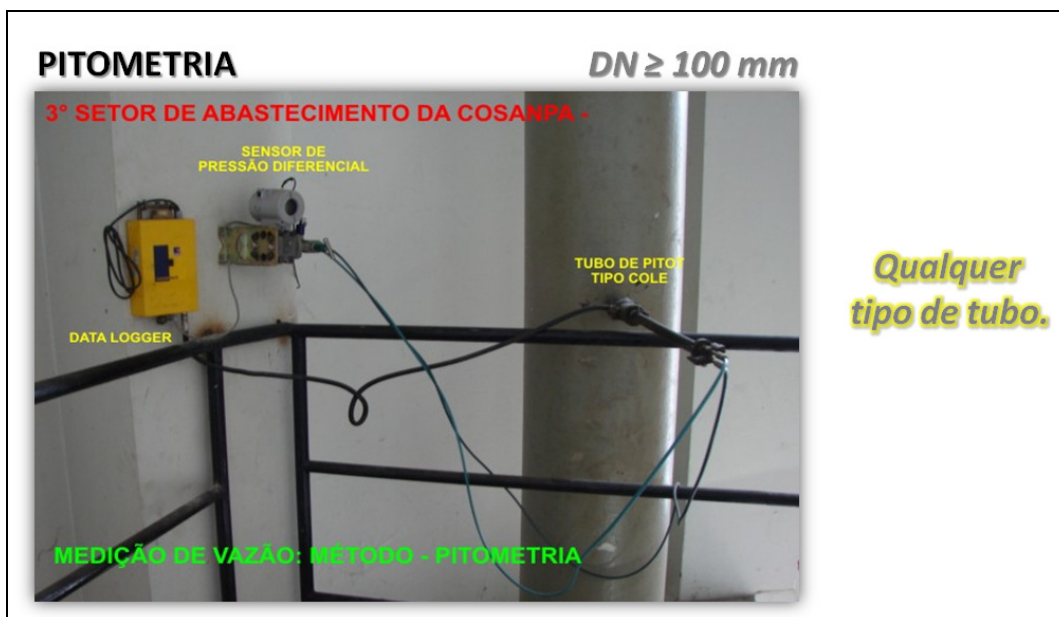
Desenho 7 - Medidor de nível ultrassônico.  
Fonte: Adaptado de Incontrol (2002b).

O conhecimento das vazões de entrada e saída do reservatório possibilita o estabelecimento de rotinas operacionais otimizadas para suprir as variações diárias e horárias do consumo de água.

Para medições de vazão em reservatórios, é comum a utilização de Tubo de Pitot e de medidores eletromagnéticos.

O tubo de Pitot foi idealizado e testado por Henry Pitot, em 1932. Esse tubo é um instrumento no qual a vazão é determinada pela diferença de pressão, que por sua vez, é associada com a velocidade do fluido segundo a equação de Bernoulli (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2005).

Na Desenho 8 é mostrado o Tubo de Pitot tipo Cole, o mais utilizado no Brasil.



Desenho 8 – Tubo de Pitot tipo Cole  
 Fonte: MINISTÉRIO DAS CIDADES (2005).

O medidor eletromagnético é muito utilizado para medição de vazão de entrada e saída nos reservatórios e em redes de distribuição, e são baseados no fato de que a água é um fluido condutor de eletricidade podendo ser induzida uma corrente elétrica.

A medição da vazão por meio de medidores eletromagnético é baseada no princípio de indução eletromagnética (Lei de Faraday), que determina a velocidade de escoamento do fluido no interior do tubo. Conhecendo-se a seção transversal e a velocidade, a vazão é determinada por um circuito eletrônico microprocessado (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2005).

Os medidores eletromagnéticos devem ser instalados respeitando-se distâncias mínimas em relação a qualquer interferência presente a montante ou a jusante do medidor. Essa distância varia de 10 à 20 vezes o diâmetro nominal da tubulação e é de acordo com cada fabricante. No Desenho 9 é apresentado exemplo de um medidor de vazão eletromagnético.





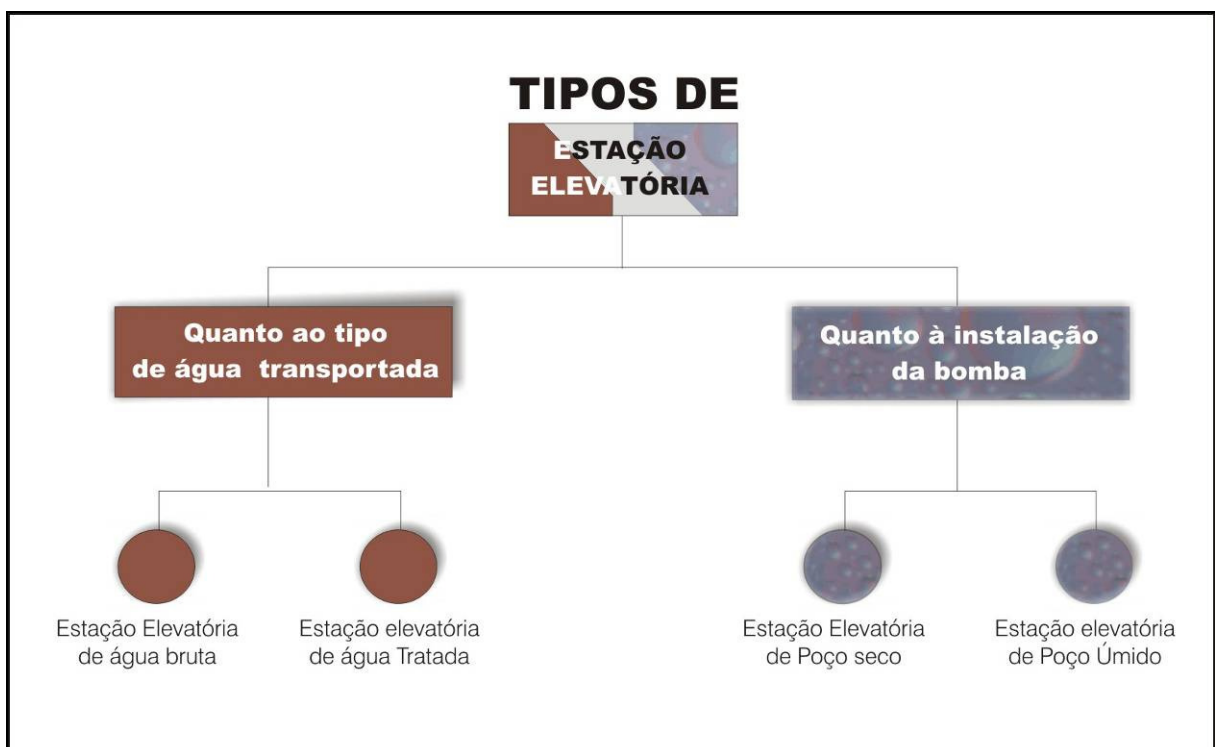
Desenho 9 – Medidor de vazão eletromagnético.  
Fonte: Adaptado de Medidor de vazão eletromagnético (2009).

É importante observar que a correta operação do reservatório evita a perda de água por transbordamento, bem como permite o funcionamento otimizado dos conjuntos motor e bomba, economizando o custo e o consumo de energia elétrica.

### 3.3 UNIDADE DE ELEVAÇÃO

Denomina-se unidade de elevação ou estação elevatória àquela instalação que objetiva transportar certa quantidade de água de um ponto para outro normalmente de cota mais elevada, ou simplesmente transferir a água energia suficiente para garantir o escoamento desejado no duto (ALEM SOBRINHO e TSUTIYA, 2000).

A estação elevatória pode ser classificada quanto ao tipo de líquido transportado e quanto à posição da instalação da bomba, conforme Fluxograma 1.



Fluxograma 1 – Esquema de tipos de estação elevatória de água.

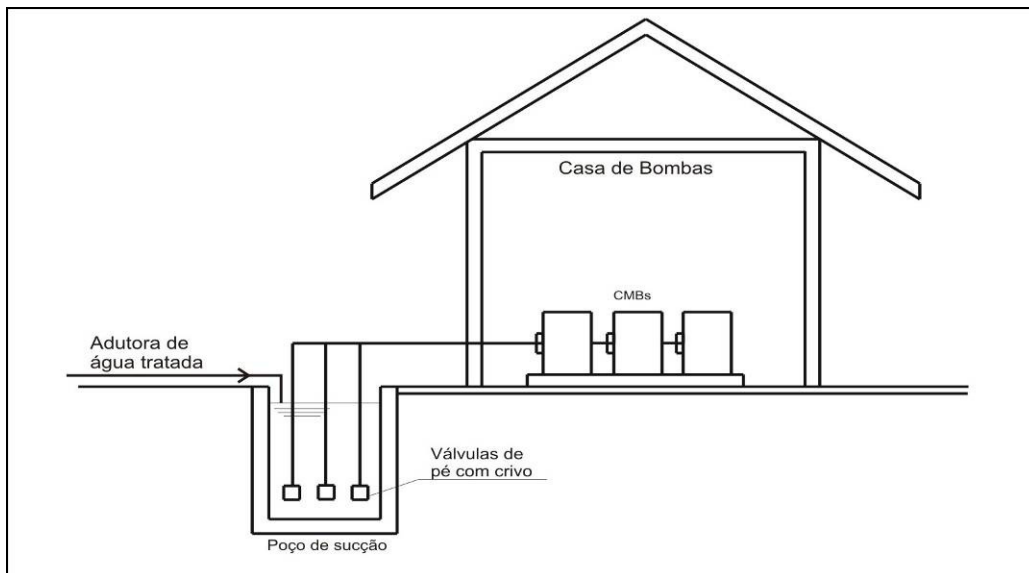
A estação elevatória pode ser classificada quanto ao tipo de água transportada com Elevatória de Água Bruta ou com Elevatória de Água Tratada (AZEVEDO NETTO et al., 1998).

A estação elevatória é denominada de água bruta em sistema de abastecimento de água quando a massa líquida a ser transportada ainda não sofreu qualquer processo de tratamento para o consumo humano (SILVESTRE, 1979).

A estação elevatória de água tratada é aquela quando a massa líquida a ser transportada já sofreu processo de tratamento para o consumo humano (TSUTIYA, 2004).

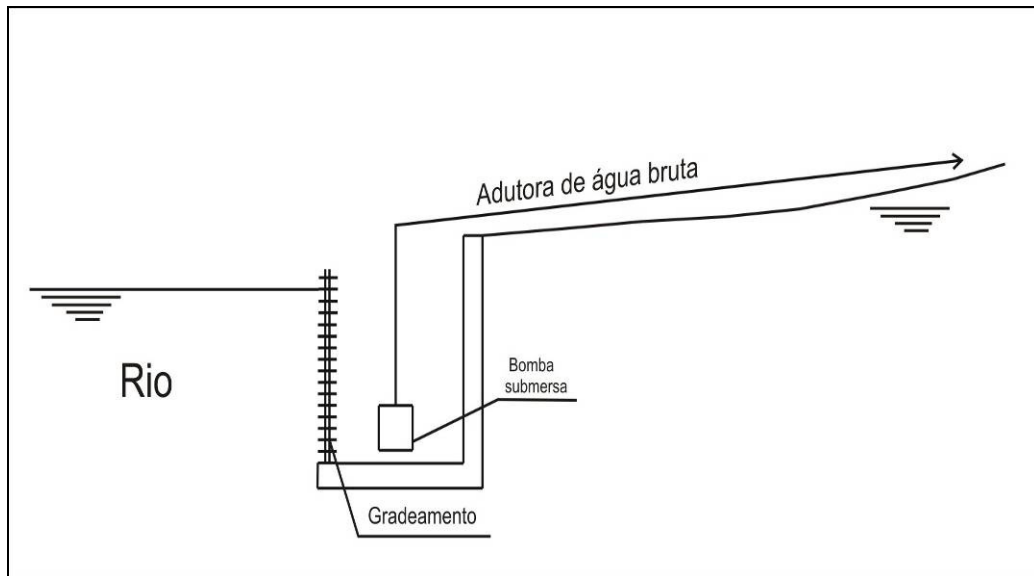
A estação elevatória pode ser classificada em elevatória de poço seco ou elevatória de poço úmido (AZEVEDO NETTO et al. 1998).

A elevatória é denominado de poço seco quando a bomba está localizado fora da água (TSUTIYA, 2004). No Desenho 10 é mostrado o esquema de poço seco.



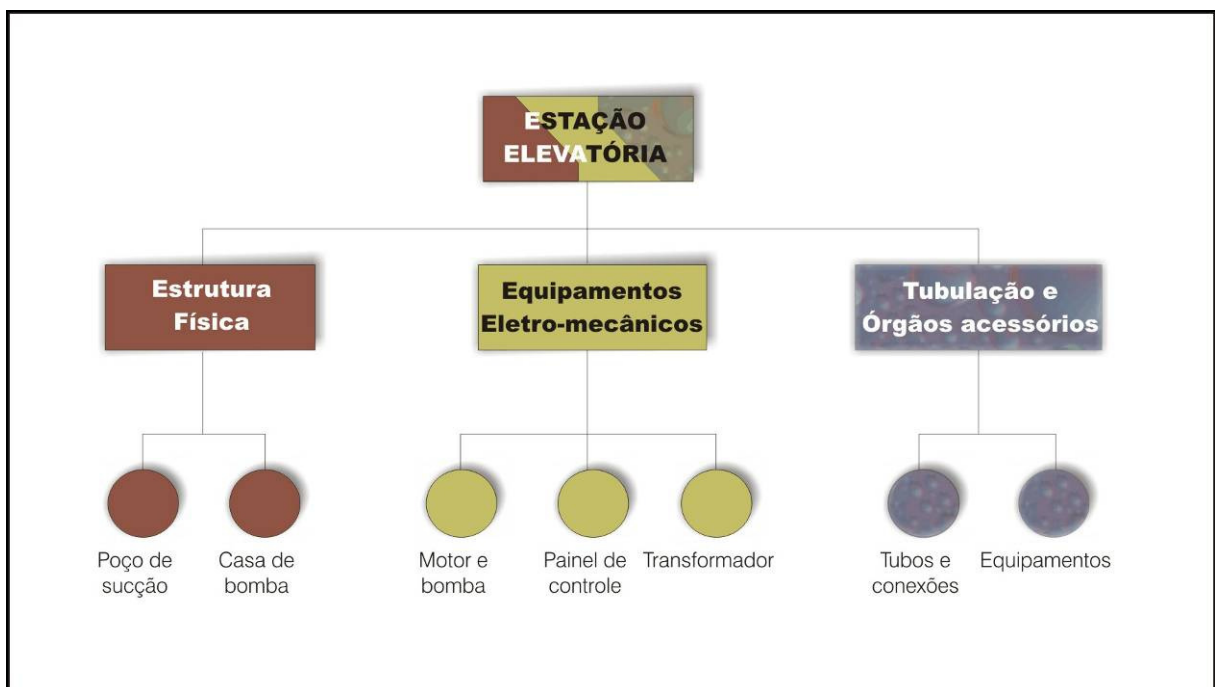
Desenho 10 – Esquema de poço seco.

A elevatória de poço úmido tem sido muito utilizada para captação de água bruta em reservatórios, represas ou canais e é classificada dessa forma, pois as bombas são do tipo submersas (TSUTIYA, 2004), conforme mostrado no Desenho 11.



Desenho 11 – Esquema de poço úmido

A unidade de elevação é composta por estrutura física, equipamentos eletromecânicos e equipamentos hidráulicos, conforme mostrado no Fluxograma 2.



Fluxograma 2 – Componentes da unidade de elevação.

### **a) Estrutura Física da Unidade de Elevação**

A estrutura física de unidade de elevação é composta por casa de bombas ou salão de máquinas e o poço de sucção.

Na casa das bombas são instalados os equipamentos eletromecânicos, hidráulicos e os de controle.

O poço de sucção ou poço de tomada, componente da estrutura física da estação elevatória, consiste de um compartimento de dimensões reduzidas, de onde parte a tubulação que conduz a água para a bomba. De acordo com a situação, há dois casos a considerar quanto ao nível de água em relação a entrada da bomba: poço com nível de água abaixo da bomba e com o nível de água acima das bombas, neste caso, a bomba trabalha afogada (CETESB, 1976).

### **b) Equipamentos eletromecânicos**

A unidade de elevação é composta por equipamentos eletromecânicos como as bombas, motor, painel de controle, transformador e Linha de Transmissão.

As bombas são máquinas operatrizes hidráulicas que fornecem energia ao líquido com a finalidade de transportá-lo de um ponto a outro. Normalmente recebem energia mecânica e a transformam em energia de pressão e cinética ou em ambas (AZEVEDO NETTO et al. 1998).

Segundo Hydraulic...(2007), as bombas podem ser classificadas em quatro classes de bombas: centrífugas, rotativas, de embolo (ou pistão), e de poço profundo (tipo turbina).

Atualmente, as bombas rotodinâmicas, mas conhecidas como bombas centrífugas, são as mais utilizadas em sistemas públicos de abastecimento de água, devido o advento da eletricidade e do motor elétrico (MACINTYRE, 1997).

As bombas centrífugas são bombas hidráulicas que têm como princípio de funcionamento a força centrífuga através de palhetas e impulsores que giram no interior de uma carcaça estanque, jogando líquido do centro para a periferia do conjunto girante (AZEVEDO NETTO et al., 1998).

Segundo o Hydraulic...(2007), as bombas centrífugas podem ser classificadas conforme mostrado no Quadro 1.

(Continua)

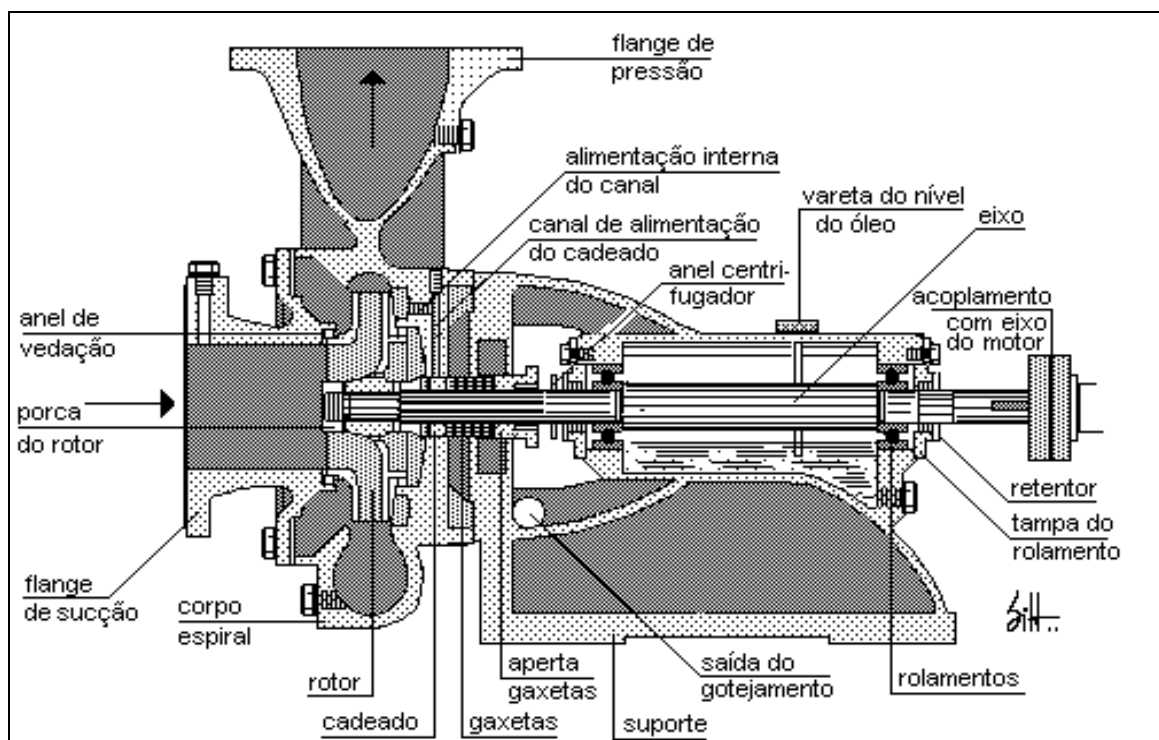
<b>CLASSIFICAÇÃO DAS BOMBAS</b>	ALTURA MANOMÉTRICA	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Baixa pressão (<math>H &lt; 15</math> mca);</li> <li>- Média pressão (<math>15 &lt; H &lt; 50</math> mca)</li> <li>- Alta pressão (<math>H &gt; 50</math> mca).</li> </ul>
	VAZÃO DE RECALQUE	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pequena (<math>Q &lt; 50</math> m<sup>3</sup>/hora);</li> <li>- Média (<math>50 &lt; Q &lt; 500</math> m<sup>3</sup>/hora)</li> <li>- Grande (<math>Q &gt; 500</math> m<sup>3</sup>/hora).</li> </ul>
	DIREÇÃO DO ESCOAMENTO DO LÍQUIDO NO INTERIOR DA BOMBA	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Radial ou centrífuga pura</li> <li>- Diagonal ou de fluxo misto,</li> <li>- Axial ou helicoidais.</li> </ul>
	ESTRUTURA DO ROTOR	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aberto</li> <li>- Semi-aberto ou semi-fechado;</li> <li>- Fechado.</li> </ul>
	NÚMERO DE ROTORES	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Estágio único ;</li> <li>- Múltiplos estágios.</li> </ul>
	NÚMERO DE ENTRADAS	<ul style="list-style-type: none"> <li>-sucção única, aspiração simples ou unilateral (mais comuns);</li> <li>- sucção dupla, aspiração dupla ou bilateral (para médias e grandes vazões).</li> </ul>
	ADMISSÃO DO LÍQUIDO	<ul style="list-style-type: none"> <li>- sucção axial (maioria das bombas de baixa e média capacidades);</li> <li>- sucção lateral (bombas de média e alta capacidades);</li> <li>- sucção de topo (situações especiais);</li> <li>- sucção inferior (bombas especiais).</li> </ul>
	POSIÇÃO DE SAÍDA	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Topo (pequenas e médias), I</li> <li>- Lateral (grandes vazões),</li> <li>- inclinada (situações especiais)</li> <li>- vertical (situações especiais).</li> </ul>

(conclusão)

<b>CLASSIFICAÇÃO DAS BOMBAS</b>	VELOCIDADE DE ROTAÇÃO	<ul style="list-style-type: none"> <li>- baixa rotação ( <math>N &lt; 500\text{rpm}</math>)</li> <li>- Média rotação ( <math>500 &lt; N &lt; 1800\text{rpm}</math>)</li> <li>- Alta rotação ( <math>N &gt; 1800\text{rpm}</math>).</li> </ul>
	POSIÇÃO NA CAPTAÇÃO	<ul style="list-style-type: none"> <li>- submersas (em geral empregadas onde há limitações no espaço físico - em poços profundos, por exemplo);</li> <li>- afogadas (mais freqüentes para recalques superiores a 100 l/s);</li> <li>- altura positiva (pequenas vazões de recalque).</li> </ul>
	POSIÇÃO DO EIXO	<ul style="list-style-type: none"> <li>- eixo horizontal (mais comuns em captações superficiais);</li> <li>- eixo vertical (para espaços horizontais restritos e/ou sujeitos a inundações e bombas submersas em geral).</li> </ul>
	TIPO DE CARÇAÇA	<ul style="list-style-type: none"> <li>- compacta</li> <li>- bipartida.</li> </ul>

Quadro 1 – Classificação das bombas.

No Desenho 12 é mostrado um corte esquemático de uma bomba centrífuga típica de média pressão para pequenas vazões e funcionamento afogado ou com altura positiva, eixo horizontal e carcaça compacta, fluxo radial com rotor fechado em monoestágio de alta rotação, sucção única, entrada axial e saída de topo (FERNANDES, 2007).



Desenho 12 - Corte esquemático de uma bomba centrífuga típica  
 Fonte: Fernandes (2007).

Os motores empregados em bombeamentos normalmente são os *elétricos* e, excepcionalmente, os *térmicos*. Os elétricos são máquinas que transformam energia elétrica em mecânica e são os mais empregados de todos os tipos de motores, pois combinam as vantagens de utilização de energia elétrica pelo seu baixo custo de operação, manutenção e investimento e a grande versatilidade de adaptação às cargas dos mais diversos tipos (MACINTYRE, 1997).

As bombas para impulsionamento de água ou de esgotos sanitários, normalmente, são acionadas por motores movidos à eletricidade. Não é raro, porém, o emprego de motores alimentados por outras fontes de energia, como, por exemplo, motores de combustão interna, para que haja garantia de continuidade de funcionamento nos períodos em que ocorram falhas no fornecimento de energia elétrica. O próprio gás produzido nas estações de tratamento de esgotos poderá ser uma fonte alternativa de energia. Motores movidos a energia solar também estão começando a ser utilizados em comunidades longínquas e de difícil acesso (CETESB, 1976).



Os motores elétricos comerciais são classificados como tipo *de corrente contínua* ou *de corrente alternada*. Os de contínua são pouco empregados tendo em vista que a energia elétrica normalmente é fornecida em corrente alternada, necessitando estes, portanto, de dispositivo de conversão de corrente de alternada para contínua, o que encarece o equipamento, além do custo do motor ser mais alto que o de corrente alternada. Estes motivos tornam seu uso restrito a instalações especiais, como para acionar equipamentos que utilizam tração elétrica, guindastes, compressores etc (BLACK, 1979).

A energia elétrica vem se tornando um insumo de maior custo no setor de saneamento. Assim, a utilização dos motores de alto rendimento, mesmo com custo superior aos motores padrões, torna-se plenamente justificável, pois reduz custos do consumo de energia elétrica, além de proporcionar outros ganhos à sociedade, resultante da utilização mais racional dos recursos naturais.

Os motores de alto rendimento são aqueles projetados para, fornecendo a mesma potência útil (na ponta do eixo) que outros tipos de motores, consumirem menos energia elétrica da rede (MACINTYRE, 1997).

Os motores de alto rendimento apresentam as seguintes características: chapas metálicas de melhor qualidade (aço silício); maior volume de cobre, o que reduz a temperatura de operação; enrolamentos especiais, que produzem menos perdas estáticas, rotores tratados termicamente, reduzindo perdas rotóricas, altos fatores de enchimento das ranhuras, que provêm melhor dissipação do calor gerado, anéis de curto-circuito dimensionados para reduzir as perdas Joule, projetos de ranhuras do motor são otimizados para incrementar o rendimento (MOTORES..., 2007).

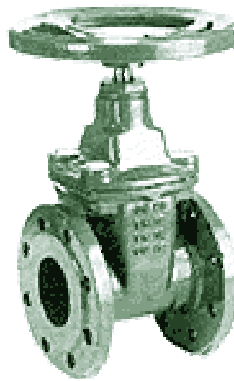
### c) Tubulação e órgãos acessórios

As estações elevatórias compreendem além das bombas propriamente ditas, de conjunto de tubulações, peças especiais e órgãos acessórios (SILVESTRE, 1979).

As tubulações são geralmente de ferro fundido com juntas de flange para facilitar o reparo em caso de necessidade.

Os principais órgãos acessórios conectados às tubulações de uma estação elevatória são os registros, válvulas de retenção, válvulas de é e os manômetros e vacuômetros.

As válvulas ou registros de fechamento são utilizados para efetuar manobras ou interromper o fluxo de água para execução de reparos, normalmente em estações elevatórias são do tipo de gaveta e dotados de flanges. Na Fotografia 1 é mostrada registro de gaveta.



Fotografia 1 - Registro de Gaveta  
Fonte: Registro (2007)

As válvulas de retenção são destinadas a permitir a passagem da água numa só direção. São instaladas na tubulação de saída para que, numa inesperada paralisação do bombeamento, o golpe causado pelo retorno da água não cause danos à bomba. Na Fotografia 2 é mostrada válvula de retenção horizontal.



Fotografia 2 - Válvula de Retenção horizontal  
Fonte: Válvula (2007)

Os manômetros são utilizados para medir pressão e os Vacuômetros para medir pressões negativas. Os manômetros e vacuômetro são conectados junto a saída e a entrada da bomba, respectivamente por meio de uma tubulação de diâmetro reduzido. Na Fotografia 3 e na Fotografia 4 são mostrados manômetros e vacuômetros respectivamente.



Fotografia 3 - Manômetro analógico.  
Fonte: Manômetro... (2007)



Fotografia 4 - Vacuômetro analógico.  
Fonte: Manômetro... (2007)

### 3.3.1 Dimensionamento de Estação Elevatória

No dimensionamento do sistema elevatório é necessário conhecer a vazão de projeto, a altura manométrica total, a potência fornecida pela bomba, o rendimento ou eficiência da bomba –  $h_b$  e a curva característica das bombas centrífugas.

- **Vazão de projeto**

A vazão que se deve recalcar é determinada por meio da concepção básica do sistema de abastecimento, da fixação do período de projeto e das etapas para implantação das obras, e do regime de operação previsto para as elevatórias (TSUTIYA, 2004).

- **Altura manométrica total**

Este parâmetro identifica o potencial da bomba para elevar o líquido até determinado nível. Segundo Crespo (2001), para satisfazer essa demanda de trabalho, o equipamento necessita superar três solicitações simultâneas:

- Altura geométrica ( $H_G$ );
- Perdas de cargas localizadas ( $\Delta H_L$ );
- Perdas de cargas distribuídas ( $\Delta H_D$ ).

A altura manométrica pode ser desdobrada em duas parcelas: A altura manométrica de recalque e altura manométrica de sucção CETESB<sup>1</sup> (1976).

A altura manométrica de recalque é a soma geométrica de recalque com as perdas calculadas no trecho correspondente:

$$H_{man.rec} = H_{G.rec} + J_{L_R} + k.(V^2/2g), \text{ sendo:}$$

- .  $H_{man.rec}$  = altura manométrica de recalque, em metros;
- .  $H_{G.rec}$  = altura geométrica de recalque, em metros;

---

<sup>1</sup> Companhia Estadual de Tecnologia de Saneamento Básico.

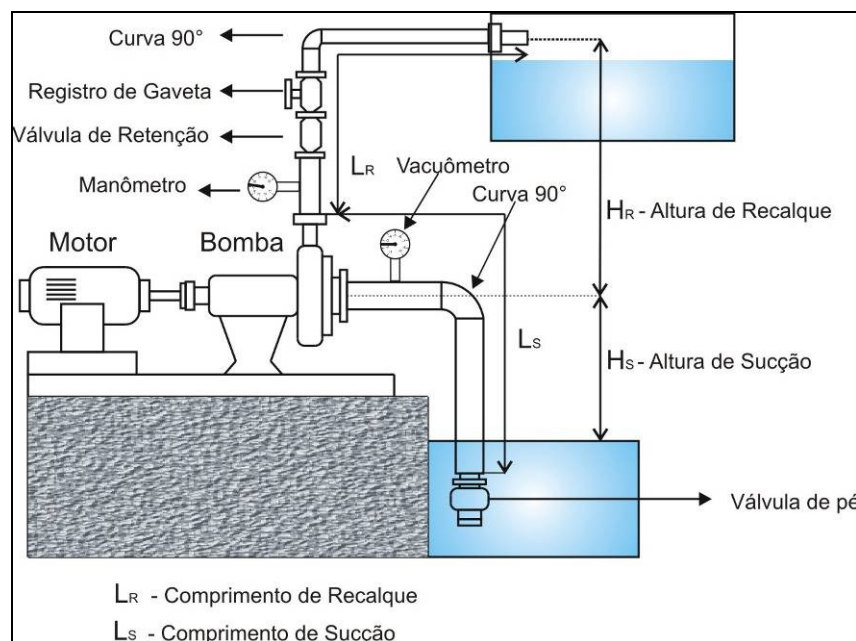
- .  $JL_R$  = Perdas de carga distribuída no recalque, em metros;
- .  $k.(V^2/2g)$  = Perda de carga localizada, em metros;
- .  $k$  = Coeficiente de perda de carga localizada (valor tabelado)
- .  $V$  = Velocidade da água no trecho, m/s;
- .  $g$  = aceleração da gravidade, em m/s<sup>2</sup>

A altura manométrica de sucção é a soma geométrica de sucção com as perdas calculadas no trecho correspondente;

$$H_{man.suc} = H_{G.seuc} + J_{L_s} + k.(V^2/2g)$$

- .  $H_{man.suc}$  = altura manométrica de sucção, em metros;
- .  $H_{G.seuc}$  = altura geométrica de sucção, em metros;
- .  $J_{L_s}$  = Perdas de carga distribuída na sucção, em metros;

No Desenho 13 é mostrada esquema de unidade elevatória com altura de sucção e altura de recalque.



Desenho 13 – Esquema sistema estação elevatória.

Em qualquer cálculo de altura de sucção de bombas tem de ser levada em consideração que não deve ocorrer o fenômeno da cavitação, que consiste na ebulição da água no interior dos condutos, quando as condições de pressão caem a valores inferiores a pressão de vaporização (AZEVEDO NETTO, 1998).

No interior das bombas, no deslocamento das pás, ocorrem inevitavelmente rarefações no líquido, isto é, pressões reduzidas devido à própria natureza do escoamento, o que favorece a formação de bolhas de ar (SILVESTRE, 1979).

Estas bolhas de ar desaparecem bruscamente, condensando-se, quando alcançam zonas de altas pressões em seu caminho através da bomba. Como esta passagem gasoso-líquido é brusca, o líquido alcança a superfície do rotor em alta velocidade, produzindo ondas de alta pressão em áreas reduzidas. Estas pressões podem ultrapassar a resistência à tração do metal e arrancar progressivamente partículas superficiais do rotor, inutilizando-o com o tempo (BLACK, 1979).

Na cavitação são ouvidos ruídos e vibrações característicos e quanto maior for a bomba, maiores serão estes efeitos. Além de provocar o desgaste progressivo até a deformação irreversível dos rotores e das paredes internas da bomba, simultaneamente, esta apresentará a progressiva queda de rendimento, caso o problema não seja corrigido. Nas bombas a cavitação geralmente ocorre por altura inadequada da sucção (problema geométrico), por velocidades de escoamento excessivas (problema hidráulico) ou por escorvamento incorreto (AZEVEDO NETTO, 1998)

Para garantir boas condições de aspiração das bombas, é necessário o conhecimento do valor do NPSH (*net positive suction head*). O termo NPSH comumente utilizado entre os fornecedores, fabricantes e usuários de bombas pode ser dividido em dois tipos: o *requerido* ( $NPSH_r$ ) e o *disponível* ( $NPSH_d$ ). (SILVESTRE, 1979)

-  $NPSH_r$  é a energia do líquido que a bomba necessita para seu funcionamento interno. Normalmente, o  $NPSH_r$  é fornecido em metros de coluna de água (TSUTIYA, 2004).

-  $NPSH_d$  é a energia disponível que possui o líquido na entrada de sucção da bomba. Portanto os fatores que influenciam diretamente o NPSH são a altura estática de sucção, o local de instalação, a temperatura de bombeamento e o peso

específico, além do tipo de entrada, diâmetro, comprimento e acessórios na linha de sucção que vão influenciar nas perdas de carga na sucção (SILVESTRE, 1979).

- **Potência fornecida pela Bomba**

É a potência para elevar a vazão do líquido, de modo a vencer a altura manométrica total (TSUTYA, 2004). É dada por:

$$P_L = \gamma QH$$

Onde:

$P_L$  = Potência líquida fornecida pela bomba (KW; N. m/s)

$\gamma$  = Peso específico da água (N/m<sup>3</sup>)

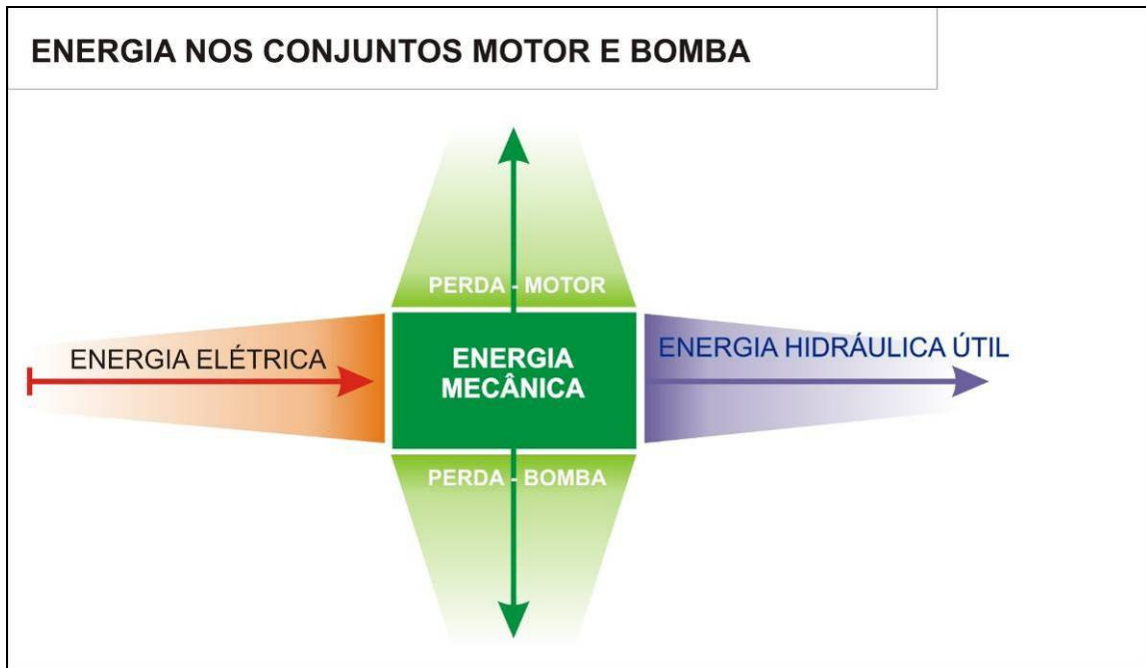
H = Altura Manométrica total (m).

- **Rendimentos ou eficiência da bomba - hb**

*Rendimento* de uma bomba é a relação entre a potência fornecida pela bomba ao líquido (*potência útil*) e a cedida a bomba pelo eixo girante do motor (*potência motriz*) (MACINTYRE, 1997).

Uma bomba recebe energia mecânica por meio de eixo e consome parte desta no funcionamento de suas engrenagens, além de parte da energia cedida pelo rotor ao líquido perde-se no interior da bomba em consequência das perdas hidráulicas diversas, da recirculação e dos vazamentos, de modo que só parte da energia recebida do motor é convertida em energia hidráulica útil (BLACK, 1979).

No Desenho 14 é mostrado o esquema das demandas de energia nos conjuntos motor e bomba.



Desenho 14 - Esquema das demandas de energia nos conjuntos motor e bomba.  
 Fonte: Adaptado Macintyre (1997).

De acordo com Macintyre (1997), a relação entre a energia útil, ou seja, aproveitada pelo fluido para seu escoamento fora da bomba (que resulta na potência útil) e a energia cedida pelo rotor é denominada de rendimento hidráulico interno da bomba. A relação entre a energia cedida ao rotor e a recebida pelo eixo da bomba é denominada de rendimento mecânico da bomba. A relação entre a energia útil, ou seja, aproveitada pelo fluido para seu escoamento fora da bomba (potência útil) e a energia inicialmente cedida ao eixo da bomba é denominada rendimento hidráulico total da bomba e é simbolizada por  $\eta_b$ , e calculada pela seguinte equação:

$$\eta_B = \frac{P_L}{P_B} = \frac{\rho Q H}{P_B}$$

Sendo:

$\eta_b$  = Rendimento ou eficiência da bomba;

$P_b$  = Potência consumida pela bomba, ( KW; N.m/s).



- **Curva Característica das Bombas centrífugas**

Tsutiya (2004) afirma que é de fundamental importância o conhecimento das curvas características das bombas, pois cada bomba é projetada, basicamente, para elevar determinada vazão (Q) a uma altura manométrica total (H) em condições de Máximo rendimento, e a medida que o par Q e H se afasta das condições ótimas de operação, o rendimento da bomba tende a diminuir.

No Gráfico 3 é apresentado esquematicamente a curva característica de uma bomba centrífuga.

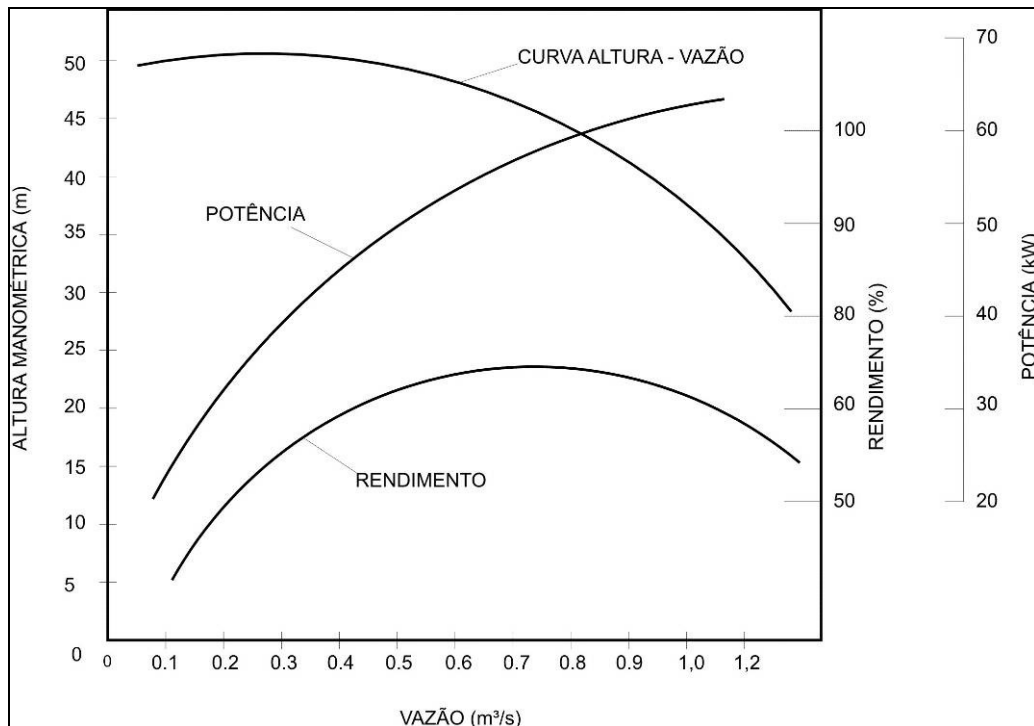


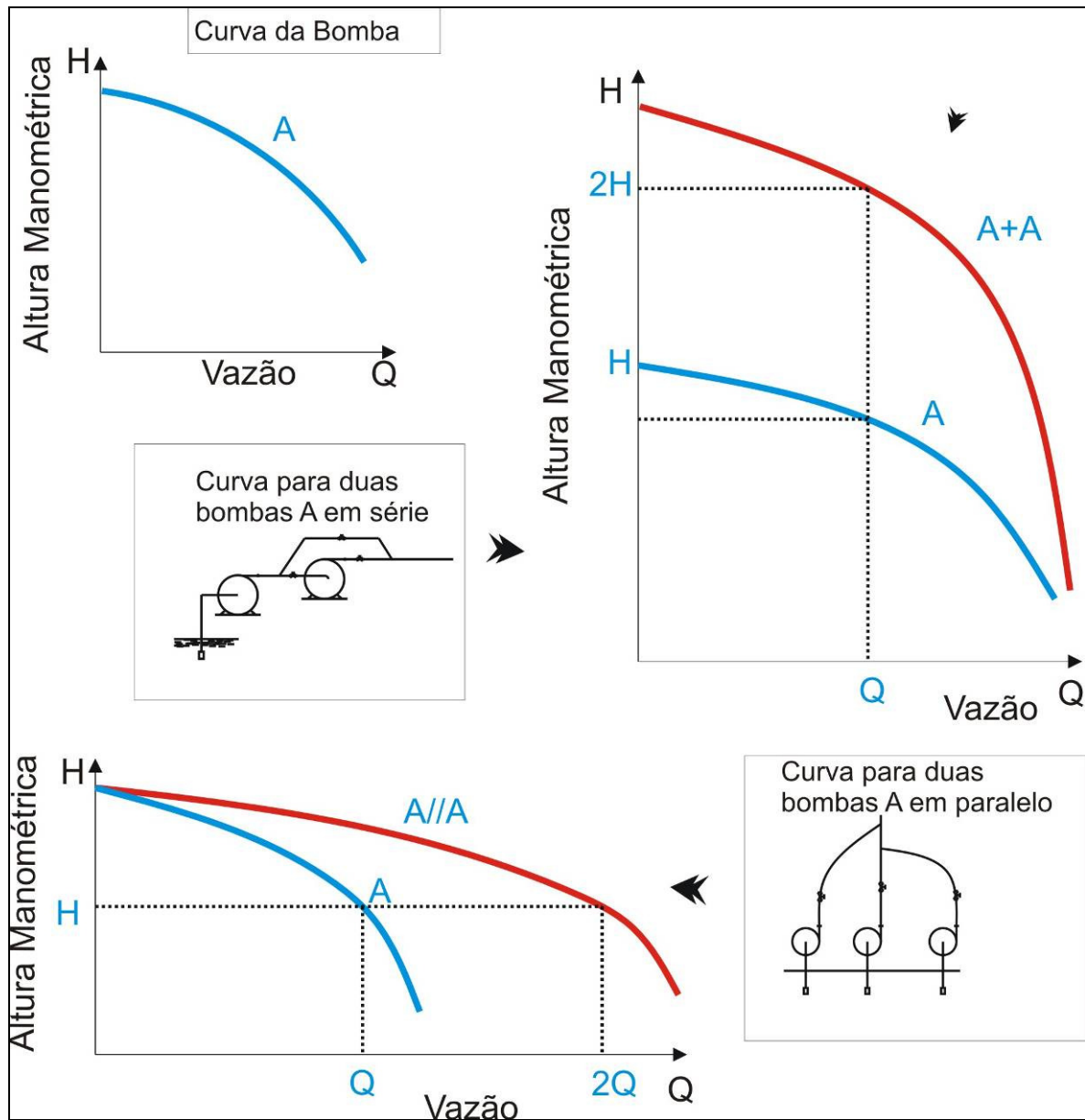
Gráfico 3 – Curva característica esquemática de uma bomba centrífuga.

Fonte: Adaptado Tsutiya (2004)

Em elevatórias de água ou de esgoto, e em inúmeras aplicações industriais, o campo da variação da vazão e da altura manométrica pode ser excessivamente amplo, para ser abrangido pelas possibilidades de uma única bomba, mesmo variando a velocidade. Recorre-se então a associações ou ligações de duas ou mais bombas em série ou paralelo (MACINTYRE, 1997).

A associação em série é utilizada quando se deseja variar a altura manométrica e a associação em paralelo é utilizada quando é necessário o aumento da vazão.

No Desenho 15 é mostrado o esquema da curva característica da associação em série e paralelo de duas bombas "A" idênticas.



Desenho 15 - Esquema da curva característica da associação em série e paralelo de duas bombas "A" idênticas.

Fonte: adaptado Macintyre (1997).

### 3.3.2 Controle Operacional da Unidade Elevação

O controle da unidade de elevação é realizado por meio do monitoramento contínuo de parâmetros operacionais, tais como: parâmetros elétricos e hidráulicos.

Para que a conjunto motor-bomba possua funcionamento eficaz, eficiente e possam trabalhar com harmonia com equipamentos hidráulicos, é necessário o monitoramento da pressão e da vazão (BRASIL, 2006).

- **Pressão**

Os valores máximos e mínimos parametrizáveis para vazão de recalque e para pressão diferencial nas bombas pressão de recalque deverá ser supervisionado em conjunto com a vazão, para detecção de eventual arrebentamento das tubulações, caracterizado pela pressão baixa acompanhada por vazão alta. A pressão de recalque deverá ter dois limiares superiores ajustáveis, sendo o primeiro para alertar o operador e o segundo para impor o desarme dos conjuntos motor bomba (TSUTIYA, 2004).

- **Vazão**

Assim com a pressão, a vazão deve ser monitorada para evitar desgaste e danos aos equipamentos hidráulicos. O controle é feito por instrumentos como inversores de frequência, que é um equipamento elétrico capaz de produzir uma variação da frequência elétrica que alimenta o motor, promovendo variação de sua rotação (TSUTIYA, 2004). A relação entre vazão e velocidade de rotação é dada pela seguinte equação:

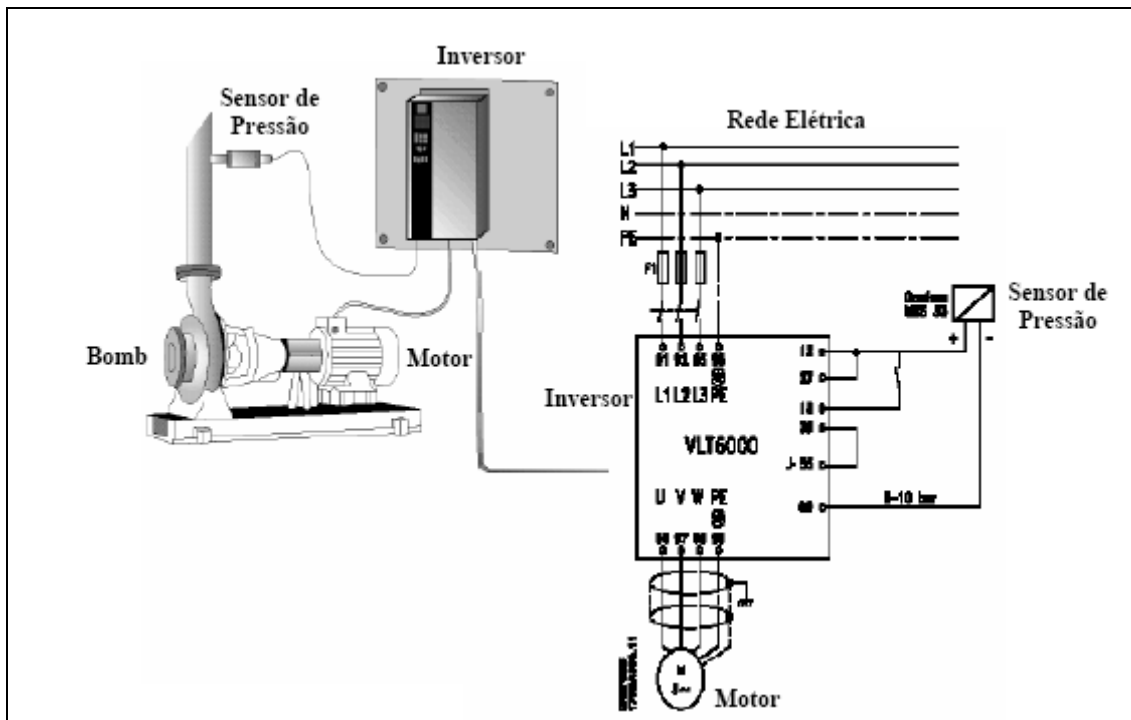
$$\frac{Q_1}{Q_2} = \left( \frac{N_1}{N_2} \right)^2$$

em que:

Q = Vazão

$N$  = Velocidade de rotação.

No Desenho 16 é mostrada a instalação de inversor de freqüência utilizando a pressão como parâmetro de controle.



Desenho 16 – Aplicação de inversor de freqüência em bombeamento de água.  
Fonte: Mesquita (2006).

Os principais parâmetros elétricos que devem ser monitorados para funcionamento eficaz e eficiente de unidade de elevação são: potência elétrica, consumo de energia elétrica e carga instalada (BRASIL, 2006).

- **Potência Elétrica**

A potência elétrica é a grandeza utilizada na especificação dos equipamentos elétricos, determina basicamente, o quanto é capaz uma lâmpada de emitir luz, o quanto o motor elétrico é capaz de produzir trabalho ou carga mecânica que pode suportar o seu eixo, o quanto um chuveiro é capaz de aquecer a água, ou quanto um aquecedor é capaz de produzir calor, etc (MEDEIROS FILHO, 1997). Na Fotografia 5 é mostrado um medidor de potencia multifuncional.



Fotografia 5 - Medidor de potencia multifuncional  
Fonte: Medidor (2007).

- **Consumo de energia elétrica**

O consumo de energia elétrica é a potência realizada ao longo do tempo seu cálculo é feito multiplicando-se a potência elétrica do equipamento pelo tempo em que ele ficar em funcionamento (OLIVEIRA e SÁ JR, 1998).

- **Demanda de energia elétrica**

É a média das potências instantâneas solicitadas à concessionária de energia pela unidade consumidora e integradas num determinado intervalo de tempo (período de integração) e, portanto, só existe quando finalizado este intervalo. Alguns erroneamente falam de demanda instantânea, a qual na realidade não existe; o que existe é a potência instantânea sendo integrada (BRASIL, 2006). Na Fotografia 6 é mostrado medidor de consumo e demanda de energia elétrica.



Fotografia 6 - Medidor de Consumo e Demanda de Energia Elétrica  
Fonte: Medidor (2007).

- **Energia Ativa e reativa**

A energia ativa é aquela capaz de produzir trabalho, é calculada pelo produto da potência ativa (kW) e pelo número de horas de funcionamento (h), e energia reativa (HELFRICK e COOPER, 1990).

A energia reativa é a energia solicitada por alguns equipamentos elétricos, necessária à manutenção dos fluxos magnéticos e que não produz trabalho (CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS, 2005b).

O conhecimento desses dois tipos de energia (ativa e reativa) possibilita ao responsável pela operação da unidade elevatória a obtenção de um indicador de grande valia para o monitoramento do funcionamento dos conjuntos motor e bomba denominado Fator de potência, o qual é obtido da relação entre energia ativa e reativa horária, a partir das leituras dos respectivos aparelhos de medição. Esse fator indica a eficiência com que o motor elétrico está consumindo a energia que chega até ele.

- **Perdas em Estações Elevatórias**

Gomes (2005) afirma que os sistemas de água e saneamento consomem 7% da energia elétrica no mundo. Um quarto dessa eletricidade poderia ser economizado se as a rede de abastecimento e os sistemas de bombeamento de água fossem mais eficazes.

Segundo Tsutiya (2004), o consumo de energia elétrica em sistema de abastecimento de água é da ordem de 0,6 kWh por m<sup>3</sup> de água produzida, ocorrendo 90% dessa despesa nos motores elétricos utilizados nas estações elevatórias de água.

### 3.4 PERDA DE ÁGUA E DE ENERGIA ELÉTRICA

Kurokawa (2001) afirma que o serviço de fornecimento de água tratada aos consumidores envolve uma cadeia de processos, desde o momento em que é retirada a água bruta nos mananciais, nos vários subprocessos que compõem o tratamento, nos processos de adução, de reservação e de distribuição, até o momento em que a água tratada chega na torneira do usuário para consumo final. Em cada etapa destes processos existem perdas de água.

Em um contexto em que o desenvolvimento do Brasil encontra-se relativamente limitado a indisponibilidade de recursos para investimentos na produção da energia elétrica, necessária ao seu crescimento econômico, e que o setor saneamento é a parcela da indústria que mais desperdiça energia, todo e qualquer planejamento para redução de perdas no setor deve considerar o binômio água e energia, visto que para cada metro cúbico de água perdida se perde com ele a energia demandada no bombeamento (BRASIL, 2006).

#### 3.4.1 Perda de Água

Em sistemas públicos de abastecimento, do ponto de vista operacional, as perdas de água são consideradas àquelas correspondentes aos volumes não contabilizados. Esses englobam tanto as perdas físicas (reais), que representam a parcela não consumida, como as perdas não físicas (aparentes), que correspondem à água consumida e não registrada (BRASIL, 2004).

##### a) Perdas Físicas (Reais)

Segundo Brasil (2006), as perdas físicas originam-se de vazamentos no sistema, podendo ocorrer na captação, na adução de água bruta, no tratamento, na reservação, na adução de água tratada e na distribuição, além de procedimentos operacionais como lavagem filtros e descargas na rede, quando estes provocam consumos superiores ao estritamente necessário para operação.

As experiências de técnicos do ramo indicam que a maior quantidade de ocorrências de vazamentos está nos ramais prediais (algo entre 70% e 90% da quantidade total de ocorrências). Em termos de volume perdido, a maior incidência é nas tubulações da rede distribuidora (BRASIL, 2006).

Tsutiya (2004) observa que intrínsecos às perdas físicas estão os custos de produção e transporte de água, tais como aqueles relacionados ao consumo de energia elétrica, de produtos químicos, e a mão-de-obra etc.

Para Gonçalves (1998) as principais causas e origens das perdas físicas de água, por unidades, em sistemas de abastecimento público de água são apresentadas no Quadro 2.

(continua)

<b>Unidade</b>	<b>Origem das Perdas</b>	<b>Causa</b>
<b>Adução</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vazamento nas tubulações,</li> <li>- Limpeza de poços de sucção</li> <li>- Descargas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pressão;</li> <li>- Características e movimento do solo;</li> <li>- Baixa qualidade de instalações e de materiais;</li> <li>- Falhas na concepção de projeto;</li> <li>- Manutenção ineficiente;</li> <li>- Tráfego de veículos;</li> <li>- Idade das adutoras.</li> </ul>
<b>Tratamento</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lavagem de filtros e decantadores;</li> <li>- Descarga de lodo;</li> <li>- Vazamentos nas estruturas, comportas e válvulas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mão de obra não qualificada;</li> <li>- Equipamentos inadequados;</li> <li>- Deficiência de projeto;</li> <li>- Rachaduras e/ou problemas de impermeabilidade nas estruturas da ETA;</li> <li>- Problemas de vedação em comportas e válvulas;</li> <li>- Deficiência de projeto.</li> </ul>



(conclusão)

<b>Reservação</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vazamentos nas estruturas;</li> <li>- Extravasamentos;</li> <li>- Limpeza;</li> <li>- Extravasamentos;</li> <li>- Limpeza.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rachaduras e/ou permeabilidade das paredes do reservatório;</li> <li>- Extravasamento devido à operação deficiente;</li> <li>- Mão de obra não qualificada;</li> <li>- Meios de comunicação ineficientes ou inadequados.</li> </ul>
<b>Distribuição</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Descargas;</li> <li>- Vazamento nas redes e ramais descargas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ligações clandestinas;</li> <li>- Ligações não hidrometradas;</li> <li>- Hidrômetros parados ou que submedem;</li> <li>- Ligações inativas reabertas.</li> </ul>

Quadro 2 - Origem das perdas reais e principais causas por unidade do sistema de abastecimento.  
 Fonte: Adaptado de Gonçalves (1998).

Para avaliar as perdas reais é fundamental quantificá-las. A quantificação dessas perdas é relativamente fácil, porque para isso basta obter a diferença entre o Volume Disponível ao Sistema<sup>2</sup> e os Volumes Autorizados<sup>3</sup>. Entretanto o rateio entre as perdas físicas e perdas não físicas é mais complexo, e exige a adoção de diversas hipóteses ou a realização de vários ensaios de campo (TSUTIYA, 2004).

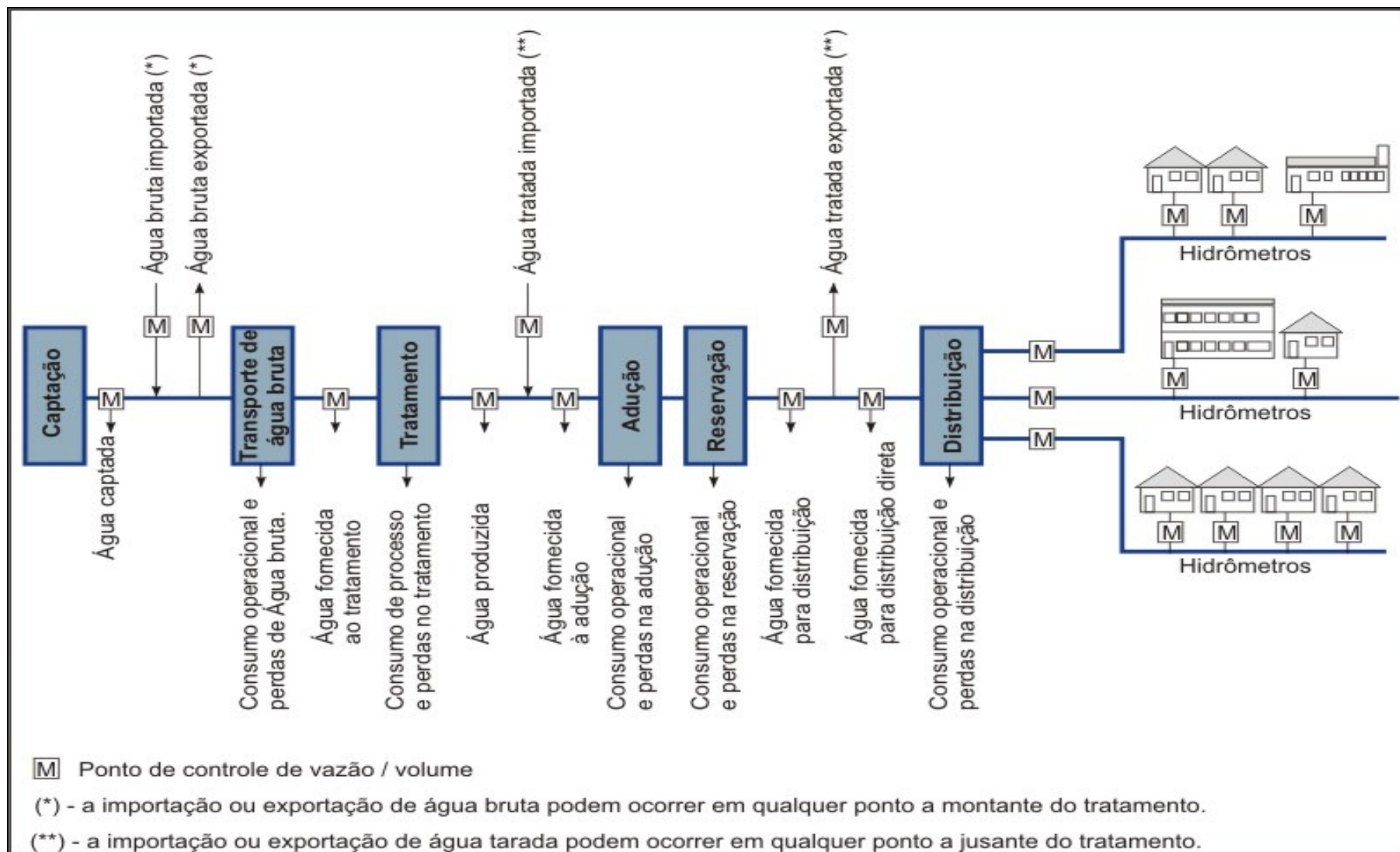
Para a quantificação das perdas físicas há dois métodos clássicos: o método do balanço hídrico e o método das vazões mínimas noturnas.

- Método do balanço hídrico

Na determinação das perdas físicas, os volumes perdidos são determinados a partir dos dados da macromedição e da micromedição, e de estimativas para determinação dos valores não-medidos que integram a matriz de determinação de perdas. No Esquema 2 é apresentado um exemplo de matriz de determinação de perdas físicas de água em um sistema de abastecimento.

<sup>2</sup> Volume Disponível ao Sistema é aquele referente a quantidade de água bruta e/ou tratada que entra no sistema.

<sup>3</sup> Volume Autorizado é aquele referente a quantidade de água consumida e legalmente autorizada pela concessionária de água.



Esquema 2 - Exemplo de matriz de determinação de perdas físicas em um sistema de abastecimento de água.

Fonte: Adaptado de Tsutiya (2004).

- Método da vazão mínima noturna

O controle das perdas de água se viabiliza pelo conhecimento dos parâmetros hidráulicos obtidos pela medição. É o caso, por exemplo, das medições realizadas na aplicação do método da vazão mínima noturna (Gonçalves, 1998). Esse método permite conhecer os vazamentos na rede de distribuição, fornecendo elementos que orientam as ações de combate às perdas (BRASIL, 2004).

### **b) Perdas não físicas (aparentes)**

As perdas aparentes originam-se de ligações clandestinas ou não cadastradas, hidrômetros parados ou que submedem, fraudes em hidrômetros e outras, também conhecidas como perdas de faturamento, uma vez que seu principal indicador é a relação entre o Volume Disponível ao Sistema e o Volume Faturado<sup>4</sup>. (BRASIL, 2006).

Tsutiya (2004) observa que às perdas não físicas estão diretamente associadas aos recursos financeiros que a empresa deixa de receber por falta de faturamento de volumes de água consumidos. Entretanto, para o consumidor, a perda é um componente importante nas tarifas que ele paga, pois as companhias incorporam essas perdas na sua composição de preços.

As principais causas das perdas não físicas são: submedição, ligações clandestinas, fraudes, By-Pass e deficiência na área comercial (BRASIL, 2006).

A submedição ocorre quando o hidrômetro mede valores com indicação inferiores às reais, ou está parado. A submedição interfere nos indicadores de perdas, pois, apesar da água estar sendo fornecida ao usuário, em função desta medição incorreta, parte da água fornecida ao cliente, não será contabilizada (ALVES et al, 1999).

---

<sup>4</sup> Volume faturado: volume de água faturado pelo sistema comercial, correspondendo aos volumes medidos e estimados, mais os consumos mínimos cobrados, decorrentes de tarifa fixa.

As causas da submedição em hidrômetros são várias. Dentre as principais, os autores Santos et al (1999) e Alves et al (1999) destacam:

- Instalação inadequada dos medidores: Os medidores são instalados desprotegidos. Como equipamento de medição e precisão, esses medidores precisam ser instalados com dispositivos de proteção contra intempéries e depredações;
- Dimensionamento incorreto dos medidores: os hidrômetros subdimensionados fora da faixa de trabalho apresentam menor sensibilidade na medição, podendo deixar de registrar pequenas vazões;
- Desgastes dos mecanismos internos dos medidores: com o tempo há o desgaste dos componentes internos dos hidrômetros (mecanismos de relojoaria mecânica), e por isso é necessária a manutenção preventiva e corretiva, para garantir a margem de erro tolerável;
- Incrustações das paredes internas dos medidores: os sais minerais presente na água tendem a incrustar dentro do hidrômetro, no mecanismo móvel interno, prejudicando e alterando seu funcionamento.

Segundo Sato (2000) define como fraude “toda ocorrência de furto de água ou intenção evidente de reduzir o volume que deveria ser faturado”. O autor define as seguintes situações como fraude:

- By-pass: ligação hidráulica paralela que evita a passagem da água pelo hidrômetro;
- Hidrômetro invertido: situação em que o hidrômetro é retirado e trocado de posição durante um certo período de tempo, reduzindo, desta forma, o volume consumido;

- Cúpula furada e com mecanismo de travamento da relojoaria: é introduzido um pedaço de arame, prego ou outro dispositivo com a finalidade de travar o giro do dispositivo da relojoaria;
- Danificação do hidrômetro pelo usuário: quebra ou danificação do hidrômetro para impedir a medição;
- Ligação irregular: caso em que o usuário reativa, sem autorização da empresa, uma ligação cortada;
- Violação do lacre: a violação e retirada do lacre de proteção do aparelho possibilita várias atividades irregulares, como a inversão do sentido do hidrômetro ou a colocação de diversos materiais no interior do hidrômetro, que irão paralisar a turbina (fio, fio de cabelo, canudinho plástico, arame, linha de aço etc.).

Para Sato (2000), a eficiência do setor comercial é fundamental para redução das perdas. Por meio do processo de faturamento e cobrança, será levantado o volume de água a ser faturado pela empresa. E para isso é necessário que se priorizem:

- Instalação de micromedição em 100% das ligações;
- O dimensionamento correto do hidrômetro para o consumo do cliente;
- O acompanhamento e a leitura das contas;
- A política de corte de ligações de forma rigorosa e constante, para clientes inadimplentes;
- Uma política eficiente para punição para fraudes em ligações;
- Um cadastro atualizado e confiável dos clientes.

A setorização é fundamental para o controle de perdas em sistemas de abastecimento de água. De acordo com Tamaki, Silva e Gonçalves (2006), os principais objetivos a serem alcançados com a setorização são:

- Domínio do consumo de sistemas específicos, permitindo seu acompanhamento e controle;
- Economia de recursos financeiros e/ou do bem água, com a minimização dos danos causados pelas perdas e usos excessivos apontados pelo levantamento do perfil de consumo (vazamentos, por exemplo); e
- Possibilidade de cobrança pela água consumida pelos usuários.

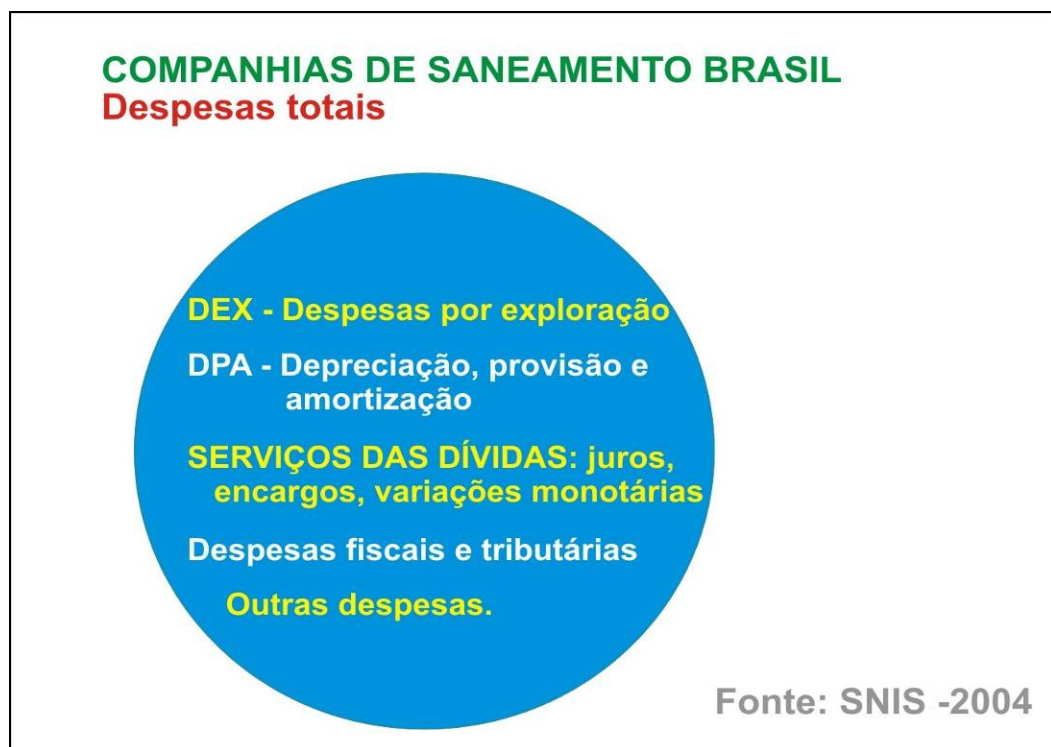
Em Brasil (1999), a setorização é citada como requisito básico para o controle de sistemas de abastecimento de água. Tsutiya (2004) reforça essa necessidade quando sugere os distritos pitométricos como unidade de controle operacional, enfatizando, entre outros, a necessidade de isolamento da rede.

### 3.4.1 Perdas de Energia Elétrica

A perda de energia elétrica está relacionada diretamente com as perdas de físicas de água em sistemas de abastecimento de água (BRASIL, 2006).

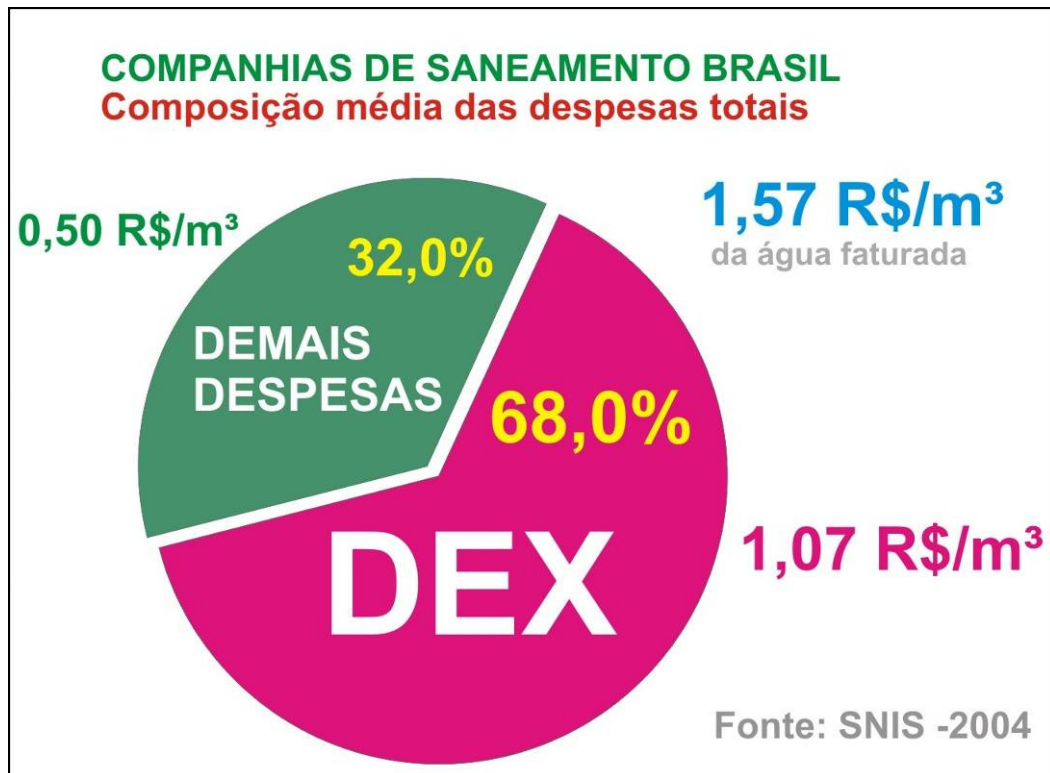
Segundo o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, as despesas totais com a produção de água nas Companhias de saneamento são:

- DEX - despesas por exploração;
- DPA – depreciação, provisão e amortização;
- Serviços de dívidas – juros, encargos, variações monetárias;
- despesas fiscais e tributárias e outras despesas, conforme apresentado no Desenho 17.



Desenho 17 – Despesas totais com a produção de água nas Companhias de saneamento do Brasil.  
Fonte: Brasil (2004).

O custo médio total para produção de água é de 1,57 R\$/m<sup>3</sup> em relação ao volume de água faturado. As despesas com exploração representam em média 68% desse valor, ficando em 1,07 R\$ para cada metro cúbico de água faturado, conforme apresentado no Desenho 18 (BRASIL, 2004).

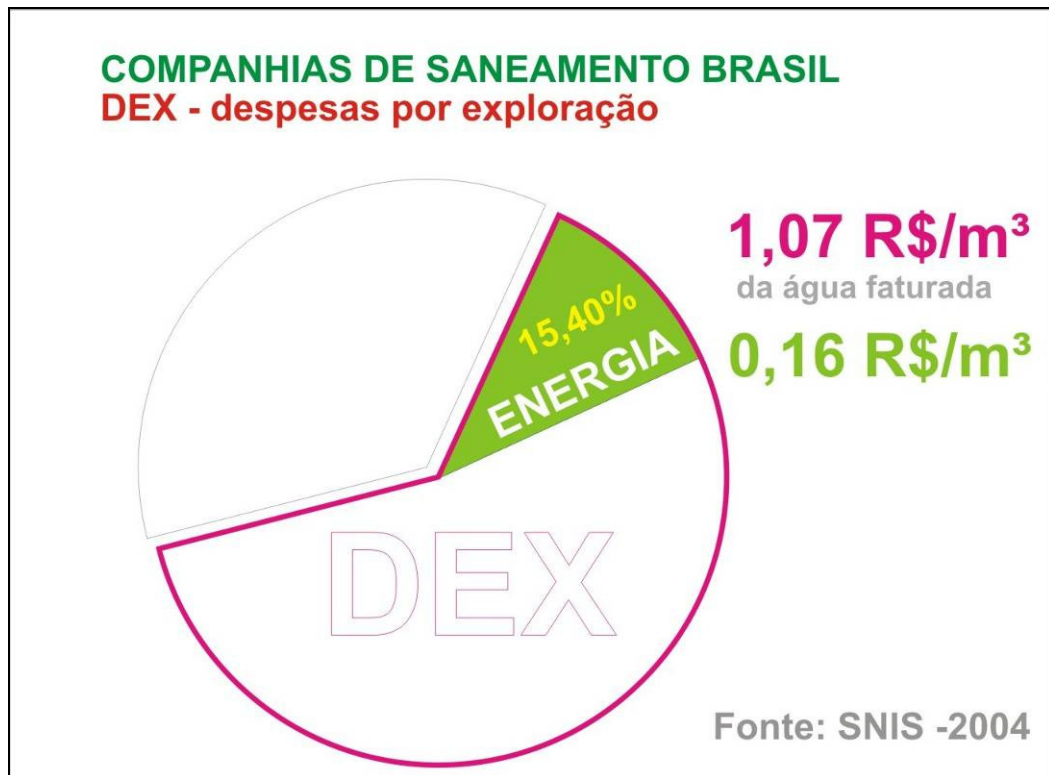


Desenho 18 – Valor e percentual médio com as despesas com exploração de água nas Companhias de saneamento do Brasil.  
Fonte: Brasil (2004).

O Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento também revelou que para cada metro cúbico de água bombeado se gasta R\$ 0,16 com energia elétrica, o que equivale em média a 15,40% das despesas com exploração de água.



No Desenho 19 é apresentado o custo médio com a despesa de energia elétrica em relação às despesas com exploração nas Companhias de saneamento do Brasil.



Desenho 19 – Despesas com energia elétrica nas Companhias de saneamento do Brasil.  
Fonte: Brasil (2004).

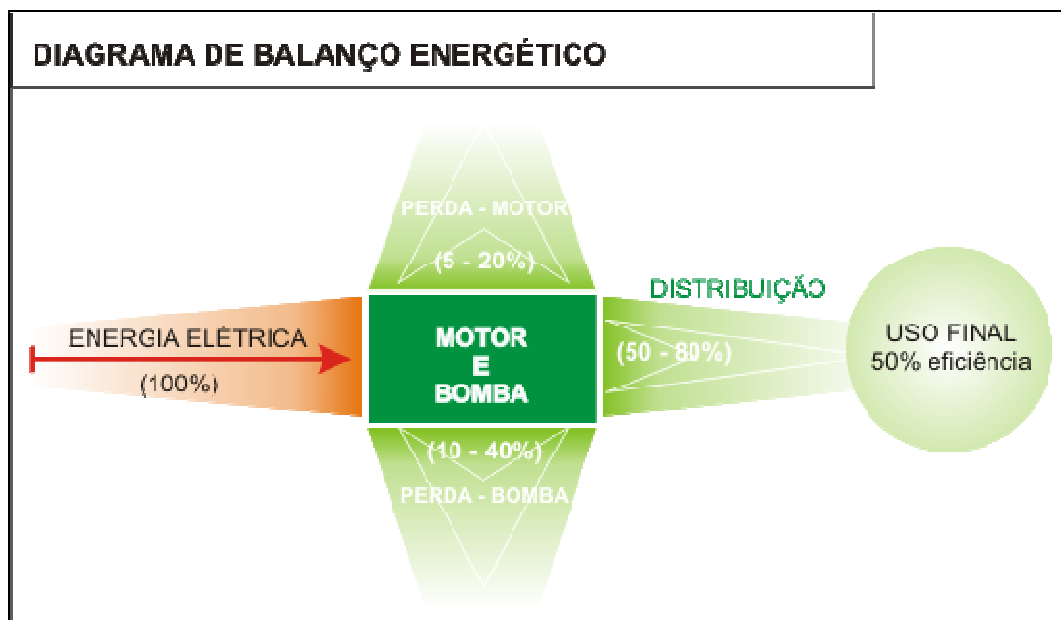
De 2 e 3% do consumo de energia do mundo são usados no bombeamento e tratamento de água para residências urbanas e industriais. O consumo de energia, na maioria dos sistemas de água em todo o mundo, poderia ser reduzido em pelo menos 25%, por meio de ações de eficiência com melhor desempenho. A cidade de Indore, na Índia, por exemplo, economizou US\$ 35.000 no primeiro trimestre de atividades, sem nenhum custo de investimento, apenas melhorando o funcionamento das bombas já existentes (INSTITUTE...,2007).

As companhias municipais do mundo apresentam as seguintes limitações: seus gerentes, freqüentemente, não têm o conhecimento técnico ou a capacidade necessária para aproveitar as numerosas oportunidades de eficiência e não

dispõe de instrumentações para medição e monitoramento de parâmetros para identificar oportunidades de melhorias de seus sistemas (INSTITUTE...,2007).

Tsutiya (2001) observa que para reduzir o custo de energia elétrica em um sistema de abastecimento de água há necessidade de implementar várias ações, iniciando-se com um diagnóstico do sistema existente, principalmente com a identificação dos pontos de uso excessivo de energia. Em seguida, normalmente são realizadas algumas ações administrativas, objetivando a redução de custos, e nesse caso não necessita de investimento e por outro lado, não há redução do consumo de energia elétrica.

Centrais Elétricas Brasileiras (2005a) indica como de fundamental importância a elaboração de um balanço energético envolvendo todas as etapas do processo de produção de água nos sistemas de abastecimento de água, a fim de identificar perdas que reduzem a eficiência, reconhecendo assim um ponto de partida para identificar as oportunidades de implementação de ações de melhorias da eficiência. No Desenho 20 são apresentadas as perdas médias de energia elétrica em um sistema de bombeamento e distribuição.



Desenho 20 – Balanço energético em sistemas de bombeamento de água.  
Fonte: Adaptado de CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS (2005a).

De acordo com Centrais Elétricas Brasileiras (2005a) são duas as formas de se otimizar o custo com o uso da energia elétrica no funcionamento dos motores

que impulsionam as bombas que pressurizam os sistemas de abastecimento de água:

A primeira delas, direta, consiste em utilizar instalações adequadas do ponto de vista da hidráulica, isto é:

- Utilizar tubulações com diâmetros bem dimensionados;
- Manter a tubulação em bom estado de conservação quanto à rugosidade
- Trabalhar com arranjos de concepção de projeto e de operação que sejam norteados pela melhor setorização das zonas de pressão, evitando-se o desperdício com altas pressões na rede, que, além de tudo, são um fator de indução de perdas hidráulicas reais e que se traduzem, em última análise, em ineficiência energética;
- Variar a velocidade dos motores elétricos de modo a adequar o ponto de funcionamento da bomba ao seu máximo rendimento, conforme a demanda varie (procedimento mais usual em abastecimento em marcha);
- Escolher o conjunto moto-bomba com melhor rendimento para o ponto de trabalho desejado (pode parecer óbvio, mas é um ponto importante e, de certa forma, trabalhoso quando se verifica o funcionamento para as diversas condições possíveis de operação).

E a segunda, que não economiza propriamente energia em quantidade, mas em qualidade, consiste em evitar ou reduzir o consumo energético nas horas de ponta (horas em que o sistema produtor/distribuidor da concessionária de energia elétrica é mais demandado pelos clientes), possibilitando: a) à concessionária melhor equilíbrio do seu sistema e b) ao operador do serviço de abastecimento de água uma economia de recursos financeiros, na medida em que as concessionárias incentivam esse procedimento por intermédio de sua estrutura tarifária diferenciada.

Isso pode ser conseguido mediante um arranjo adequado entre produção (vazão de bombeamento) e reservação, de modo que a paralisação ou redução da vazão bombeada em determinadas horas possa ser feita sem prejuízo do abastecimento, cuja curva de demanda horária precisa ser conhecida para que o projetista ou analista operacional possa contar com essa oportunidade de efficientização energética.

Em qualquer das situações abordadas anteriormente, uma análise da viabilidade econômica deve ser efetuada, uma vez que o investimento a ser feito para se conseguir a redução do consumo de energia pode, eventualmente, não compensar a redução da despesa com a energia elétrica.

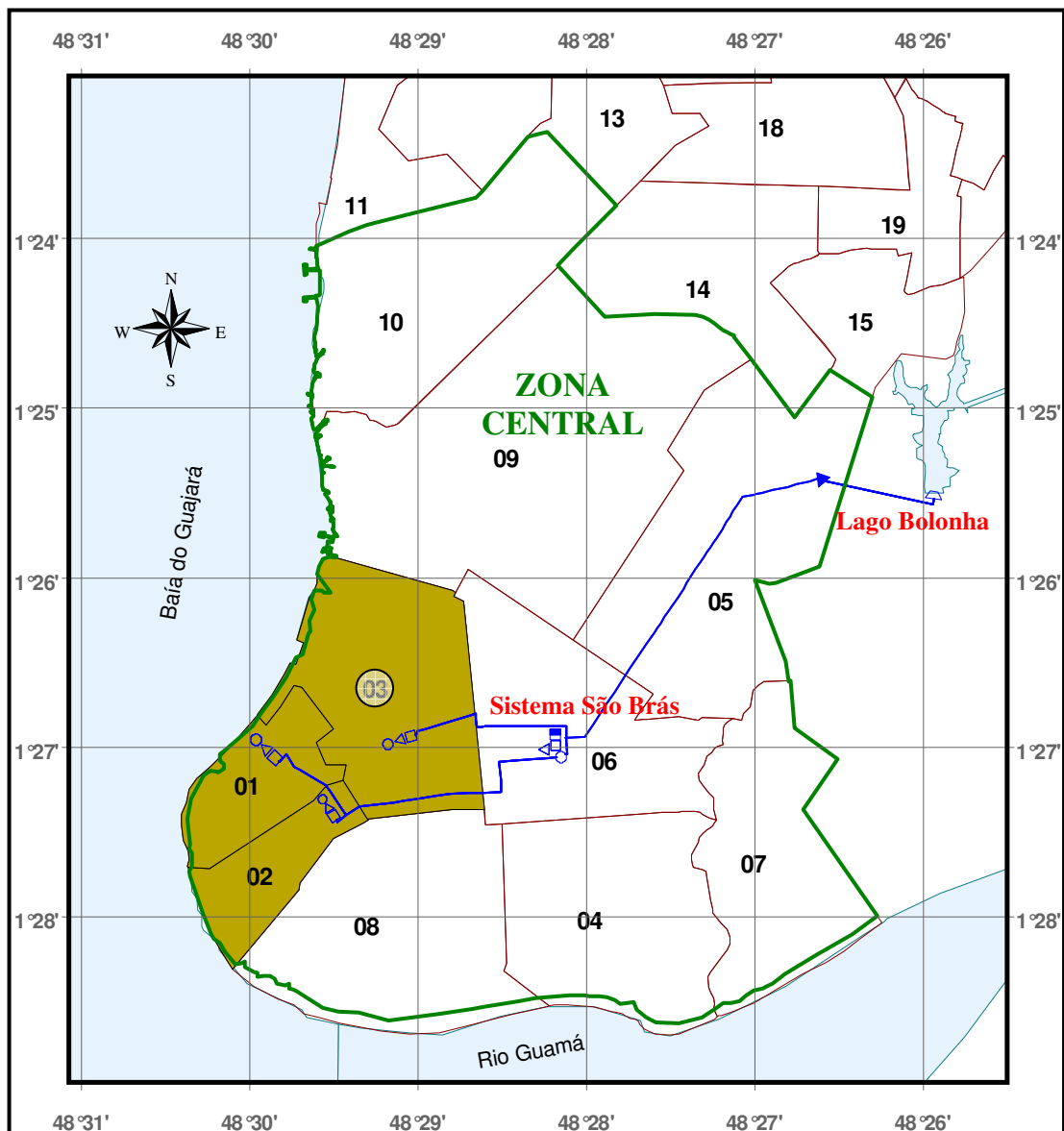
A capacitação técnica deve ser entendida como uma ferramenta capaz de fornecer conceitos técnicos e transmitir informações e tecnologias que incentivem aqueles que estão sendo capacitados a refletir sobre os temas discutidos e aplicar esses conceitos no desenvolvimento de suas atividades no trabalho.

Nesse sentido, a Eletrobrás, juntamente com os Ministérios da Cidades, criaram e estão executando uma estratégia para redução de custos e consumos de energia elétrica no setor saneamento. Essa estratégia consiste em montar nas cinco regiões do Brasil um laboratório de eficiência e hidráulica em saneamento. Esses laboratórios serão laboratórios de referência regional.

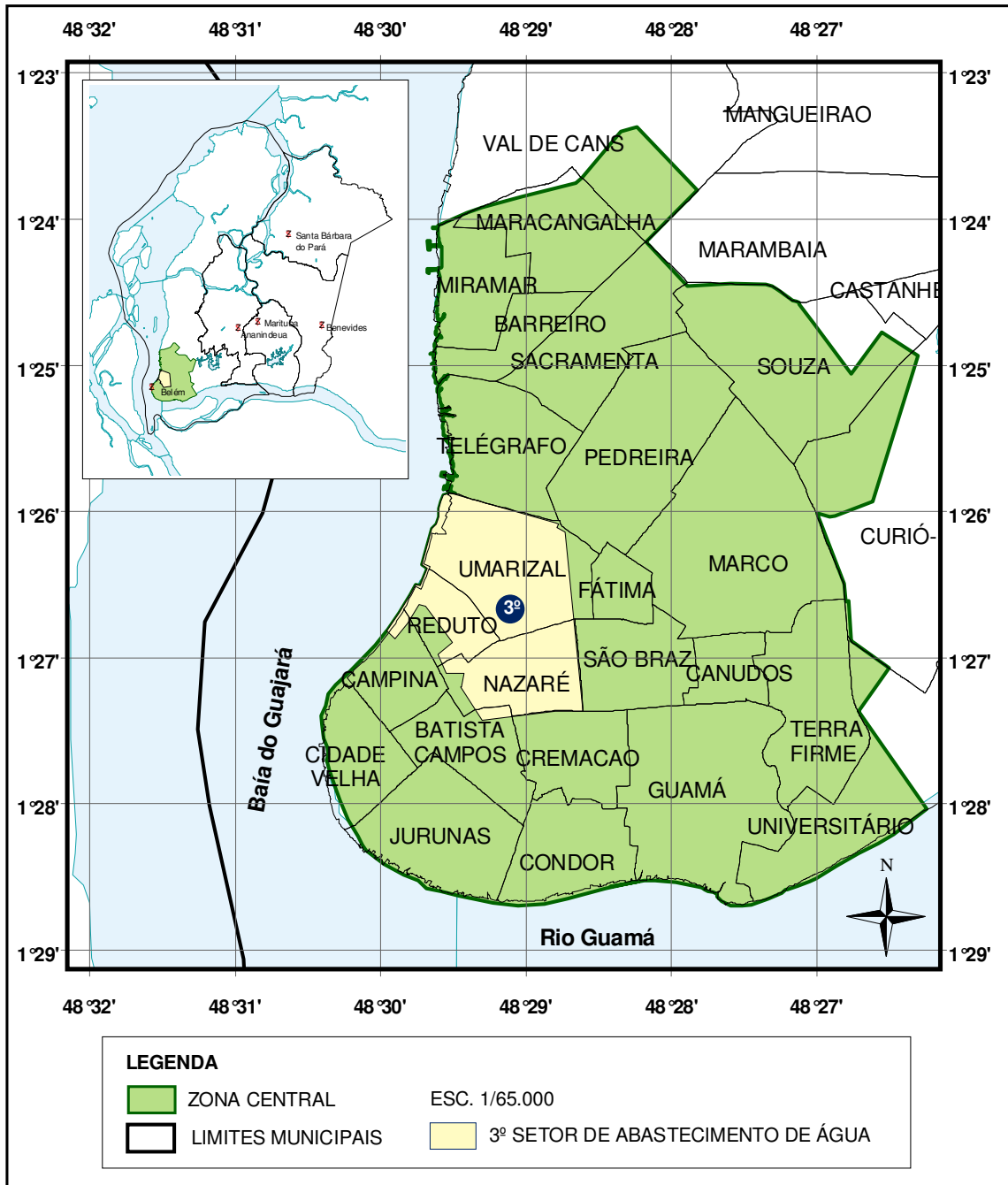
## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 ÁREA DE ESTUDO

O trabalho foi realizado no 3º Setor da Região Metropolitana de Belém, que integra o Sistema Utinga São Braz e responde pela distribuição diária de 34.581 m<sup>3</sup> de água para 94.289 habitantes dos bairros Reduto, Nazaré e Umarizal, localizados na Zona Central do município de Belém – Pará, conforme mostrado no Mapa 1 e no Mapa 2.



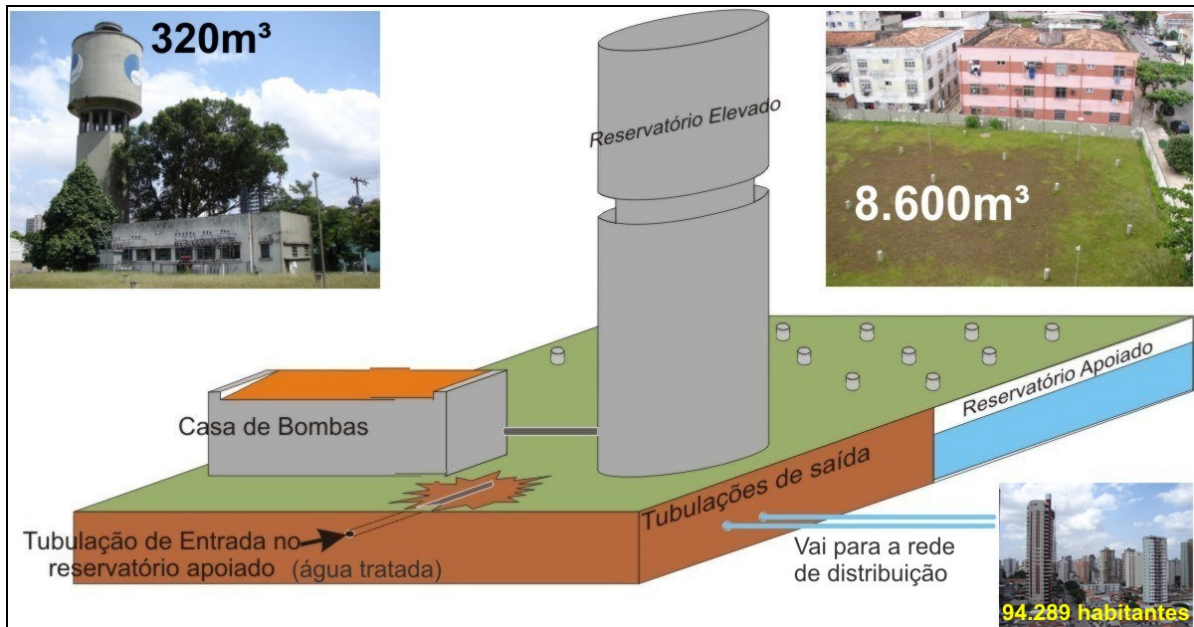
Mapa 1 – Sistema de abastecimento de água Utinga São Braz e localização do 3º setor na Zona Central da Região Metropolitana de Belém.



Mapa 2 – Bairros abastecidos pelo 3º Setor de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém.

A água do Lago Bolonha é aduzida até a estação elevatória de água bruta da ETA São Braz e, então, recalçada para o 1º, 2º e 3º setor de abastecimento de água da Zona Central.

As unidades que integram o 3º setor são: 01 reservatório apoiado de 8.600 m<sup>3</sup>, 01 elevatória com capacidade de 2.604 m<sup>3</sup>/h e 01 reservatório elevado de 320 m<sup>3</sup>, conforme apresentado no layout na Desenho 21.



Desenho 21 – Layout das unidades reservação e elevação do 3º Setor de abastecimento de água da COSANPA.

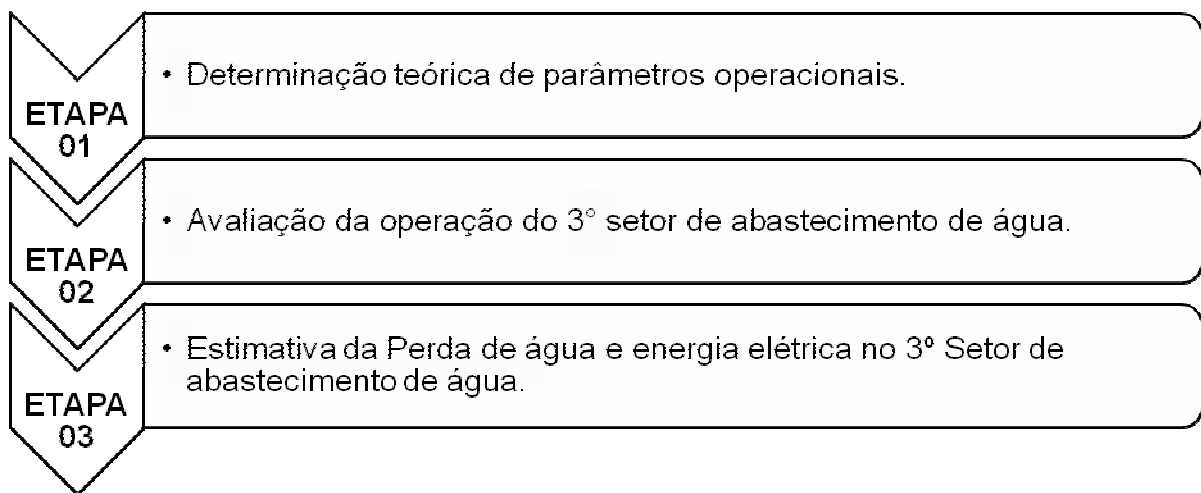
Essas unidades estão localizadas na Rua João Balbi, esquina com a Rua Dom Romualdo de Seixas, conforme mostrado na Fotografia 7.



Fotografia 7 – Localização das Unidades de reservação e elevação do 3º setor da Região Metropolitana de Belém.

## 4.2 ETAPAS DA PESQUISA

A pesquisa foi desenvolvida no período de janeiro a dezembro de 2006, tendo 3 etapas. A primeira etapa teve como objetivo a determinação teórica de parâmetros operacionais para possibilitar a comparação com os parâmetros obtidos na etapa 2, na qual foram desenvolvidas atividades de monitoramento das unidades de reservação e de elevação de água. Na terceira foram estimadas as perdas de água e energia elétrica no 3º Setor. No estão representadas as três etapas da pesquisa.



Esquema 3 – Etapas de desenvolvimento da pesquisa.

### 4.2.1 Etapa 1 - Determinação teórica de parâmetros operacionais

O termo teórico conota que o sistema de abastecimento de água estaria operando sob as condições ideais de projeto, sendo nessa etapa calculado: o “consumo efetivo teórico de água” (demanda média), o “consumo efetivo teórico de água” para o dia de maior demanda, o “consumo efetivo teórico de água” para o dia e hora de maior demanda, os volumes de reservação, a potência de operação dos CMBs e o consumo de energia teórica.

No caso do “consumo efetivo de água”, foi considerando que para o 3º setor cada pessoa abastecida utilizaria 200 litros de água por dia. Em relação ao



“consumo teórico de energia elétrica”, foram considerados: vazão de projeto, altura manométrica teórica e rendimento teórico das bombas e dos motores.

Esses consumos foram utilizados como referência na avaliação dos dados e informações operacionais, primários ou secundários, obtidos das unidades de reservação, elevação e distribuição do 3º Setor de abastecimento de água na etapa 2.

#### **4.2.2 Etapa 2 - Avaliação da operação do 3º SAA**

A avaliação da operação do 3º setor de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém foi dividida em 3 fases, sendo:

##### ***Fase 1 - Monitoramento da operação do reservatório apoiado***

O objetivo desta fase foi o acompanhamento, por 48 horas consecutivas, da operação do reservatório apoiado, sendo verificada a variação do nível d'água do reservatório apoiado, a reservação de água mantida rotineiramente na unidade e a instrumentação disponibilizada para controle do nível d'água e das vazões de entrada e saída do reservatório.

Nessa fase também foram analisadas as planilhas de controle operacional da COSANPA referentes ao mês de agosto de 2006, especialmente os dados relacionados com o nível do reservatório apoiado.

##### ***Fase 2 - Monitoramento da operação da estação elevatória***

O monitoramento das atividades operacionais da estação elevatória do 3º setor foi realizado durante 48 horas consecutivas, sendo verificado:

- a) O funcionamento dos CMBs a cada hora. Essa atividade foi realizada registrando-se a hora de acionamento ou desligamento dos motores;

b) A tensão e corrente elétrica nos CMBs instalado analisador de energia tipo MI 2192 METREL, configurado para registrar, de um em um minuto, os valores de tensão e de corrente durante a operação;

c) O consumo de energia elétrica a cada hora. Os dados de tensão e corrente foram convertidos em potência e energia kWh, e obtidos os valores médios para cada hora.

Nessa fase também foram analisadas as planilhas de controle operacional da COSANPA referentes ao mês de agosto de 2006, especialmente as informações de horário de funcionamento dos CMBs.

Finalizado essa fase foram analisadas as planilhas de controle mensal da COSANPA referentes à distribuição de água e ao consumo de energia elétrica no 3º setor do período de outubro de 2005 a setembro de 2006.

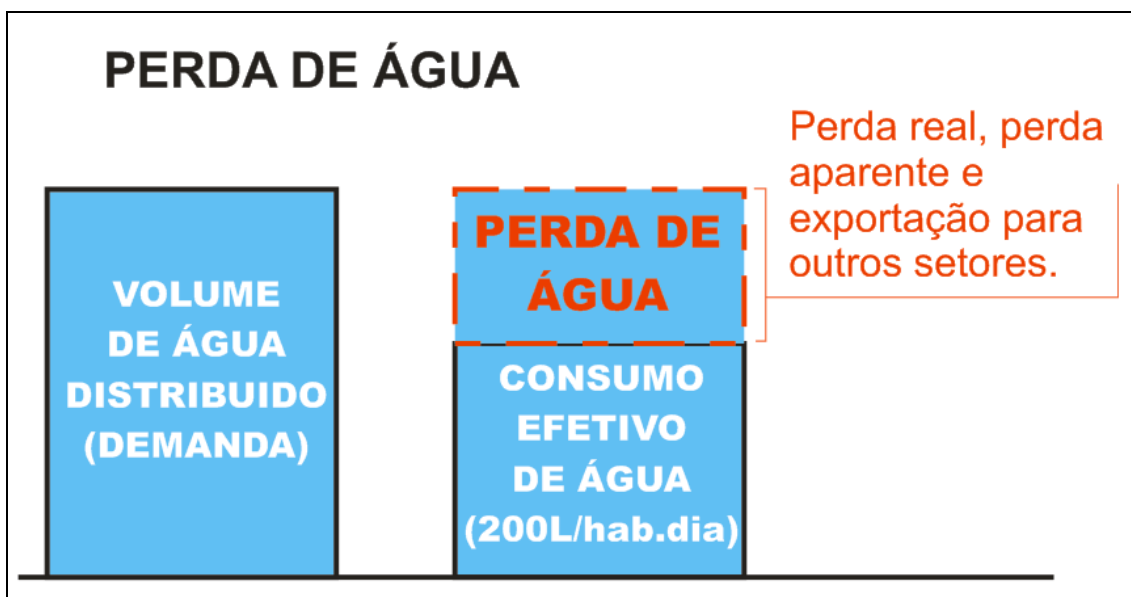
### ***Fase 3 - Monitoramento da operação do reservatório elevado***

Nesta fase foi realizado o acompanhamento, por 48 horas consecutivas, da operação do reservatório elevado, sendo verificada a variação do nível da lâmina líquida, a reservação de água na unidade e a instrumentação disponibilizada para controle do nível d'água e das vazões de entrada e saída do reservatório. Também foi obtido o hidrograma de vazão.

Nessa fase também foram analisadas as planilhas de controle operacional da COSANPA referentes ao mês de agosto de 2006, especialmente os dados relacionados com o nível do reservatório elevado.

### 4.2.3 Etapa 3 – Estimativa da Perda de água e energia no 3° SAA

Neste estudo, foi definida como perda de água a diferença entre o “volume de água distribuído” e o “consumo efetivo teórico de água”. O volume correspondente ao “consumo efetivo teórico de água” foi calculado com base na população abastecida no 3° setor no ano de 2006, considerando um per capita líquido (consumo efetivo) de 200 L/hab.dia, conforme apresentado no Esquema 4



Esquema 4 – Definição de perda de água em sistema de abastecimento de água.

Os dados das vazões distribuídas foram obtidos do setor de pitometria da COSANPA, e foram referentes ao período de outubro de 2005 a setembro de 2006.

O consumo de energia na estação elevatória foi determinado por meio da instalação de um analisador de qualidade de energia tipo MI 2192 METREL em um dos 3 CMBs, no caso o CMB-01. Os dados de tensão e corrente, obtidos para um período de 48 horas consecutivas de operação do CMB-01, possibilitaram o cálculo da energia consumida, a qual foi extrapolada para os dois outros conjuntos motor e bomba.

O consumo de energia tem relação direta com o volume de água que é bombeado na estação elevatória. Nesse sentido, a perda de energia foi estimada em função do “volume de água perdido” no sistema de abastecimento de água do 3°

Setor, e da relação “kWh/m<sup>3</sup>” obtida na segunda fase da Etapa 2 no monitoramento da operação da estação elevatória.

Nesta etapa também foram estimados os custos com a produção de água, especialmente os custos com o consumo de energia elétrica. Esses valores foram calculados com base nos dados obtidos das planilhas de controle mensal da COSANPA

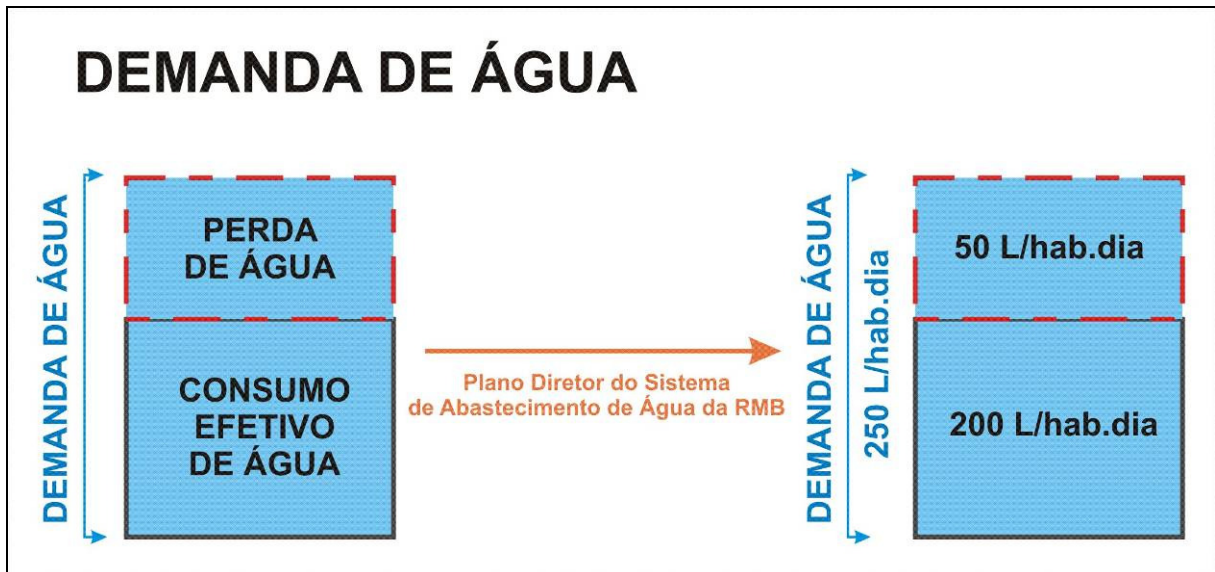
## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 DETERMINAÇÃO TEÓRICA DE PARÂMETROS OPERACIONAIS

Nessa etapa foram calculados o consumo efetivo teórico de água e consumo teórico de energia elétrica. Esses consumos foram determinados considerando que o sistema de abastecimento de água do 3º setor estaria operando sob as condições ideais de projeto, sendo adotados os seguintes parâmetros:

- a) Abastecimento de toda população no ano de 2006: 94.289 habitantes;
- b) Consumo per capita efetivo: 200 L/hab.dia;
- c) Coeficiente do dia de maior demanda:  $K1 = 1,20$ ;
- d) Coeficiente do dia e hora de maior demanda:  $K1 = 1,50$
- e) Funcionamento dos CMBs: 16 horas diárias;
- f) Aceleração da gravidade:  $9,80 \text{ m/s}^2$ ;
- g) Operação dos CMBs: 2+1 (dois CMBs operando, e um CMB reserva);
- h) Coeficiente de Hazen Willans:  $C=100$  (tubo velho) e  $C=140$  (tubo novo).

Vale observar que a soma dos valores do consumo efetivo e das perdas resulta na demanda de água, que no Plano diretor do sistema de abastecimento de água da RMB, por exemplo, é de 250 l/hab.dia, conforme é representado no Esquema 5.



Esquema 5 – Definição de demanda de água em sistema de abastecimento, segundo o Plano diretor do sistema de abastecimento de água da RMB.

Fonte: Pereira (2006).

### 5.1.1 Consumo efetivo teórico de água

a) Consumo efetivo teórico médio de água (consumo médio):  $Q_{T_m}$

No cálculo do consumo efetivo teórico de água foi utilizada a seguinte

equação:  $Q_{T_m} = \frac{P \cdot q}{86.400}$ , sendo:

$Q_{T_m}$  = consumo efetivo teórico de água médio em L/s

$P$  = população em habitantes

$q$  = consumo per capita em L/hab.dia.

Na Quadro 3 é apresentado o “consumo efetivo teórico de água médio” no 3º setor de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém.

Memória de cálculo	
População abastecida (habitantes)	94.289
Consumo per capita efetivo (l/hab.d )	200
<b>Consumo efetivo teórico de água (l/s)</b>	<b>218,26</b>
<b>Consumo efetivo teórico de água (m³/h)</b>	<b>785,74</b>
<b>Consumo efetivo teórico de água (m³/mês)</b>	<b>565.733</b>

Quadro 3 – Cálculo do consumo efetivo teórico de água médio no 3º setor da RMB.

b) Consumo efetivo teórico de água para o dia de maior consumo:  $Q_{Td}$

No cálculo do consumo efetivo teórico de água foi utilizada a seguinte equação:  $Q_{Td} = \left( \frac{P \cdot q}{86.400} \right) \cdot K_1$ , sendo:

$Q_{Td}$  = consumo efetivo teórico de água médio em L/s;

$P$  = população em habitantes;

$q$  = Consumo per capita em L/hab.dia;

$K_1$  = Coeficiente do dia de maior demanda.

Na Quadro 4 é apresentado o “consumo efetivo teórico de água” para o dia de maior demanda no 3º setor de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém.

<b>Memória de cálculo</b>	
População abastecida (habitantes)	94.289
Consumo per capita efetivo (l/hab.d)	200
Coeficiente do dia de maior demanda	1,20
<b>Consumo efetivo teórico de água (l/s)</b>	<b>261,91</b>
<b>Consumo efetivo teórico de água (m³/h)</b>	<b>942,89</b>

Quadro 4 – Cálculo do consumo efetivo teórico de água para o dia de maior consumo no 3º setor da RMB.

c) Consumo efetivo teórico de água para o dia e a hora de maior consumo:  $Q_{Tdh}$

No cálculo do consumo efetivo teórico de água foi utilizada a seguinte equação:  $Q_{Tdh} = \left( \frac{P \cdot q}{86.400} \right) \cdot K_1 \cdot K_2$ , sendo:

$Q_{Tdh}$  = consumo efetivo teórico de água médio em L/s

$P$  = população em habitantes

$q$  = Consumo per capita em L/hab.dia;

$K_1$  = Coeficiente do dia de maior demanda;

$K_2$  = Coeficiente do dia e hora de maior demanda.

Na Quadro 5 é apresentado o “consumo efetivo teórico de água” para o dia e hora de maior demanda no 3º setor de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém.

<b>Memória de cálculo</b>	
População abastecida (habitantes)	94.289
Consumo per capita efetivo (l/hab.d)	200
Coeficiente do dia de maior demanda	1,20
Coeficiente do dia e hora de maior demanda	1,50
<b>Consumo efetivo teórico de água (l/s)</b>	<b>392,87</b>
<b>Consumo efetivo teórico de água (m³/h)</b>	<b>1.414,34</b>

Quadro 5 – Cálculo do consumo efetivo teórico de água para o dia de maior demanda no 3º setor da RMB.

Para fins de determinação das perdas de água e energia no 3º Setor, o “consumo efetivo teórico de água” será igual a 785,74 m³/h (consumo efetivo teórico médio de água).

d) Volume de reservação (reservatório apoiado e elevado)

A determinação do volume mínimo de água do reservatório apoiado e elevado para 3º Setor foi realizada por dois métodos, sendo:

- **Método do consumo assimilado a uma senóide**

Neste método, o volume de reservação foi calculado por meio da seguinte

equação:  $V_{res} = \left( \frac{K_2 - 1}{\pi} \right) \times (24 \cdot K_1 \cdot Q_{T_m})$ , sendo

$V_{res}$  = Volume de reservação em m³;

$Q_{T_m}$  = Consumo efetivo teórico de água médio, em m³/h.

O cálculo do volume do reservatório apoiado e do reservatório elevado foi realizado seguindo as recomendações da norma da ABNT NBR 12.217/94, ou seja, foram considerados 2/3 e 1/3 do volume para os reservatórios apoiado e elevado, respectivamente, conforme mostrado na Quadro 6.



<b>Memória de cálculo</b>	
Consumo efetivo teórico de água médio, em m <sup>3</sup> /h	785,74
Coeficiente do dia de maior demanda	1,20
Coeficiente do dia e hora de maior demanda	1,50
$\left(\frac{K_2 - 1}{\pi}\right)$	0,16
$(24 \cdot K_1 \cdot Q_{méd})$	22.629,36
<b>Vres (Volume total de reservação, em m<sup>3</sup>)</b>	<b>3.601,68</b>
- Volume do reservatório apoiado, em m <sup>3</sup>	<b>2.401,12</b>
- Volume do reservatório elevado, em m <sup>3</sup>	<b>1.200,56</b>

Quadro 6 – Volume dos reservatórios apoiado e elevado do 3º setor de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém, calculados com base no “método do consumo assimilado a uma senoide”.

- **Recomendações na norma da ABNT NBR 12.217/94**

Na NBR 12.217/94 é recomendado um acréscimo de 20% ao volume de reservação total calculado no pelo “método do consumo assimilado a uma senoide”. Portanto, na Quadro 7 são apresentados os volumes de reservação dos reservatórios apoiado e elevado de acordo com tal recomendação.

<b>Memória de cálculo</b>	
<b>Vres (Volume total de reservação, em m<sup>3</sup>)</b>	<b>4.322,02</b>
- Volume do reservatório apoiado, em m <sup>3</sup> (2/3 do volume total)	<b>2.881,34</b>
- Volume do reservatório elevado, em m <sup>3</sup> (1/3 do volume total)	<b>1.440,67</b>

Quadro 7 – Volume de reservação para os reservatórios apoiado e elevado do 3º setor de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém.

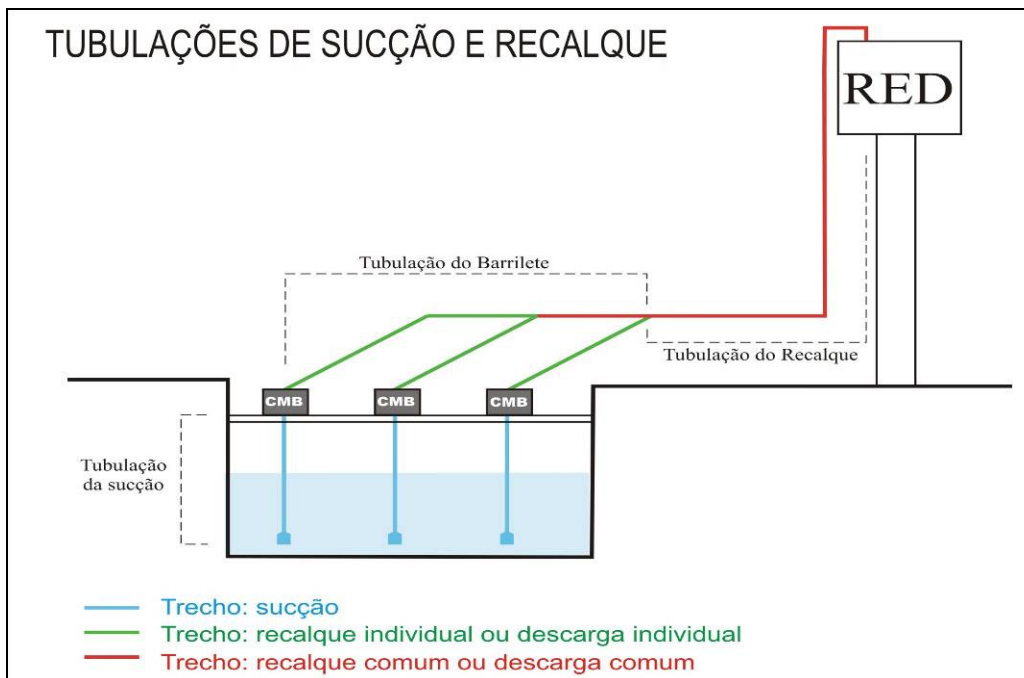
Portanto, o volume de reservação teórico para atender o 3º setor é de 4.322,02 m<sup>3</sup>, sendo o volume do reservatório apoiado e do reservatório elevado de 2.881,34 e de 1.440,67 m<sup>3</sup>, respectivamente.

### 5.1.2 Consumo teórico de energia elétrica

O cálculo do “consumo teórico de energia elétrica” foi precedido das determinações da altura manométrica do sistema de sucção e recalque da unidade elevatória e da potência nominal dos conjuntos motor e bomba.

### a) Determinação da altura manométrica

Na determinação da altura manométrica, os cálculos das perdas de cargas foram realizados considerando os trechos de sucção e as descargas individuais e comuns do barrilete da elevatória, conforme apresentado no Desenho 22.



Desenho 22 – Trechos do barrilete de sucção e recalque em estações elevatórias.

A determinação da altura manométrica foi realizada da seguinte forma:

- **Dados da unidade elevatória**

**Dados gerais**

Qd máx (L/s) =	261,91 (Consumo efetivo teórico de água dia de maior demanda)
N.º de CMBs =	03 (2+1)
Vazão 1 CMB (L/s) =	130,96
Vazão 2 CMBs (L/s) =	261,91
g (m/s <sup>2</sup> ) =	9,80

- **Dados da Sucção**

Vazão (L/s) =	130,96
Diâmetro (mm) =	350

Velocidade (m/s) = 1,36

- **Dados do Recalque**

Descarga individual

Vazão (L/s) = 130,96

Diâmetro (mm) = 350

Velocidade (m/s) = 1,36

Descarga cumum

Vazão (L/s) = 235,72 (90% de 261,91L/s)

Diâmetro (mm) = 450

Velocidade (m/s) = 1,48

- **Altura geométrica**

Condição mais desfavorável (maior desnível)

Altura geométrica máxima = 29,00

Condição mais favorável (menor desnível)

Altura geométrica máxima = 24,00

- **Perda de carga distribuída**

*Foi utilizada a equação de Hazen Willans e considerada apenas as perdas no trecho do recalque comum aos CMBs.*

Condição mais desfavorável (maior desnível)

Comprimento do trecho (m) =	30,00
Vazão no trecho (L/s) =	235,72
Diâmetro do trecho (mm) =	450
Coeficiente de Hazen Willans =	100
Perda carga unitária (m/m) =	0,007
Perda de carga no trecho (m)	0,21

Condição mais favorável (maior desnível)

Comprimento do trecho (m) =	30,00
Vazão no trecho (L/s) =	235,72

Diâmetro do trecho (mm) =	450
Coeficiente de Hazen Willans =	140
Perda carga unitária (m/m) =	0,004
Perda de carga no trecho (m)	0,11

• **Perda de carga localizada**

Foi utilizada a seguinte equação  $\Delta H_L = K \cdot \frac{V^2}{2g}$ , sendo:

$\Delta H_L$ , perda de carga localizada em metros;

$K$ , coeficiente de perda localizada da peça ou conexão (valor tabelado).

$V$ , velocidade do trecho, em m/s

Perda localizada na sucção

Determinação de "K"

. Curva 90° (1X) =	0,40
. Válv. de pé (1X) =	<u>5,00</u>
TOTAL =	5,40

Determinação de  $(V^2/2g)$

. $V^2/2g =$	0,095
--------------	-------

Perda de carga (m)

$$\Delta H_L = (5.40 \times 0.095) = 0,51$$

Perda localizada no recalque individual

Determinação de "K"

. Ampliação concêntrica 250/300 (1X) =	0,19
. Registro gaveta FF (1X) =	0,20
. Curva 45° FF (1X) =	<u>0,10</u>
TOTAL =	0,49

Determinação de  $(V^2/2g)$

. $V^2/2g =$	0,095
--------------	-------

Perda de carga (m)

$$\Delta H_L = (0.49 \times 0.095) = 0,05$$

Perda localizada no recalque comum

Determinação de "K"

. Curva 45° FF (1X) = 0,10

. Curva 90° FF (1X) = 0,40

. Saída (1x) = 1,00

TOTAL = 1,50

Determinação de (V<sup>2</sup>/2g)

. V<sup>2</sup>/2g = 0,112

Perda de carga (m)

$$\Delta H_L = (1.50 \times 0,138) = 0,17$$

• **Altura manométrica total**

Condição mais desfavorável

. Altura geométrica máxima = 29,00

. Perda distribuída total (m) = 0,21

. Perda localizada total (m) = 0,72

. Altura manométrica (m) = 29,94

Condição mais favorável

. Altura geométrica mínima = 24,00

. Perda distribuída total (m) = 0,11

. Perda localizada total (m) = 0,72

. Altura manométrica (m) = 24,84

b) Potência nominal e consumo de energia dos CMBs.

Para o cálculo da potência nominal dos CMBs foram considerados os seguintes parâmetros:

- Vazão a ser recalçada por 01 CMB = 130,96 L/s
- Altura manométrica (condição mais desfavorável) = 29,94 m
- Peso específico da água = 1.000 Kgf/m<sup>3</sup>
- Rendimento da bomba = 70%
- Rendimento do motor = 95%

#### Potência hidráulica (Cv) - Ph

No cálculo da potência hidráulica foi utilizado a seguinte equação:

$$P_h = \frac{\gamma \cdot Q \cdot ATM}{75}, \text{ sendo:}$$

$\gamma$  = peso específico da água, Kgf/m<sup>3</sup>;

$Q$  = vazão a ser recalçada por 01 CMB, em m<sup>3</sup>/s;

$ATM$  = Altura manométrica, em metros;

Portanto,

$$P_h = \frac{1.000 \cdot 0,13 \cdot 29,94}{75} = 52,27 \text{ CV}$$

#### Potência da bomba (Cv) - Pb

Na determinação da potência da bomba, considerou-se a seguinte

equação:  $P_b = \frac{P_h}{\eta_b}$ , sendo  $\eta_b$  o rendimento da bomba.

$$\text{Portanto, } P_b = \frac{52,27}{0,70} = 74,67 \text{ CV} \cong 54,89 \text{ kW}$$

Potência do CMB (CV) -  $P_{cmb}$

Na determinação da potência do CMB, considerou-se a seguinte

equação:  $P_b = \frac{P_h}{\eta_b \cdot \eta_m}$ , sendo  $\eta_b$  o rendimento da bomba, e  $\eta_m$  o

rendimento do motor.

$$\text{Portanto, } P_b = \frac{52,27}{(0,70 \cdot 0,95)} = 78,60 \text{ CV} \cong 57,77 \text{ kW} \cong 58 \text{ kW}$$

Consumo de energia (kWh)

O consumo de energia elétrica dos CMBs foi calculado por meio do produto da potência (em kWh) pelo número de horas de trabalho do CMB para os seguintes casos.

Os custos foram estimados, adotando-se o valor médio de 0,20 R\$/kWh (valor obtido dos relatórios mensais da COSANPA do mês de outubro de 2005 a setembro de 2006).

**Para operação de 01 CMB**

. Potência do CMB (kW) =	58
. Funcionamento (horas/dia) =	16
. Consumo diário (kWh) =	928
. Consumo mensal (kWh) =	27.840
. Custo R\$/mês	5.568 (0,)
. Consumo anual (kWh) =	334.080
. Custo R\$/ano	66.816

**Para operação de 02 CMB**

. Funcionamento (horas/dia) =	16
. Consumo diário (kWh) =	1.856
. Consumo mensal (kWh) =	55.680
. Custo R\$/mês	11.136

. Consumo anual (kWh) =	668.160
. Custo R\$/ano	133.632
. kWk/m <sup>3</sup>	0,08

No Quadro 8 são apresentados os parâmetros operacionais teóricos calculados para o 3° Setor.

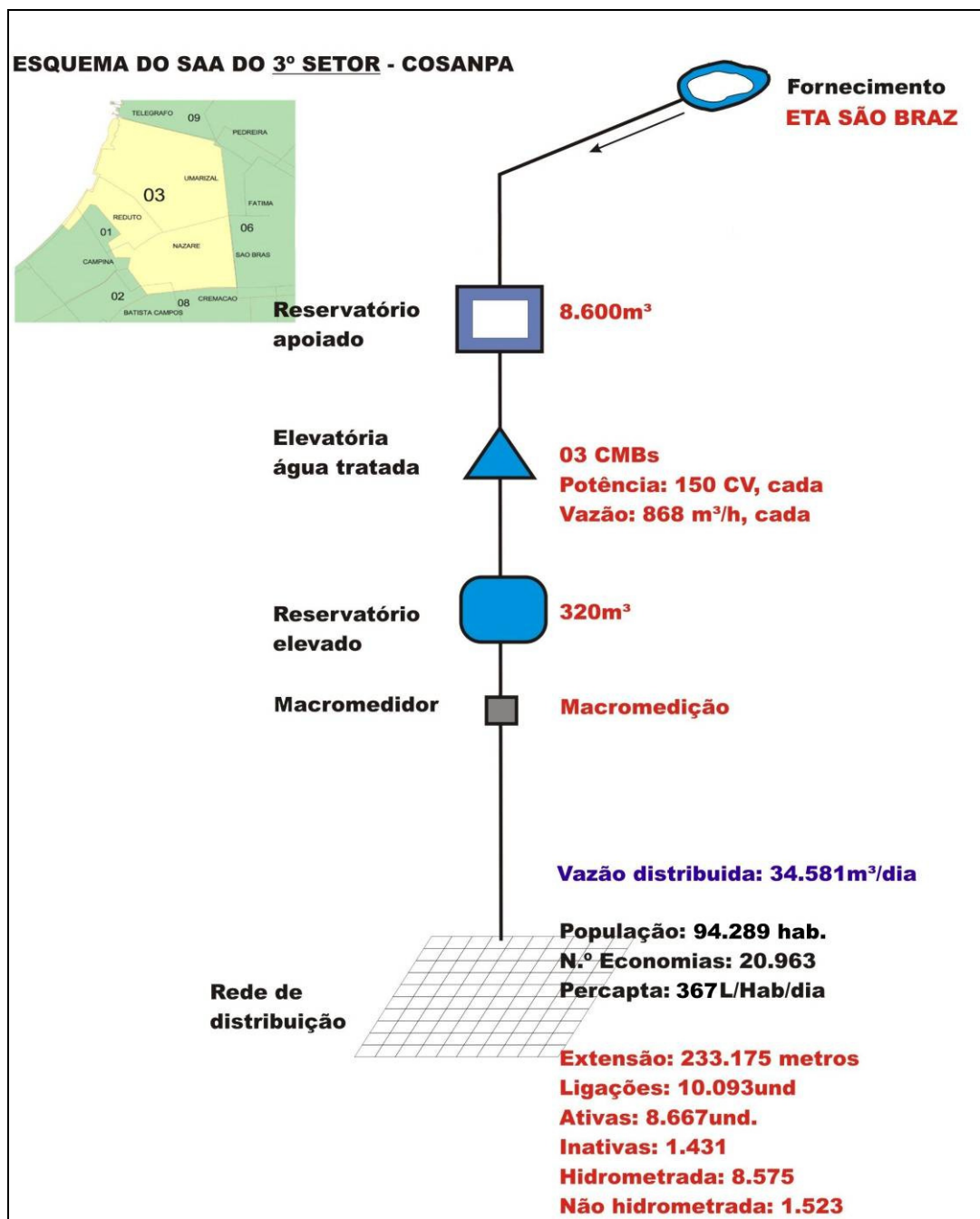
PARÂMETROS	VALORES
a) Consumo efetivo teórico de água médio, em m <sup>3</sup> /mês	565.733
b) <i>Volume total de reservação, em m<sup>3</sup></i>	4.322,02
- <i>Volume do reservatório apoiado, em m<sup>3</sup> (2/3 do volume total)</i>	2.881,34
- <i>Volume do reservatório elevado, em m<sup>3</sup> (1/3 do volume total)</i>	1.440,67
c) Potência do CMB (kW)	58
d) Funcionamento dos CMBs (horas/dia)	16
e) Consumo mensal de energia em kWh (considerando dois CMBs em operação)	55.680
f) Custo mensal com energia, em R\$ (considerando dois CMBs em operação)	11.136,00
g) Consumo de energia em kWh/m <sup>3</sup>	0,08

Quadro 8 – Parâmetros operacionais teóricos do 3° setor de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém.



## 5.2 MONITORAMENTO DA OPERAÇÃO DO 3º SETOR DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA.

O sistema de abastecimento de água do 3º setor da Região Metropolitana de Belém é esquematizado no Esquema 6.



Esquema 6 - 3º setor de abastecimento da Região Metropolitana de Belém, no ano de 2006.  
Fonte: Pereira (2006).

### 5.2.1 Reservatório apoiado.

O reservatório apoiado do 3º setor de abastecimento recebe água tratada da ETA – São Braz, tendo formato retangular, com estrutura em concreto armado, volume útil de 8.600 m<sup>3</sup> e altura útil da lâmina de água de 5,60m. Na Fotografia 8 é apresentada à imagem do reservatório apoiado do 3º setor.



Fotografia 8 - Reservatório apoiado do 3º setor de abastecimento de água da Zona Central

A falta de instrumentação necessária ao monitoramento dos parâmetros de controle observada no reservatório apoiado (medidores de vazão, sensores/transmissores de nível, válvulas de manobras) resulta na atual operação realizada predominantemente com atividades empíricas, baseadas apenas na experiência dos operadores.

A única instrumentação existente para o controle operacional do reservatório apoiado é a régua graduada, para medição do nível da lâmina líquida, apresentada na Fotografia 9 . Essa instrumentação é muito limitada, impossibilitando um contínuo acompanhamento da variação da lâmina líquida, o que seria importante no planejamento operacional.



Fotografia 9 – Régua graduada utilizada para medição do nível do reservatório apoiado

A variação do nível de água no reservatório elevado foi obtida por meio de dados e informações de “mapas de operação”<sup>5</sup> registrados pelos operadores no mês de agosto de 2006.

Na Tabela 1 são apresentados os valores da altura da lâmina líquida no reservatório apoiado baseada nas 24 horas dos dias do mês de agosto de 2006.

---

<sup>5</sup> Mapa de operação é um relatório diário utilizados pelos operadores para registrar dados operacionais.

Tabela 1 - Nível do reservatório elevado no primeiro e segundo dia de monitoramento

DIA	HORAS																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
01	3,70	3,90	4,10	4,30	4,50	4,40	4,30	4,30	4,20	4,10	4,00	3,80	3,60	3,40	3,20	2,90	2,60	2,40	2,30	2,20	2,10	2,00	2,30	2,60
02	2,40	3,00	3,30	3,70	4,10	4,10	4,10	4,00	3,90	3,80	3,60	3,40	3,30	3,10	2,80	2,70	2,50	2,40	2,30	2,20	2,20	2,10	2,40	2,70
03	3,10	3,50	4,00	4,50	5,00	5,20	5,20	5,20	5,00	4,80	4,50	4,20	3,90	3,60	3,30	3,10	2,90	2,70	2,50	2,30	2,20	2,00	2,20	2,70
04	4,20	3,70	4,10	4,60	5,00	5,00	4,90	4,80	4,70	4,50	4,30	4,10	3,90	3,70	3,50	3,40	3,20	3,10	3,00	2,90	2,80	3,00	3,60	3,90
05	4,20	4,50	4,80	5,10	5,30	5,00	4,90	4,80	4,60	4,30	3,90	3,70	3,50	3,30	3,10	3,00	2,90	2,70	2,50	2,40	2,40	2,30	2,60	3,00
06	3,30	3,60	3,90	4,20	4,50	4,50	4,50	4,50	4,40	4,10	3,90	3,70	3,60	3,50	3,30	3,20	3,10	3,00	2,90	2,80	2,80	2,70	2,90	3,30
07	3,70	4,10	4,50	4,90	5,30	5,20	5,20	5,00	4,80	4,60	4,30	4,10	3,90	3,70	3,50	3,30	3,00	2,80	2,60	2,40	2,20	2,00	2,40	2,80
08	3,30	3,80	4,30	4,80	5,20	5,10	5,00	4,90	4,70	4,30	4,00	3,70	3,50	3,20	3,00	2,70	2,50	2,30	2,50	2,40	2,40	2,30	2,70	3,10
09	3,40	3,80	4,00	4,20	5,00	5,00	4,90	4,80	4,70	4,40	4,10	3,80	3,50	3,20	3,00	2,80	2,60	2,40	2,70	3,30	4,10	4,00	3,90	3,70
10	4,00	4,30	4,70	5,00	5,30	5,20	5,20	5,10	5,00	4,90	4,60	4,30	4,00	3,90	3,70	3,50	3,30	3,10	3,00	2,90	2,70	2,60	3,00	3,20
11	3,60	4,00	4,30	4,60	5,00	4,80	4,60	4,30	4,00	3,80	3,60	3,40	3,30	3,10	3,00	2,90	2,80	2,70	2,60	2,50	2,50	2,40	2,90	3,30
12	3,60	3,60	4,90	4,90	5,10	5,40	5,40	5,40	5,40	5,30	5,10	4,80	4,50	4,30	4,10	4,00	3,90	3,80	3,70	3,60	3,60	3,60	3,50	4,00
13	4,20	4,40	4,60	4,90	5,10	4,90	4,90	4,90	4,90	4,80	4,70	4,60	4,50	4,40	4,30	4,10	3,90	3,70	3,50	3,50	3,50	3,40	3,40	3,70
14	4,00	4,30	4,70	5,00	5,30	5,30	5,30	5,30	5,10	4,80	4,60	4,30	4,00	3,70	3,50	3,30	3,10	2,90	2,70	2,80	2,80	2,70	2,90	3,10
15	3,40	3,70	4,00	4,40	4,80	4,80	4,70	4,60	4,50	4,30	4,10	3,90	3,70	3,50	3,40	3,20	3,10	3,00	2,90	2,80	2,80	2,70	3,00	3,30
16	3,60	4,00	4,30	4,60	5,00	4,90	4,70	4,50	4,30	4,00	3,80	3,60	3,30	3,10	2,90	2,60	2,40	2,30	2,20	2,10	2,10	2,10	2,40	2,70
17	3,10	3,60	4,00	4,50	5,00	5,00	5,00	4,80	4,70	4,30	4,10	3,90	3,70	3,50	3,20	3,00	3,70	2,40	2,20	2,20	2,20	2,20	2,80	3,40
18	3,80	4,20	4,50	4,80	5,10	5,00	4,90	4,80	4,60	4,40	4,20	3,80	3,60	3,50	3,40	3,20	3,00	2,90	3,00	2,70	2,80	2,70	3,10	3,50
19	3,80	4,10	4,40	4,70	5,00	5,00	4,90	4,80	4,70	4,50	4,20	4,00	3,80	3,70	3,60	3,50	3,50	3,40	3,40	3,40	3,50	3,60	3,70	3,80
20	4,00	4,30	4,60	4,90	5,30	5,30	5,30	5,20	5,10	5,00	4,90	4,70	4,50	4,40	4,30	4,20	4,10	4,00	3,90	3,80	3,80	3,70	3,70	3,60
21	3,90	4,20	4,50	4,80	5,10	5,00	4,90	4,70	4,50	4,20	3,90	3,70	3,50	3,30	3,10	2,90	2,60	2,30	2,20	2,10	2,10	2,10	2,50	3,00
22	3,50	3,90	4,30	4,70	5,20	5,00	4,90	4,80	4,70	4,50	4,10	3,80	3,60	3,40	3,10	2,80	2,60	2,40	2,20	2,10	2,10	2,10	2,40	2,70
23	3,10	3,50	4,00	4,60	5,20	5,20	5,30	5,30	5,30	5,20	4,90	4,70	4,50	4,30	3,90	3,70	3,40	3,20	3,00	2,90	2,80	2,70	2,90	-
24	3,40	3,90	4,40	4,90	5,30	5,30	5,30	5,20	5,10	5,00	4,80	4,50	4,30	4,00	3,70	3,50	3,20	2,90	2,70	2,60	2,40	2,30	2,50	2,70
25	3,00	3,30	3,70	4,10	4,50	4,70	4,60	4,50	4,40	4,20	3,80	3,60	3,40	3,30	3,20	3,10	3,00	2,90	2,70	2,60	2,60	2,50	2,90	3,20
26	3,60	4,00	4,30	4,70	5,10	4,90	4,80	4,70	4,50	4,30	3,90	3,60	3,30	3,10	2,90	2,70	2,50	2,50	2,40	2,30	2,20	2,20	2,60	3,00
27	3,50	3,90	4,40	4,80	5,20	5,10	5,10	5,10	5,00	5,00	5,00	4,90	4,90	4,90	4,80	4,70	4,60	4,40	4,10	3,90	3,80	3,60	3,50	3,70
28	3,90	4,20	4,70	4,90	5,20	5,10	5,00	4,80	4,70	4,60	4,20	4,00	3,70	3,50	3,20	3,00	2,80	2,70	2,60	2,60	2,60	2,60	3,00	3,00
29	3,80	4,20	4,60	5,00	5,40	5,30	5,20	5,00	4,80	4,50	4,20	3,90	3,60	3,30	3,20	3,10	2,90	2,70	2,60	2,50	2,50	2,50	2,80	3,20
30	3,60	4,00	4,40	4,70	5,10	5,00	4,80	4,70	4,50	4,30	4,10	3,90	3,70	3,50	3,30	3,20	3,10	3,10	3,10	3,00	3,00	3,00	3,30	3,60
31	3,90	4,20	4,50	4,90	5,30	5,20	5,10	5,00	4,80	4,60	4,40	4,10	3,90	3,60	3,40	3,20	3,00	2,80	2,60	2,50	2,40	2,30	2,60	3,00
<b>MÉDIA</b>	<b>3,60</b>	<b>4,00</b>	<b>4,40</b>	<b>4,70</b>	<b>5,10</b>	<b>5,00</b>	<b>4,90</b>	<b>4,80</b>	<b>4,70</b>	<b>4,50</b>	<b>4,20</b>	<b>3,90</b>	<b>3,70</b>	<b>3,50</b>	<b>3,30</b>	<b>3,20</b>	<b>3,00</b>	<b>2,80</b>	<b>2,70</b>	<b>2,60</b>	<b>2,60</b>	<b>2,50</b>	<b>2,90</b>	<b>3,20</b>

Com o monitoramento do nível da lâmina d'água do reservatório apoiado foi possível verificar:

- Um contínuo decréscimo da altura da lâmina líquida no período de 9h00min às 18h00min, indicando que a vazão de entrada no reservatório apoiado é menor que a vazão recalçada pelos CMBs para o reservatório elevado;
- No intervalo das 18h00min às 22h00min são observados os níveis mais baixos da lâmina líquida, aumentando o NPSH das bombas, e diminuindo o rendimento da bomba, e elevando o consumo relativo de energia dos motores. Considerando que a tarifa de energia no 3º setor é do tipo horosazonal, cabe observar que para esse horário o custo da energia é mais elevado.
- O nível do reservatório apoiado começa a subir a partir das 22h00min, em razão da redução do bombeamento para o reservatório elevado.

No Gráfico 4 é apresentada a curva média da variação do nível do reservatório apoiado ao longo do dia.

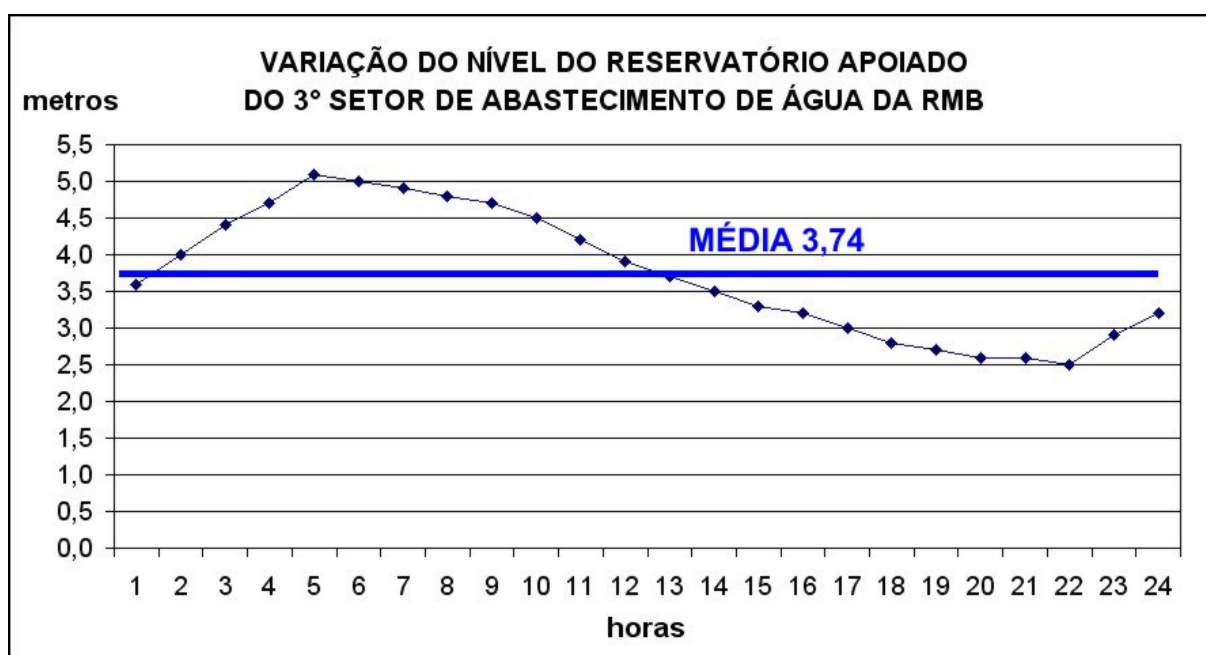
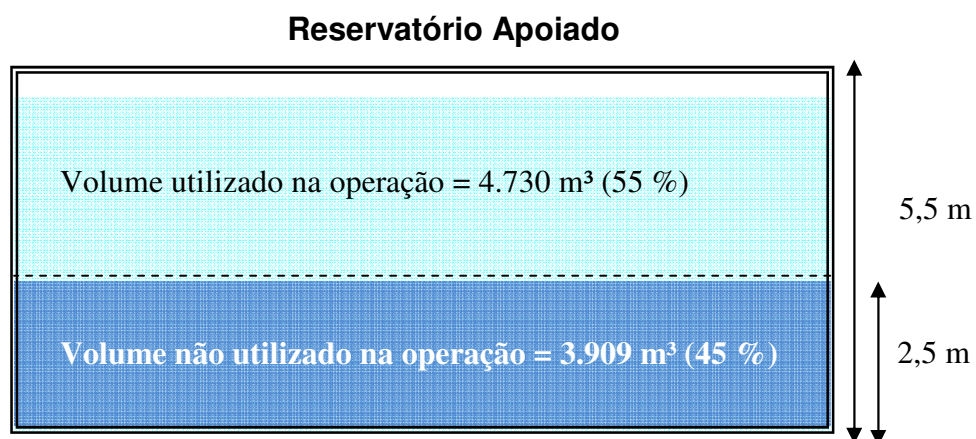


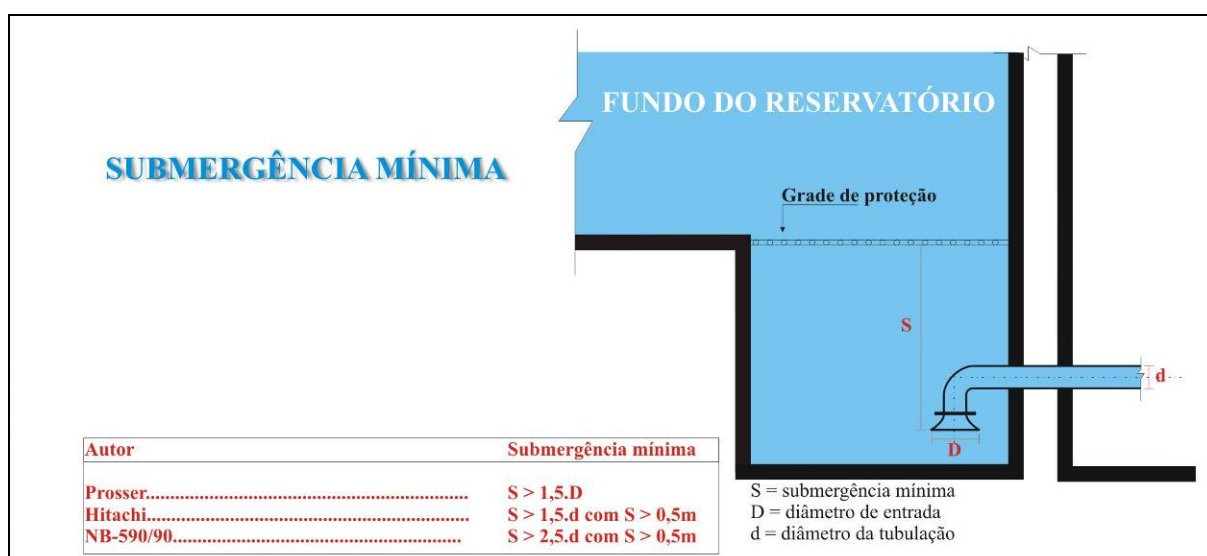
Gráfico 4 – Variação do nível do reservatório apoiado monitorados nos dias 16 e 17 de agosto de 2006.

A lâmina mínima de água no reservatório apoiado na operação é de 2,50m, que corresponde a 45% do volume total, ou seja, o volume efetivamente utilizado na operação é de 55% (3.909m<sup>3</sup>) do volume total (8.600m<sup>3</sup>), conforme representado no Esquema 7.



Esquema 7 – Volume de água efetivamente utilizado na operação do reservatório Apoiado do 3ºsetor  
Fonte: Cosanpa (2006).

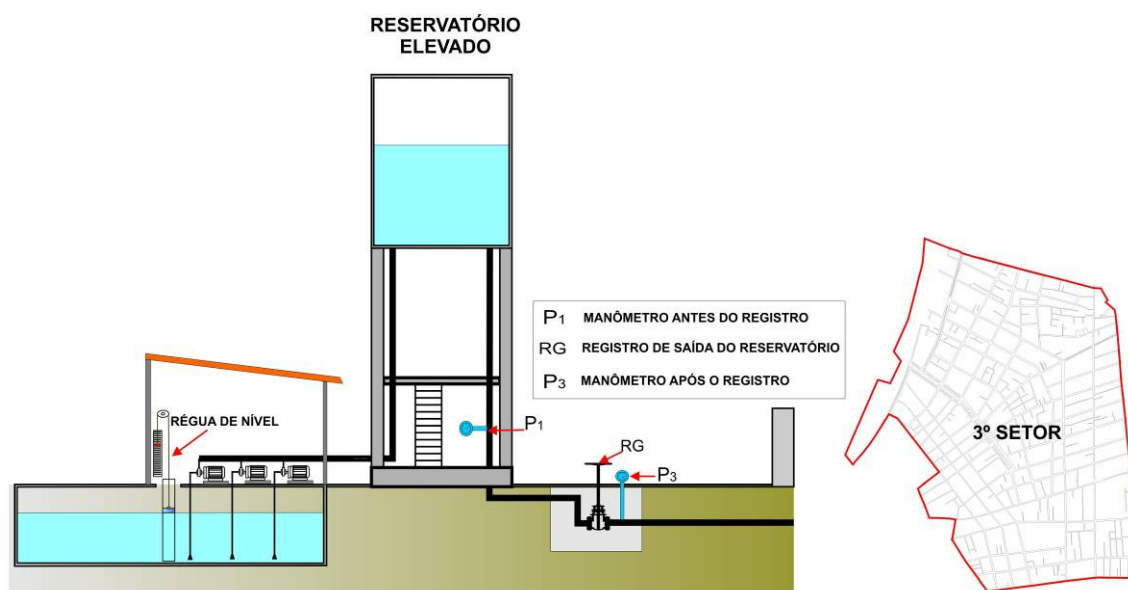
Para potencializar a reservação de água, aproveitando todo o volume do reservatório, seria necessária a construção de um poço de rebaixamento na saída do reservatório. Esse poço deve ser dotado de grades de proteção e dispositivos para redução de vortex, como apresentado no Esquema 8.



Esquema 8 – Proposta de poço de rebaixamento para a saída de água do reservatório apoiado do 3º setor de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém.

### 5.2.3 Estação elevatória

A Unidade Elevatória do 3º setor de abastecimento de água é constituída por três conjuntos motor e bomba, que succionam a água do reservatório apoiado e a recalca para o reservatório elevado, conforme representado no Desenho 23.

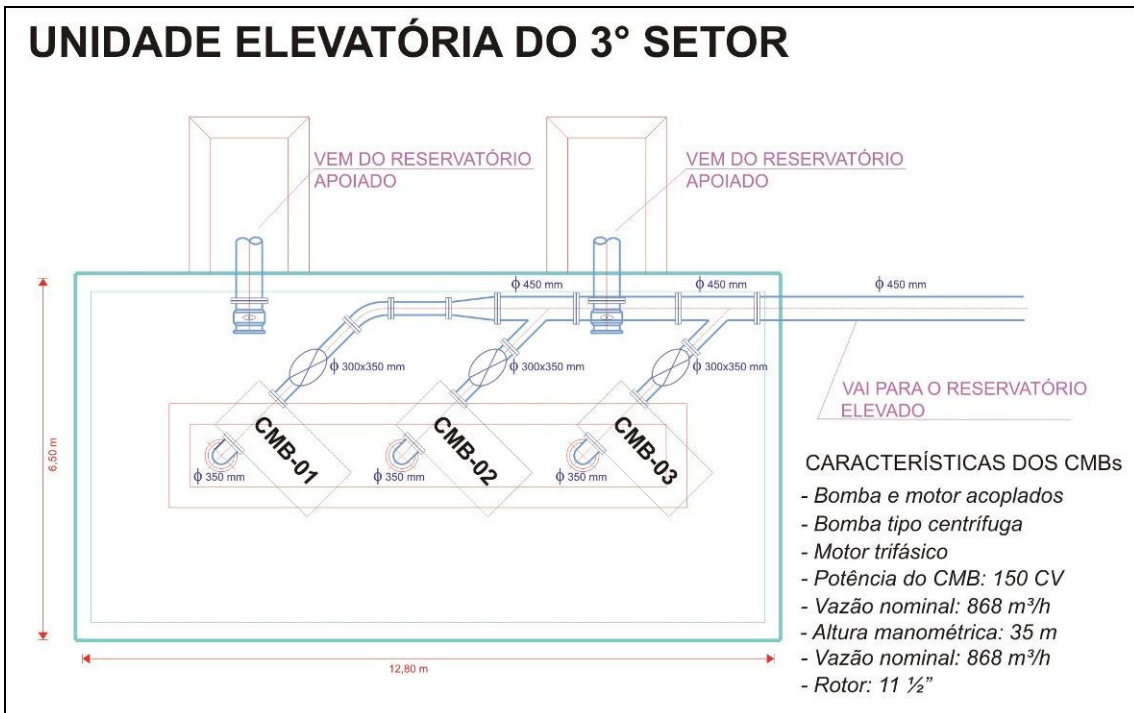


Desenho 23 – Unidades elevatória do 3º Setor de abastecimento de água da RMB  
Fonte: Cosanpa (2006).

Os três CMBs são do tipo centrífuga, com acoplamento (motor trifásico), potencia de 150 CV, vazão nominal de 868 m<sup>3</sup>/h, altura manométrica de 35 metros e rotor de 11 ½". No Desenho 24 e Fotografia 10 são mostrados o layout e a imagem da estação elevatória do 3º setor de abastecimento, respectivamente.

A operação dos três conjuntos motor e bomba do 3º Setor (2+1) é realizada manualmente, sem auxílio de nenhuma instrumentação para monitoramento dos parâmetros hidráulicos, elétricos e mecânicos, tais como vazão, pressão, temperatura, torque, velocidades etc.





Desenho 24 – Layout da unidade de elevação do 3º Setor de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém.



Fotografia 10 - Estação elevatória do 3º setor de abastecimento



O acionamento dos conjuntos motor e bomba é do tipo Partida Direta, mais conhecida como “partida On/Off”. Nesse tipo de partida o motor parte a plena tensão, consumindo uma potência muito superior à potência nominal. Isso implica em elevados picos na curva de consumo de energia elétrica, aumentando, portanto, os custos operacionais.

Como não há inversores de frequência para variação da vazão recalçada pelas bombas, os operadores são obrigados a manobrar constantemente os registros de jusante dos CMB's para atendimento das demandas horárias, o que diminui a vida útil dos mesmos, aumenta a perda de carga e o consumo relativo de energia elétrica.

- **Operação dos CMBs**

Apesar da operação da estação elevatória do 3º Setor ser originalmente do tipo 2+1, são freqüentes os momentos em que os CMBs funcionam com operações dos tipos 3+0 e 1+2, sem nenhum critério de revezamento dos CMBs, conforme pode ser constatado nas operações diárias de liga/desliga apresentadas do Quadro 9 ao Quadro 39 referentes ao mês de agosto de 2006.

01 DE AGOSTO																								
HORA	Horário fora de ponta																	Horário de ponta			Horário fora de ponta			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CMB-01	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
CMB-02						X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
CMB-03	X																							

Quadro 9 - Hora de funcionamento dos CMBs do 3º Setor de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém no dia 01/08/2006.

02 DE AGOSTO																							
HORA	Horário fora de ponta																	Horário de ponta			Horário fora de ponta		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
CMB-01											X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
CMB-02	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X												
CMB-03						X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Quadro 10 - Hora de funcionamento dos CMBs do 3º Setor de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém no dia 02/08/2006.

03 DE AGOSTO																								
HORA	Horário fora de ponta																	Horário de ponta			Horário fora de ponta			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CMB-01	X	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
CMB-02					x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
CMB-03																								

Quadro 11 - Hora de funcionamento dos CMBs do 3º Setor de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém no dia 03/08/2006.

04 DE AGOSTO																								
HORA	Horário fora de ponta																	Horário de ponta			Horário fora de ponta			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CMB-01									x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
CMB-02	X	x	x	x	x	x	x	x	x	x	X	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			
CMB-03					x	x	x	x	x	x	X	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		

Quadro 12 - Hora de funcionamento dos CMBs do 3º Setor de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém no dia 04/08/2006.

05 DE AGOSTO																								
HORA	Horário fora de ponta																	Horário de ponta			Horário fora de ponta			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CMB-01	X	x	x	x	x	x	x	x	x	x	X	x	x	x	x	x	x	x	x					
CMB-02										x	X	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
CMB-03					x	x	x	x	x	x	X	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		

Quadro 13 - Hora de funcionamento dos CMBs do 3º Setor de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém no dia 05/08/2006.

06 DE AGOSTO																								
HORA	Horário fora de ponta																	Horário de ponta			Horário fora de ponta			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CMB-01																								
CMB-02	X	x	x	x	x	x	x	x	x	x	X	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
CMB-03						x	x	x	x	x	X	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		

Quadro 14 - Hora de funcionamento dos CMBs do 3º Setor de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém no dia 06/08/2006.

07 DE AGOSTO																								
HORA	Horário fora de ponta																	Horário de ponta			Horário fora de ponta			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CMB-01					x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
CMB-02	X	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
CMB-03																								

Quadro 15 - Hora de funcionamento dos CMBs do 3º Setor de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém no dia 07/08/2006.

08 DE AGOSTO																								
HORA	Horário fora de ponta																	Horário de ponta			Horário fora de ponta			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CMB-01	X	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
CMB-02									x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
CMB-03					x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x						

Quadro 16 - Hora de funcionamento dos CMBs do 3º Setor de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém no dia 08/08/2006.

09 DE AGOSTO																								
HORA	Horário fora de ponta																	Horário de ponta			Horário fora de ponta			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CMB-01										x	x	x	x	x	x	x	x	x				x	x	x
CMB-02	X	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x						
CMB-03					x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				x	x	x

Quadro 17 - Hora de funcionamento dos CMBs do 3º Setor de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém no dia 09/08/2006.

10 DE AGOSTO																								
HORA	Horário fora de ponta																	Horário de ponta			Horário fora de ponta			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
HORA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CMB-01	X	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
CMB-02																								
CMB-03					x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		

Quadro 18 - Hora de funcionamento dos CMBs do 3º Setor de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém no dia 10/08/2006.

11 DE AGOSTO																								
HORA	Horário fora de ponta																	Horário de ponta			Horário fora de ponta			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CMB-01	X	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
CMB-02																								
CMB-03					x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		

Quadro 19 - Hora de funcionamento dos CMBs do 3º Setor de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém no dia 11/08/2006.

12 DE AGOSTO																								
HORA	Horário fora de ponta																	Horário de ponta			Horário fora de ponta			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CMB-01					x	X	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
CMB-02																								
CMB-03						x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		

Quadro 20 - Hora de funcionamento dos CMBs do 3º Setor de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém no dia 12/08/2006.

13 DE AGOSTO																								
HORA	Horário fora de ponta																	Horário de ponta			Horário fora de ponta			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CMB-01	X	x	x	x	x	x	x	x	x															
CMB-02									x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
CMB-03					x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	

Quadro 21 - Hora de funcionamento dos CMBs do 3º Setor de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém no dia 13/08/2006.

14 DE AGOSTO																								
HORA	Horário fora de ponta																	Horário de ponta			Horário fora de ponta			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CMB-01					x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
CMB-02	X	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
CMB-03																x	x	x	x					

Quadro 22 - Hora de funcionamento dos CMBs do 3º Setor de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém no dia 14/08/2006.

15 DE AGOSTO																								
HORA	Horário fora de ponta																	Horário de ponta			Horário fora de ponta			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CMB-01	X	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
CMB-02						x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
CMB-03																								

Quadro 23 - Hora de funcionamento dos CMBs do 3º Setor de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém no dia 15/08/2006.

16 DE AGOSTO																								
HORA	Horário fora de ponta																	Horário de ponta			Horário fora de ponta			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CMB-01										x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
CMB-02	X	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x								
CMB-03					x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		

Quadro 24 - Hora de funcionamento dos CMBs do 3º Setor de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém no dia 16/08/2006.

17 DE AGOSTO																								
HORA	Horário fora de ponta																	Horário de ponta			Horário fora de ponta			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CMB-01	X	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x					
CMB-02									x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
CMB-03					x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x		

Quadro 25 - Hora de funcionamento dos CMBs do 3º Setor de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém no dia 17/08/2006.

18 DE AGOSTO																								
HORA	Horário fora de ponta																	Horário de ponta			Horário fora de ponta			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CMB-01																								
CMB-02	X	x	x	x	x	X	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
CMB-03					x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		

Quadro 26 - Hora de funcionamento dos CMBs do 3º Setor de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém no dia 18/08/2006.

19 DE AGOSTO																								
HORA	Horário fora de ponta																	Horário de ponta			Horário fora de ponta			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CMB-01											x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
CMB-02	X	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x													
CMB-03					x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Quadro 27 - Hora de funcionamento dos CMBs do 3º Setor de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém no dia 19/08/2006.

20 DE AGOSTO																								
HORA	Horário fora de ponta																	Horário de ponta			Horário fora de ponta			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CMB-01	X	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
CMB-02					x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
CMB-03																								

Quadro 28 - Hora de funcionamento dos CMBs do 3º Setor de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém no dia 20/08/2006.

21 DE AGOSTO																								
HORA	Horário fora de ponta																	Horário de ponta			Horário fora de ponta			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CMB-01										x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
CMB-02	X	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x						
CMB-03					x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		

Quadro 29 - Hora de funcionamento dos CMBs do 3º Setor de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém no dia 21/08/2006.

22 DE AGOSTO																								
HORA	Horário fora de ponta																	Horário de ponta			Horário fora de ponta			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CMB-01	X	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x					
CMB-02											x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
CMB-03					x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		

Quadro 30 - Hora de funcionamento dos CMBs do 3º Setor de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém no dia 22/08/2006.

23 DE AGOSTO																								
HORA	Horário fora de ponta																	Horário de ponta			Horário fora de ponta			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CMB-01																								
CMB-02	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
CMB-03					X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		

Quadro 31 - Hora de funcionamento dos CMBs do 3º Setor de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém no dia 23/08/2006.

24 DE AGOSTO																								
HORA	Horário fora de ponta																	Horário de ponta			Horário fora de ponta			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CMB-01																								
CMB-02	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
CMB-03					X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		

Quadro 32 - Hora de funcionamento dos CMBs do 3º Setor de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém no dia 24/08/2006.

25 DE AGOSTO																								
HORA	Horário fora de ponta																	Horário de ponta			Horário fora de ponta			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CMB-01										X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
CMB-02	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X									
CMB-03					X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	

Quadro 33 - Hora de funcionamento dos CMBs do 3º Setor de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém no dia 25/08/2006.

26 DE AGOSTO																								
HORA	Horário fora de ponta																	Horário de ponta			Horário fora de ponta			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CMB-01	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X								
CMB-02										X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
CMB-03					X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		

Quadro 34 - Hora de funcionamento dos CMBs do 3º Setor de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém no dia 26/08/2006.

27 DE AGOSTO																								
HORA	Horário fora de ponta																	Horário de ponta			Horário fora de ponta			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CMB-01																								
CMB-02	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
CMB-03					X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		

Quadro 35 - Hora de funcionamento dos CMBs do 3º Setor de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém no dia 27/08/2006.

28 DE AGOSTO																								
HORA	Horário fora de ponta																	Horário de ponta			Horário fora de ponta			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CMB-01									x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
CMB-02	X	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x					
CMB-03					x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		

Quadro 36 - Hora de funcionamento dos CMBs do 3º Setor de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém no dia 28/08/2006.

29 DE AGOSTO																								
HORA	Horário fora de ponta																	Horário de ponta			Horário fora de ponta			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CMB-01	X	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				
CMB-02									x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
CMB-03					x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		

Quadro 37 - Hora de funcionamento dos CMBs do 3º Setor de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém no dia 29/08/2006.

30 DE AGOSTO																								
HORA	Horário fora de ponta																	Horário de ponta			Horário fora de ponta			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CMB-01																								
CMB-02	X	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	X	x	x	x	x
CMB-03					x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	X	x	x		

Quadro 38 - Hora de funcionamento dos CMBs do 3º Setor de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém no dia 30/08/2006.

31 DE AGOSTO																								
HORA	Horário fora de ponta																	Horário de ponta			Horário fora de ponta			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CMB-01					x	x	x	X	x	x	x	x	X	x	x	x	x	x	x	X	x	x	x	x
CMB-02	X	x	x	x	x	x	X	x	x	x	x	x	X	x	x	x	x	x	X	x	x			
CMB-03																								

Quadro 39 - Hora de funcionamento dos CMBs do 3º Setor de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém no dia 31/08/2006.

Também foi observado que das 744 horas de bombeamento, ocorridas no mês de agosto de 2006, 59% foi operação do tipo 2+1 (funcionamento de 2 CMBs), 24% com operação do tipo 1+3 (funcionamento de 1 CMB) e 17%, operação do tipo 3+0 (funcionamento de 3 CMBs), conforme é mostrado na Tabela 2 e no Gráfico 5.

Tabela 2 – Horas de bombeamento por tipo de operação dos CMBs, no mês de agosto de 2006.

DIA	HORAS POR TIPO DE OPERAÇÃO			TOTAL
	Operação [1+3]	Operação [2+1]	Operação [3+0]	
01	6	18	0	24
02	7	16	1	24
03	6	18	0	24
04	6	5	13	24
05	6	8	10	24
06	7	17	0	24
07	6	18	0	24
08	6	8	10	24
09	4	9	11	24
10	6	18	0	24
11	6	18	0	24
12	3	21	0	24
13	5	18	1	24
14	6	14	4	24
15	7	17	0	24
16	6	10	8	24
17	6	8	10	24
18	6	18	0	24
19	4	19	1	24
20	4	20	0	24
21	6	9	9	24
22	6	9	9	24
23	6	18	0	24
24	6	18	0	24
25	5	12	7	24
26	6	10	8	24
27	6	18	0	24
28	6	8	10	24
29	6	7	11	24
30	6	18	0	24
31	6	18	0	24
<b>TOTAL (h)</b>	<b>178</b>	<b>443</b>	<b>123</b>	<b>744</b>



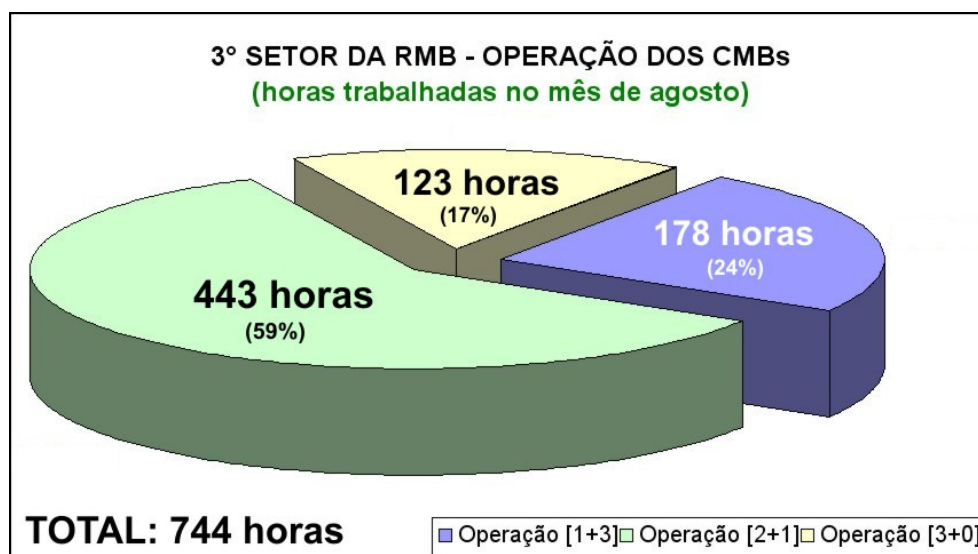


Gráfico 5 – Horas de bombeamento, por tipo de operação dos CMBs do 3º Setor, no mês de agosto de 2006.

Em relação ao horário de ponta, que no Pará é das 18h30min às 20h00min, foi constatado que das 93 horas, totalizadas dos 31 dias do mês de agosto de 2006, apenas em 2 horas não houve funcionamento dos CMBs. Das 91 horas de funcionamento dos CMBs no horário de ponta, 18 horas foi com operação do tipo 3+1, ou seja, em 20% do bombeamento no horário de ponta ocorreu a operação de 3 CMBs simultaneamente. No restante das horas ocorreu bombeamento do tipo 2+1, conforme apresentado na Tabela 3, no Gráfico 9 e Gráfico 10.

Tabela 3 – Horas de bombeamento no horário de ponta, por tipo de operação dos CMBs, no mês de agosto de 2006.

(continua)

DIA	OPERAÇÃO EM HORÁRIO DE PONTA, POR TIPO DE OPERAÇÃO			
	[1+3]	[2+1]	[3+0]	TOTAL
01	0	3	0	3
02	0	3	0	3
03	0	3	0	3
04	0	0	3	3
05	0	1	2	3
06	0	3	0	3
07	0	3	0	3
08	0	2	1	3
09	0	0	1	1
10	0	3	0	3
11	0	3	0	3
12	0	3	0	3
13	0	3	0	3
14	0	1	2	3
15	0	3	0	3
16	0	3	0	3

				(conclusão)
17	0	2	1	3
18	0	3	0	3
19	0	3	0	3
20	0	3	0	3
21	0	2	1	3
22	0	1	2	3
23	0	3	0	3
24	0	3	0	3
25	0	3	0	3
26	0	3	0	3
27	0	3	0	3
28	0	1	2	3
29	0	0	3	3
30	0	3	0	3
31	0	3	0	3
<b>TOTAL (h)</b>	<b>0</b>	<b>73</b>	<b>18</b>	<b>91</b>

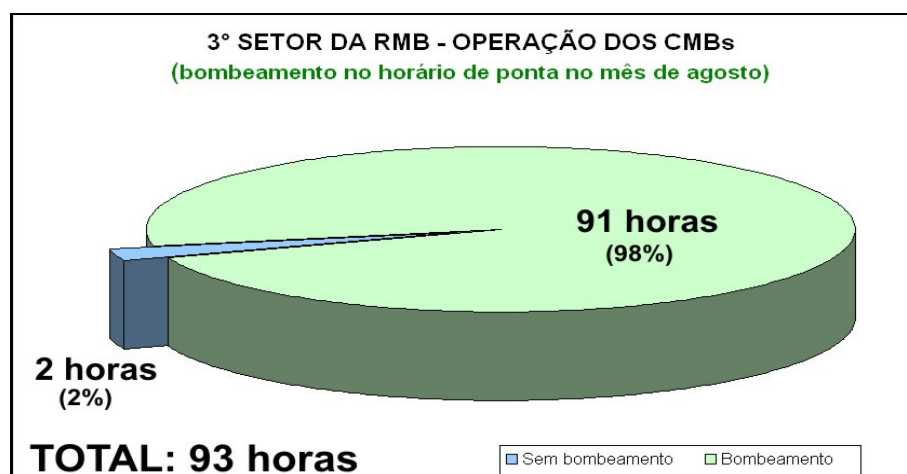


Gráfico 6 – Horas de bombeamento, por tipo de operação dos CMBs do 3º Setor, no mês de agosto de 2006.

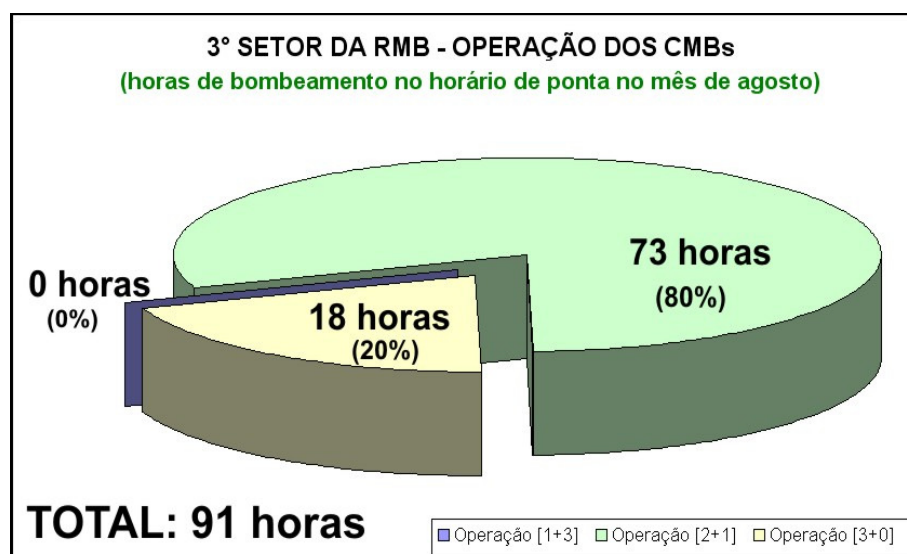


Gráfico 7 – Horas de bombeamento, por tipo de operação dos CMBs do 3º Setor, no mês de agosto de 2006.

Na Tabela 4 é apresentado o número de horas trabalhadas de cada CMB da unidade elevatória do 3º Setor de abastecimento de água da RMB, no mês de agosto de 2006.

Tabela 4 – Número de horas trabalhadas dos CMBs da unidade elevatória do 3º Setor de abastecimento de água da RMB, no mês de agosto de 2006.

DIA	HORAS			
	<i>CMB-01</i>	<i>CMB-02</i>	<i>CMB-03</i>	<i>SOMA</i>
01	22,0	18,5	1,0	41,5
02	12,0	12,0	16,5	40,5
03	22,0	19,0	0,0	41,0
04	14,7	21,0	17,0	52,7
05	19,0	14,0	17,0	50,0
06	0,0	24,0	16,5	40,5
07	19,0	22,0	0,0	41,0
08	22,0	14,3	13,7	50,0
09	12,2	18,6	16,8	47,6
10	24,0	0,0	17,0	41,0
11	22,0	0,0	17,0	39,0
12	19,0	0,0	16,3	35,3
13	9,0	15,0	18,0	42,0
14	19,0	22,0	3,5	44,5
15	22,0	18,5	0,0	40,5
16	14,3	17,0	17,0	48,3
17	19,8	15,0	15,5	50,3
18	0,0	24,0	17,0	41,0
19	13,0	11,0	19,0	43,0
20	24,0	19,0	0,0	43,0
21	14,3	18,5	17,0	49,8
22	19,3	14,0	17,0	50,3
23	0,0	24,0	17,0	41,0
24	0,0	24,0	17,0	41,0
25	14,5	16,3	16,5	47,3
26	17,0	14,0	17,0	48,0
27	0,0	24,0	18,0	42,0
28	14,0	19,0	17,0	50,0
29	20,0	14,3	17,0	51,3
30	0,0	24,0	17,0	41,0
31	19,0	22,0	0,0	41,0
<b>TOTAL</b>	<b>447,1</b>	<b>519,0</b>	<b>409,3</b>	<b>1.375,4</b>

Conforme apresentado na Tabela 4 o número total de horas trabalhadas pelos 3 CMBs da unidade elevatória no mês de agosto de 2006 foi de 1.375,4 horas. O valor médio de operação dos três CMBs foi de 44,16 horas/dia.

Em termos de horas trabalhadas os CMBs 01, 02 e 03 foram responsáveis em 32,5%, 37,7% e 29,8% das horas totais trabalhadas, respectivamente. Esses percentuais, por serem relativamente iguais, reafirmam a falta de critério na operação dos CMBs.

- **Determinação do consumo de energia**

Para estimar a demanda em kWh no 3º Setor foi instalado um analisador de energia tipo MI 2192 METREL no CMB-01 durante 48 horas consecutivas, do dia 08 ao dia 09 de agosto de 2006. Na Tabela 5 e no Gráfico 8 são apresentados os valores médios do consumo de energia elétrica medidos no período do 15h00min do dia 08 às 13h00min dia 09/08/2006 na elevatória do 3º Setor.

Tabela 5 - Informações do consumo de energia elétrica medido no período do dia 08 ao dia 09/08/2006 na elevatória do 3º Setor.

HORA	VOLUME BOMBEADO (m <sup>3</sup> )	TOTAL <sup>2</sup> (kWh)	kWk/m <sup>3</sup>
15h00min	1.704,83	483,57	0,28
16h00min	1.674,19	479,91	0,29
17h00min	1.633,31	476,61	0,29
18h00min	1.576,34	326,98	0,21
19h00min	1.498,59	325,92	0,22
20h00min	1.340,70	327,36	0,24
21h00min	1.338,02	324,00	0,24
22h00min	1.012,76	158,62	0,16
23h00min	660,76	158,62	0,24
24h00min	596,91	158,62	0,27
01h00min	627,04	158,62	0,25
02h00min	632,82	158,62	0,25
03h00min	637,64	158,62	0,25
04h00min	679,67	158,62	0,23
05h00min	907,02	317,25	0,35
06h00min	1.267,72	317,25	0,25
07h00min	1.529,75	317,25	0,21
08h00min	1.589,31	317,25	0,20
09h00min	1.661,16	317,25	0,19
10h00min	1.704,51	377,55	0,22
11h00min	1.705,89	495,33	0,29
12h00min	1.759,28	485,94	0,28
13h00min	1.768,03	479,31	0,27
<b>TOTAL</b>	<b>29.506,25</b>	<b>7.279,10</b>	<b>0,25</b>

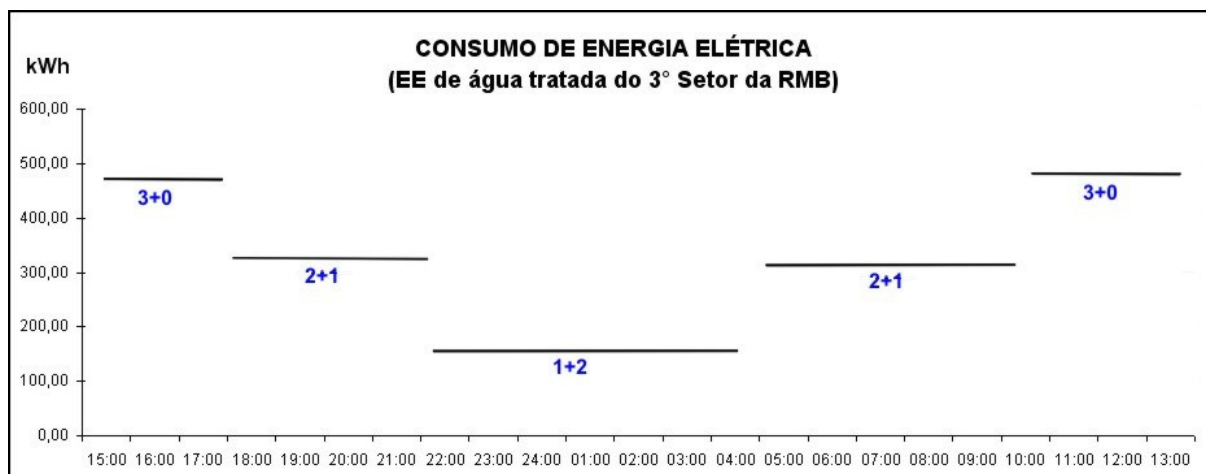


Gráfico 8 – Consumo médio mensal de energia elétrica na EE de água tratada do 3º setor de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém no período de junho de 2005 a setembro de 2006.

No horário de 22h00min até as 04h00min ocorreram menores valores de consumo de energia elétrica, visto que, de acordo com a operação dos CMBs, apenas um CMB funcionou nesse período. Os maiores valores demandados de energia elétrica ocorreram nos período de 11h00min às 17h00min, pois nesses horários funcionaram simultaneamente dois ou três CMBs.

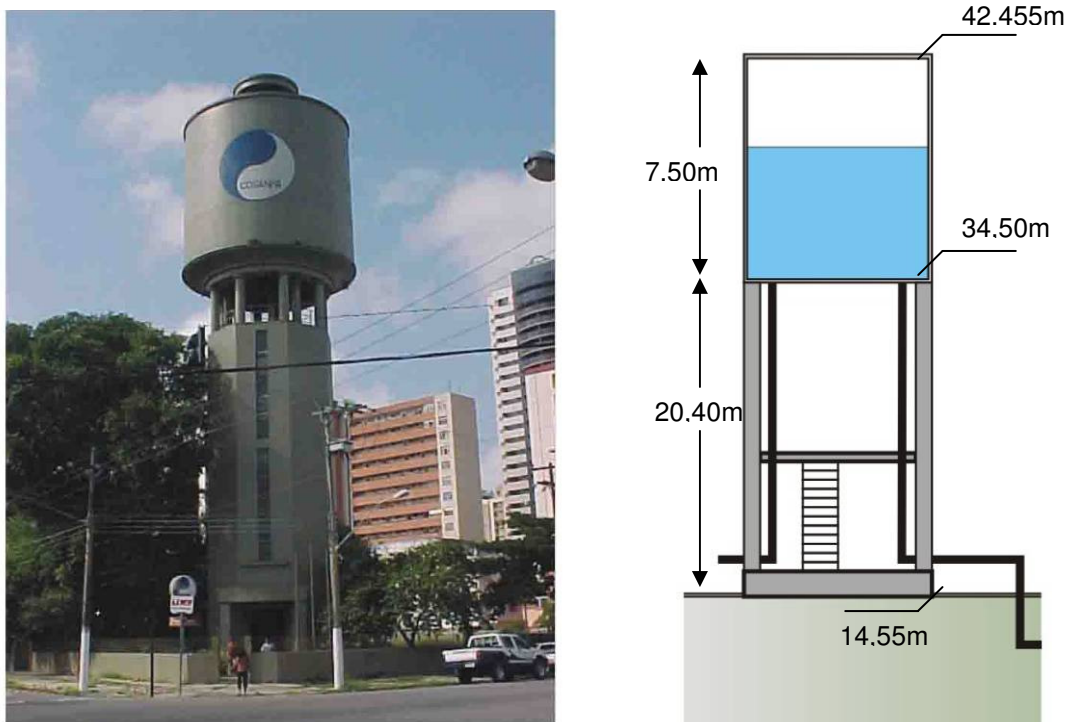
O valor médio horário do consumo de energia elétrica na estação elevatória do 3º setor, obtido a partir dos valores apresentados na Tabela 5, foi de 316,48 kWh. Considerando esse valor como referência, pode-se fazer as seguintes observações: a) o maior consumo de energia (operação 3+0) excedeu a média em 56,51 %; b) o menor valor medido (operação 1+2) foi 49,88 % abaixo da média e c) a diferença entre o valor máximo e mínimo observado no período de estudado foi de 67,98 %.

Tais percentuais indicam grandes variações de consumo de energia ao longo do dia, e essas variações certamente são resultantes da desordenada rotina operacional observado na estação elevatória do 3º Setor.

Fazendo a relação entre o consumo de energia (7.279,10 kWh) e o volume de água distribuído (29.506,25 m³) no período do dia 08 ao dia 09/08/2006, obtem-se um consumo médio de 0,25 kWh/m³.

## 5.2.2 Reservatório elevado

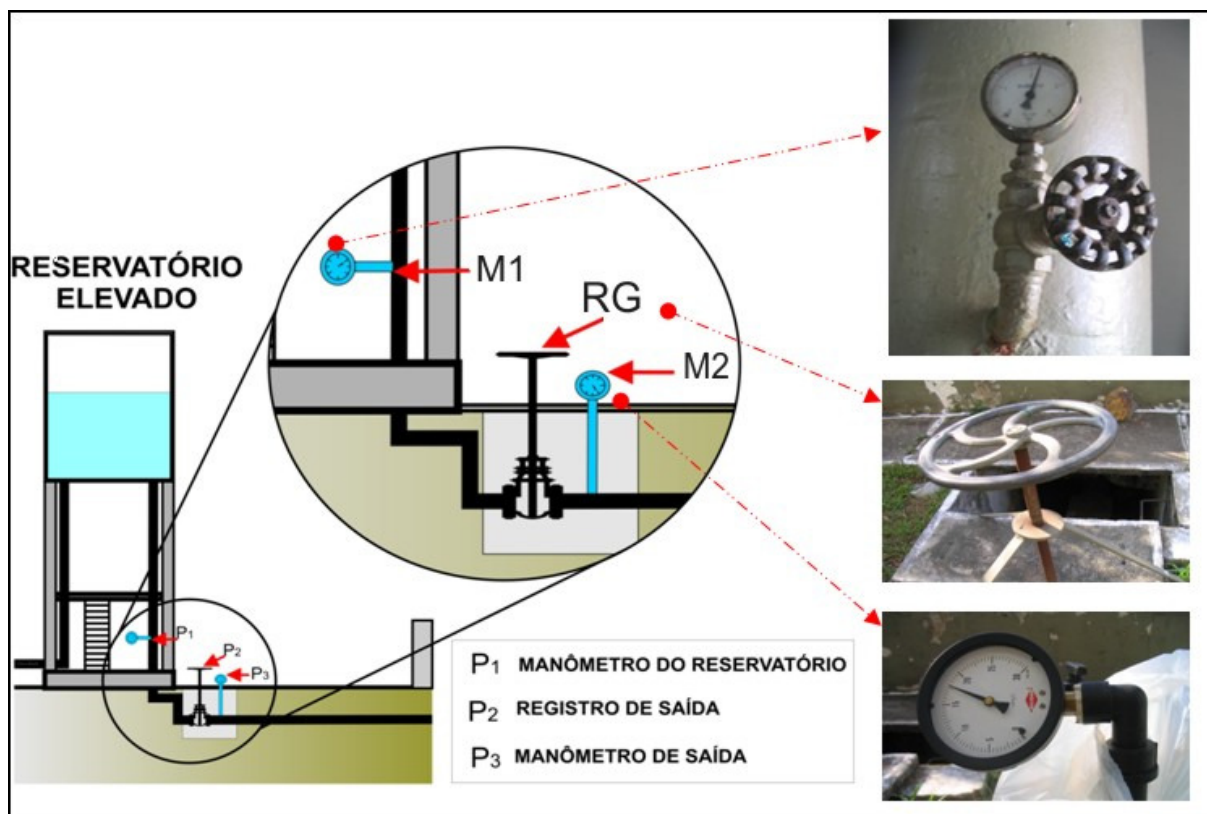
O reservatório elevado do 3º setor de abastecimento é tem formato cilíndrico, em concreto armado, com capacidade de reservação de 320 m<sup>3</sup>. Na Fotografia 11 é mostrado o reservatório elevado com a indicação de suas dimensões.



Fotografia 11 – Reservatório elevado do 3º setor de abastecimento de água de Região Metropolitana de Belém

No controle operacional do reservatório elevado, os operadores contam apenas com dois manômetros analógicos para monitoramento da altura da lâmina líquida, ou seja, não existe controle direto do nível de água no reservatório elevado. Assim todo o controle piezométrico é realizado no manômetro instalado no barrilete de descida do reservatório.

No Desenho 25 são mostrados o manômetro “M1”, utilizado no controle da altura da lâmina d’água no reservatório elevado; o registro “RG”, localizado na tubulação de saída do reservatório elevado; e o manômetro “M2”, utilizado para controle da pressão na tubulação de saída do 3º setor de abastecimento.



Desenho 25 – Localização dos instrumentos de controle e do registro de saída do 3º setor de abastecimento.

No Desenho 26 é mostrado o Tubo de Pitot que foi instalado no barrilete de descida do reservatório utilizado para medição da vazão distribuída no 3º Setor. É importante observar que a instrumentação de pitometria (sensor de pressão diferencial e *data logger*) somente é disponibilizada em períodos curtos, ou seja, a vazão distribuída não é monitorada continuamente ao longo do mês.

A freqüente manobra para reduzir a seção do registro “RG” diminui a vazão de saída do reservatório elevado, bem como aumenta o valor da perda de carga, provocando diminuição no valor da pressão que é encaminhada para a rede de distribuição de água.



Desenho 26 – Medição de vazão, por pitometria, na saída do reservatório elevado do 3° Setor de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém.

Durante o período de monitoramento não foi possível avaliar a vazão de saída do reservatório elevado, pois a instrumentação da pitometria (sensor de velocidade e *data logger*) não estava disponibilizada pela COSANPA. Dessa forma, o hidrograma de vazão foi elaboração com base nos dados de vazão do último mês registrado pela COSANPA, ou seja, o mês de março de 2006, conforme apresentado no Gráfico 9.



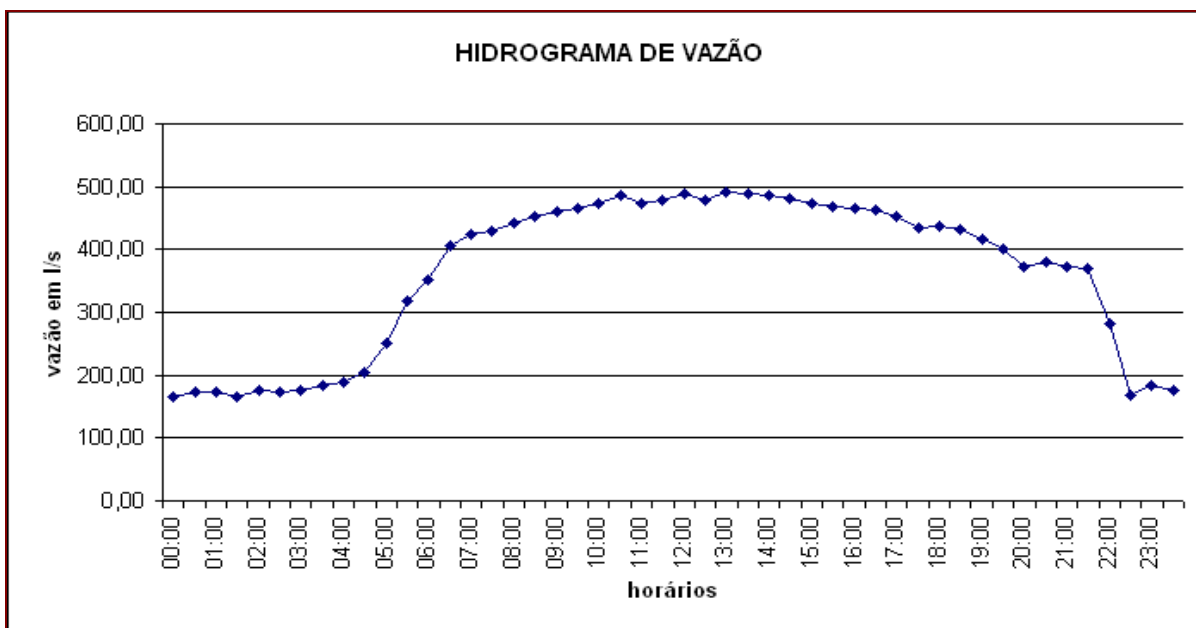


Gráfico 9 - Hidrograma de vazão da saída do reservatório elevado do 3º setor de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém.

Fonte: Cosanpa (2006).

O valor médio de água distribuída no 3º Setor observado no mês de março de 2006 foi de 1.265,92 m<sup>3</sup>/h (CV = 34,43%), sendo os valores mínimo (165,78L/s ou 580,23 m<sup>3</sup>/h) e máximo (361,69L/s ou 1.718,92 m<sup>3</sup>/h) observado às 1h30min e às 13h00min, respectivamente.

É importante ressaltar que para um período 12 horas consecutivas, durante um dia, o volume de água distribuído no 3º setor se mantém superior a o valor de 1.409,1 m<sup>3</sup>/h, sendo esse valor 79 % acima do “consumo efetivo teórico de água” que foi calculado em 785,74 m<sup>3</sup>/h.

Por falta de instrumentação operacional (régua graduada de nível ou sensores/transmissores de nível) foram utilizados os valores de pressão do manômetro instalado no barrilete de distribuição de água, o que possibilitou o monitoramento indireto da altura do nível de água no reservatório elevado.

Na Tabela 6 são apresentados os valores do nível de água do reservatório elevado em agosto de 2006.

Tabela 6 - Nível do reservatório elevado no primeiro e segundo dia de monitoramento

DIA	HORAS																							
	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0	12,0	13,0	14,0	15,0	16,0	17,0	18,0	19,0	20,0	21,0	22,0	23,0	24,0
1,0	22,0	20,0	20,0	20,0	20,0	21,0	22,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	22,0	20,0	20,0
2,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	22,0	22,0	22,0	22,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
3,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	22,0	22,0	22,0	22,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	20,0	20,0
4,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	20,0	20,0
5,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	22,0	22,0	21,0	20,0	20,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	20,0	20,0
6,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	20,0	20,0
7,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	22,0	22,0	22,0	22,0	20,0	20,0
8,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	22,0	22,0	22,0	20,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	20,0	20,0
9,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	22,0	22,0	22,0	20,0	20,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	-	-	22,0	22,0	22,0
10,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
11,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	22,0	22,0	22,0	21,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	-	-
12,0	-	-	-	-	-	20,0	22,0	22,0	22,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	22,0	20,0	20,0
13,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	20,0
14,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	21,0	21,0	21,0	20,0	20,0
15,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	21,0	21,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	20,0	20,0
16,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	22,0	22,0	22,0	21,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	22,0	22,0	20,0	20,0
17,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	22,0	22,0	21,0	20,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	21,0	21,0	21,0	21,0	20,0	20,0
18,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	20,0	20,0
19,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	22,0	22,0	22,0	22,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0
20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0
21,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	22,0	22,0	22,0	21,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	20,0	20,0	22,0	22,0	20,0	20,0
22,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	20,0	20,0	21,0	20,0
23,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	20,0	20,0
24,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	22,0	22,0	22,0	22,0	21,0	21,0	21,0	21,0	20,0	20,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	20,0	20,0
25,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	22,0	22,0	22,0	21,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
26,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	21,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
27,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	20,0
28,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	22,0	22,0	22,0	22,0	20,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	21,0	21,0	21,0	20,0	20,0
29,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	22,0	22,0	22,0	21,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	20,0	20,0
30,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	20,0	20,0	20,0	21,0	21,0	21,0	20,0	20,0
31,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	20,0	20,0
<b>MEDIA</b>	<b>20,0</b>	<b>20,0</b>	<b>20,0</b>	<b>20,0</b>	<b>20,0</b>	<b>22,0</b>	<b>22,0</b>	<b>22,0</b>	<b>22,0</b>	<b>22,0</b>	<b>22,0</b>	<b>22,0</b>	<b>22,0</b>	<b>22,0</b>	<b>22,0</b>	<b>22,0</b>	<b>22,0</b>	<b>22,0</b>	<b>22,0</b>	<b>22,0</b>	<b>21,0</b>	<b>21,5</b>	<b>22,0</b>	<b>20,0</b>

A altura da lâmina de água do reservatório elevado apresentou valores mínimos de 20 mca e 21 mca, no primeiro e no segundo dia de monitoramento, respectivamente, tendo valor máximo de 24 mca em ambos os dias.

Segundo informações dos operadores, os níveis mínimos e máximos de operação recomendados para o reservatório elevado são de 20 mca e 25 mca, respectivamente, já que os valores inferiores a 20 mca possibilitam a entrada de ar na rede, enquanto os valores superiores a 25 mca ocasionam o transbordamento de água no reservatório elevado.

No Gráfico 10 é mostrada a curva de variação da altura da lâmina líquida do reservatório elevado, definida com base nos dados registrados em agosto de 2006.

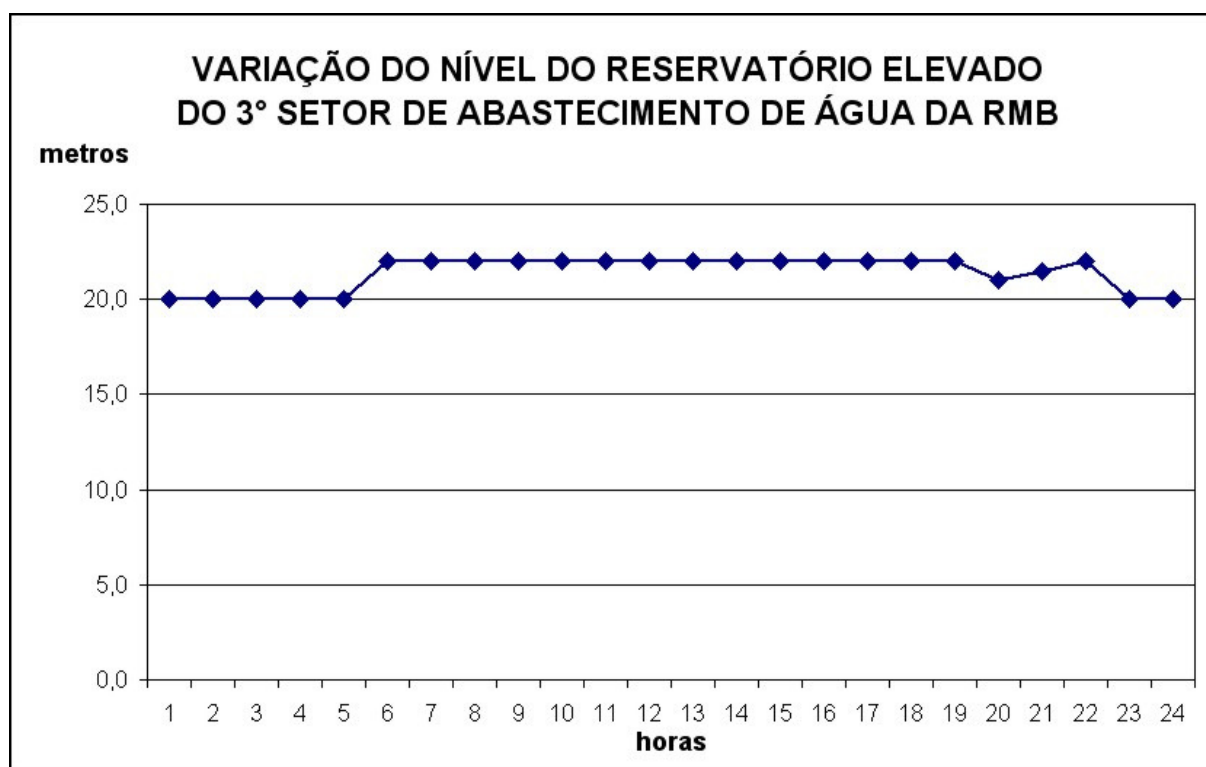
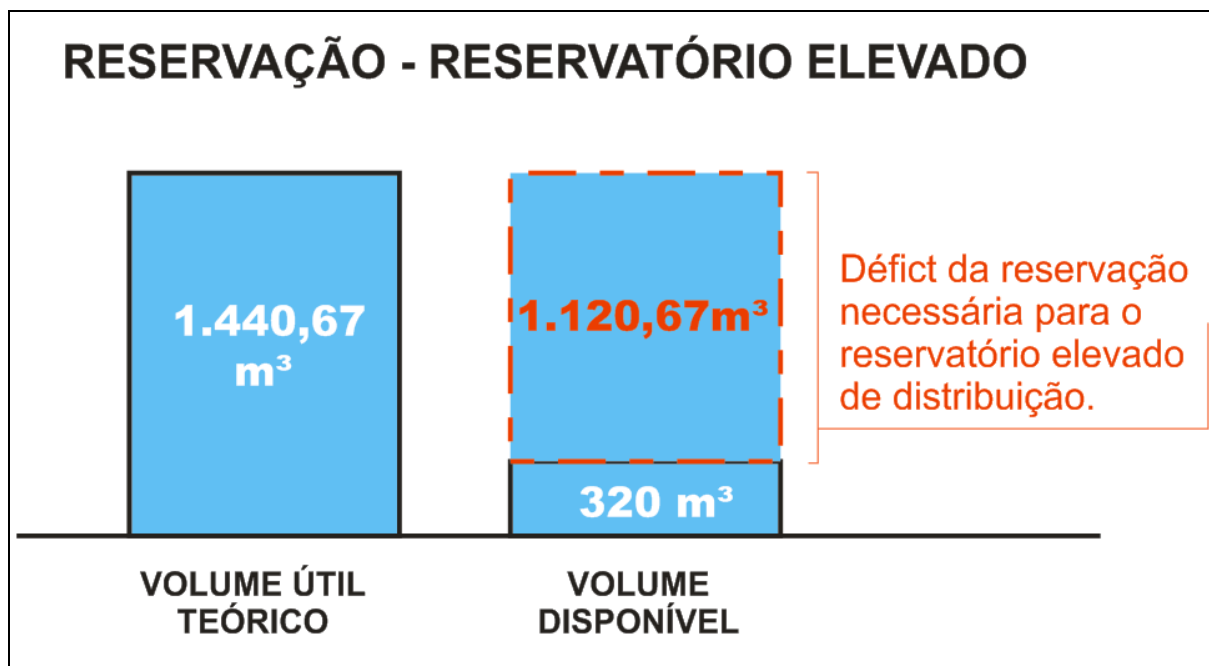


Gráfico 10 - Curva de variação altura da lâmina líquida do reservatório elevado, definida com base nos dados registrados em agosto de 2006.

Como pode ser observado na curva de variação da altura da lâmina líquida, o reservatório elevado é mantido com uma altura de água quase constante (variando de 20 a 22 metros), sendo operado sem considerar as variações do hidrograma de vazão do setor.

O volume do reservatório elevado ( $320 \text{ m}^3$ ) é apenas 22,21% do valor mínimo recomendado pela NBR 12.217/94, que conforme apresentado no “item 5.1.1” dos resultados, referente a reservação mínima, deveria ser de  $1.440,67 \text{ m}^3$ , conforme mostrado no Esquema 9.



Esquema 9 – Déficit da reservação de água do reservatório elevado de distribuição, em relação a reservação teórica calculada para o 3º Setor.

Como a capacidade do reservatório elevado é menor do que o necessário (déficit de  $1.120,67 \text{ m}^3$  de água), este tem sua funcionalidade reduzida apenas à manutenção de pressão na rede de distribuição de água, pois não dispõe de autonomia no fornecimento de água durante horários de pico.

Na Tabela 7 é apresentada a comparação entre dos resultados obtidos teoricamente com os valores obtidos no monitoramento do reservatório elevado, estação elevatória e reservatório elevado do 3º Setor da RMB.

Tabela 7 - Comparação entre dos resultados obtidos teoricamente com os valores obtidos no monitoramento do reservatório elevado, estação elevatória e reservatório elevado do 3º Setor da RMB.

<b>PARÂMETROS</b>	<b>TEÓRICO</b>	<b>REAL</b>
Volume do reservatório apoiado (m³)	2.881	8.600
Volume do reservatório elevado (m³)	1.440	320
Reservação Total (m³)	4.322	8.920
Volume de água distribuído (m³/mês)	565.733	989.580
Tipo de operação dos CMBs	2+1	1+3, 2+1 e 3+0
Potência de cada CMB (kW)	58	110 (150 CV)
Horas de bombeamento diário (horas/dia)	32 (2x16)	44,16
Consumo mensal de energia em kWh	55.680	154.678
Consumo mensal de energia em kWh/m³	0,08	0,25

### 5.3 PERDA DE ÁGUA E ENERGIA ELÉTRICA NO 3º SETOR

A falta de isolamento do 3º setor com os setores circunvizinhos (1º, 2º e 8º setores), as ligações clandestinas e os vazamentos na rede de distribuição dificulta a elaboração do balanço hidráulico e a determinação precisa das perdas, além de prejudicar o desempenho operacional do 3º setor.

Segundo a Companhia de Saneamento do Pará (2006b), parte da água na rede de distribuição do 3º Setor é exportada para o 1º, 2º e 8º setores de abastecimento. O volume exportado no 3º Setor não é contabilizado, e, portanto, não é faturado, restando apenas os ônus (DEX - energia elétrica, produtos químicos e pessoal) com a perda dessa água, que, além de impactar diretamente no faturamento e arrecadação, afeta negativamente a relação entre as despesas por exploração e o metro cúbico de água faturado/arrecadado no 3º Setor.

#### **5.6.1 Perda de água**

Com base no relatório operacional da COSANPA, no período de outubro de 2005 a setembro de 2006, em média foram distribuídos 989.580 m<sup>3</sup>/mês de água, com valor máximo e mínimo de 1.076.400 m<sup>3</sup>/mês e 69.040 m<sup>3</sup>/mês, respectivamente, conforme apresentado na Tabela 8.

Tabela 8 – Volume se água distribuído, consumo de energia elétrica e custos com energia elétrica no 3º Setor da RMB, no período de agosto de 2005 a setembro de 2006.

MÊS/ANO	VOLUME DISTRIBUÍDO (m³)	CONSUMO kWh	CUSTOS (R\$)	R\$/kWh	kWh/m³	R\$/m³
Out/05	1.076.400	172.012,00	36.170,59	0,21	0,16	0,03
Nov/05	1.054.800	166.791,00	35.093,34	0,21	0,16	0,03
Dez/05	1.048.320	139.806,00	28.608,45	0,20	0,13	0,03
Jan/06	1.048.320	174.673,00	34.341,17	0,20	0,17	0,03
Fev/06	1.049.040	141.443,00	28.657,97	0,20	0,13	0,03
Mar/06	918.000	153.186,00	29.797,46	0,19	0,17	0,03
Abr/06	869.040	148.655,00	28.806,51	0,19	0,17	0,03
Mai/06	946.800	155.816,00	28.454,71	0,18	0,16	0,03
Jun/06	1.007.280	153.468,00	30.832,71	0,20	0,15	0,03
Jul/06	966.240	143.340,00	28.166,68	0,20	0,15	0,03
Ago/06	977.760	155.725,00	29.406,52	0,19	0,16	0,03
Set/06	912.960	151.231,00	28.646,75	0,19	0,17	0,03
<b>MÉDIA</b>	<b>989.580,00</b>	<b>154.678,83</b>	<b>30.581,91</b>	<b>0,20</b>	<b>0,16</b>	<b>0,03</b>
<b>TOTAL</b>	<b>11.874.960</b>	<b>1.856.146</b>	<b>366.983</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>

Assim para estimar o valor de perda de água no 3º Setor foi considerado:

- vazão média distribuída, obtida do relatório da COSANPA;
- consumo efetivo teórico médio de água;
- perda, como sendo a diferença entre a vazão distribuída e o consumo efetivo teórico médio de água.

O valor perdido de água corresponde aos vazamentos, ligações clandestinas e água exportada (não contabilizada) para outros setores. Esse valor mensal foi calculado subtraindo-se do “volume médio distribuído” (989.580 m³/mês) o “consumo efetivo teórico médio de água” (565.733 m³/mês), conforme memória de cálculo a seguir:

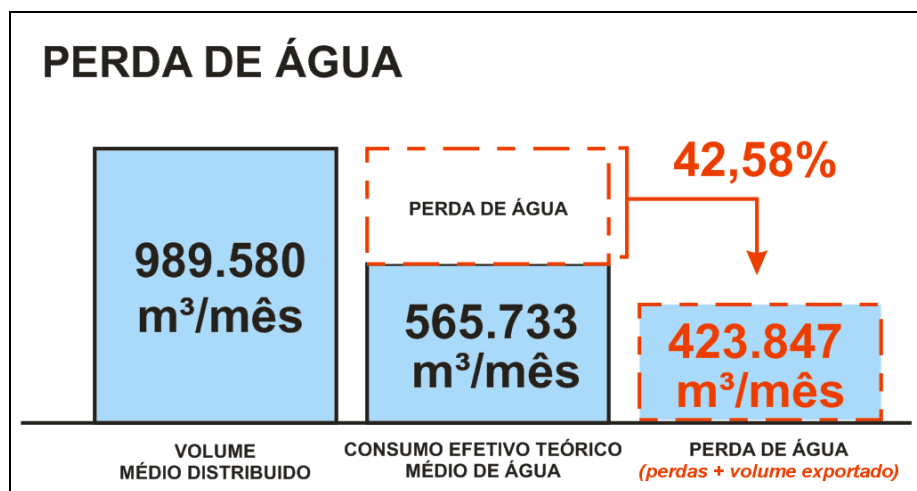
$$Q_{T_m} = 565.733 \text{ m}^3/\text{mês} \text{ (consumo efetivo teórico médio de água);}$$

$$Q_d = 989.580 \text{ m}^3/\text{mês} \text{ (volume médio distribuído)}$$

$$P = Q_{T_m} - Q_d = 989.580 - 565.733 = 423.847 \text{ m}^3/\text{mês} \text{ (perda de água)}$$

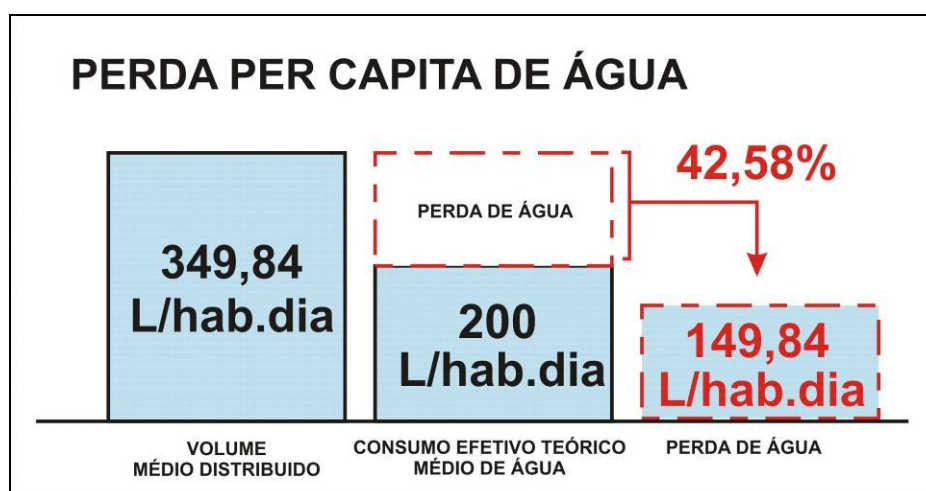
$$P_{\%} = \frac{P}{Q_{T_m}} = \frac{423.847}{565.733} = 0,4258 \text{ (42,58\%)} \text{ (perda de água)}$$

A perda média mensal estimada no 3º Setor da Região Metropolitana de Belém foi de 423.847 m³/mês, conforme apresentado no Esquema 10.



Esquema 10 – Perda média de água no 3º setor de abastecimento de água da RMB, no período de outubro de 2005 a setembro de 2006.

Com base na população abastecida no 3º Setor, que é de 94.289 habitantes, o “volume médio distribuído” e a “perda de água” podem ser apresentados em per capita, conforme mostrado no Esquema 11.



Esquema 11 – Perda per capita de água no 3º setor de abastecimento de água da RMB, no período de outubro de 2005 a setembro de 2006.

O valor da perda per capita de água no 3º setor foi calculada em 149,84 L/hab.dia, sendo muito elevado, quando comparado, por exemplo, com os 150 L/hab.dia utilizados para prevê a demanda de água em projetos de sistemas de abastecimento de água em áreas mais afastadas, ou quando relacionado com o consumo efetivo.



No Gráfico 11 são apresentados os valores das perdas médias mensais de água no 3º Setor nos meses de outubro de 2005 a setembro de 2006.

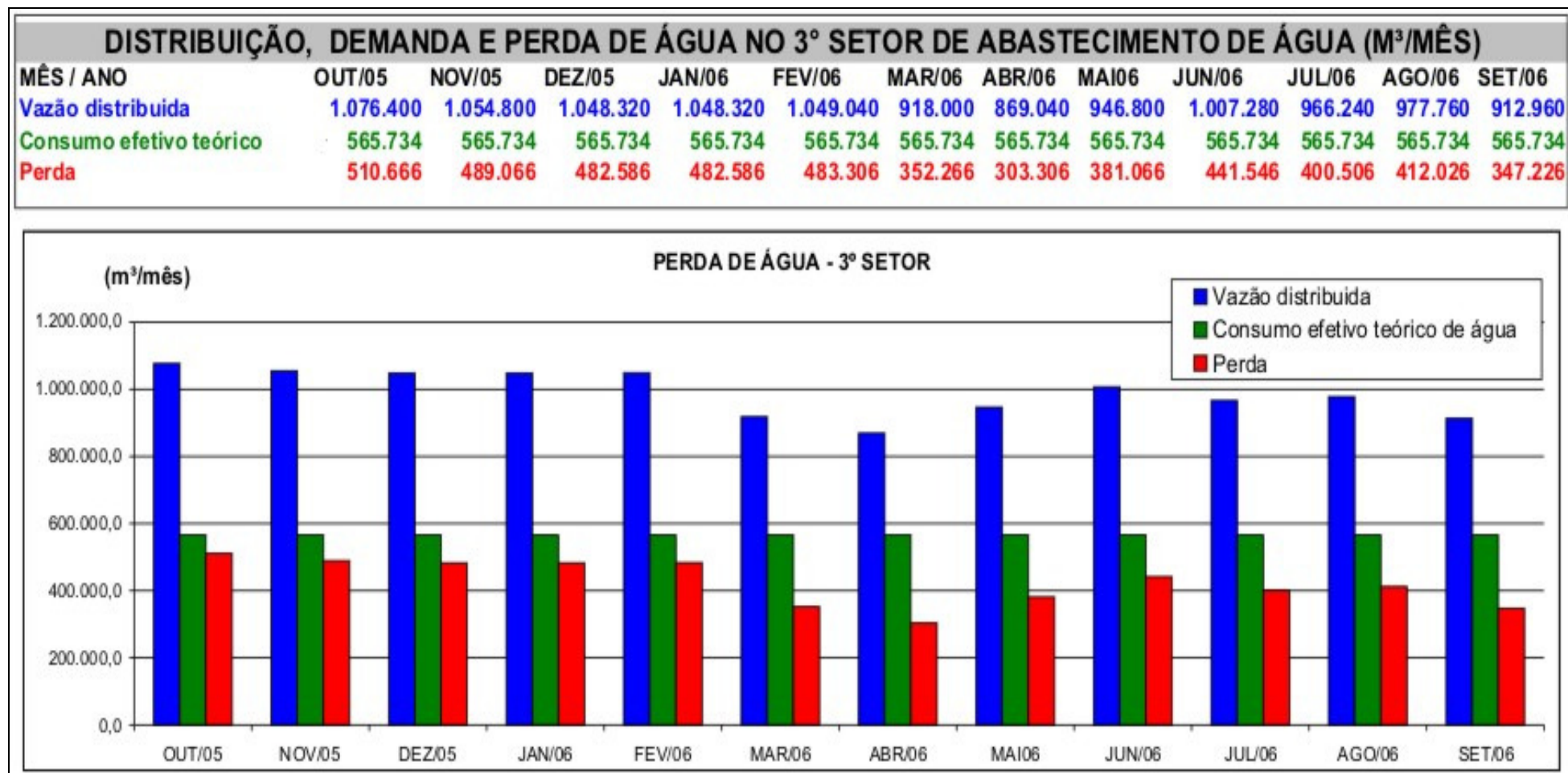


Gráfico 11 - Perdas de água (em m<sup>3</sup>/mês) do 3º setor de abastecimento de água da RMB, no período de outubro de 2005 a setembro de 2006.

A variação do valor percentual da perda de água no 3º Setor no período de outubro de 2005 a setembro de 2006 é mostrada no Gráfico 12.

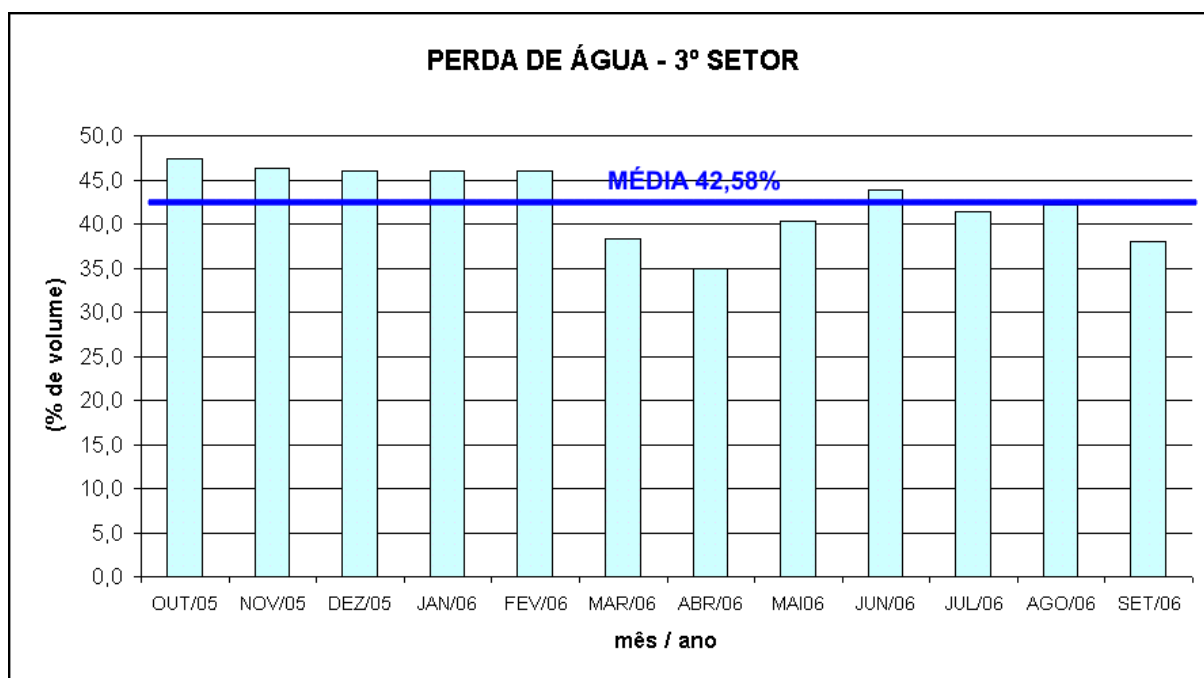


Gráfico 12 - Perdas de água (em percentual) do 3º setor de abastecimento de água da RMB, no período de outubro de 2005 a setembro de 2006.

Considerando o volume perdido de água de 423.847 m<sup>3</sup>/mês e o valor de R\$ 1,20 a ser arrecadado por m<sup>3</sup> de água distribuído (da política tarifária vigente no estado do Pará), estima-se que a COSANPA deixa de arrecadar com essa perda o valor mensal de R\$ 508.616, de acordo o cálculo:

$$P = (\text{valor da tarifa}) \cdot (\text{volume perdido})$$

$$P = (1,20) \cdot (423.847) = 508.616 \text{ R\$ / mês (perda com o volume de água que deveria ser arrecadado)}$$

No Gráfico 13 é apresentado o valor que deveria ser arrecadado com o volume de água perdido em relação ao custo total com a água distribuída no 3º setor.

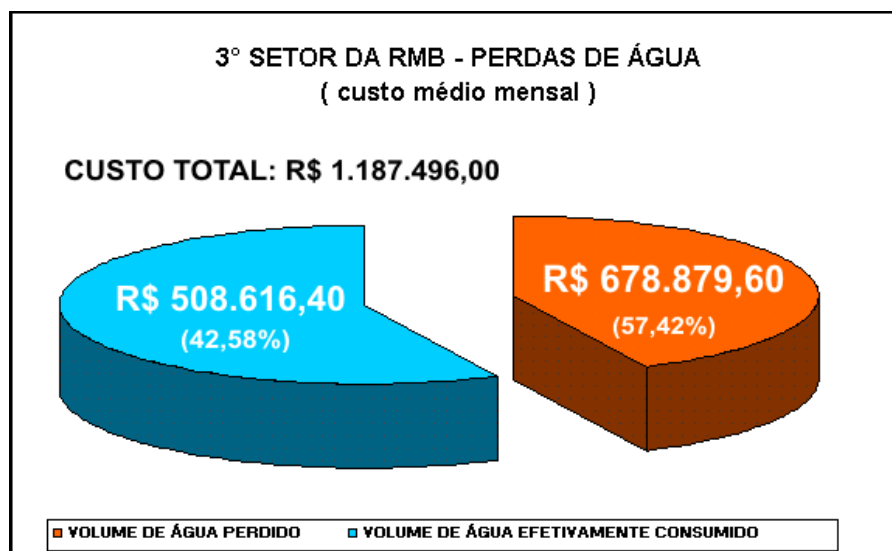
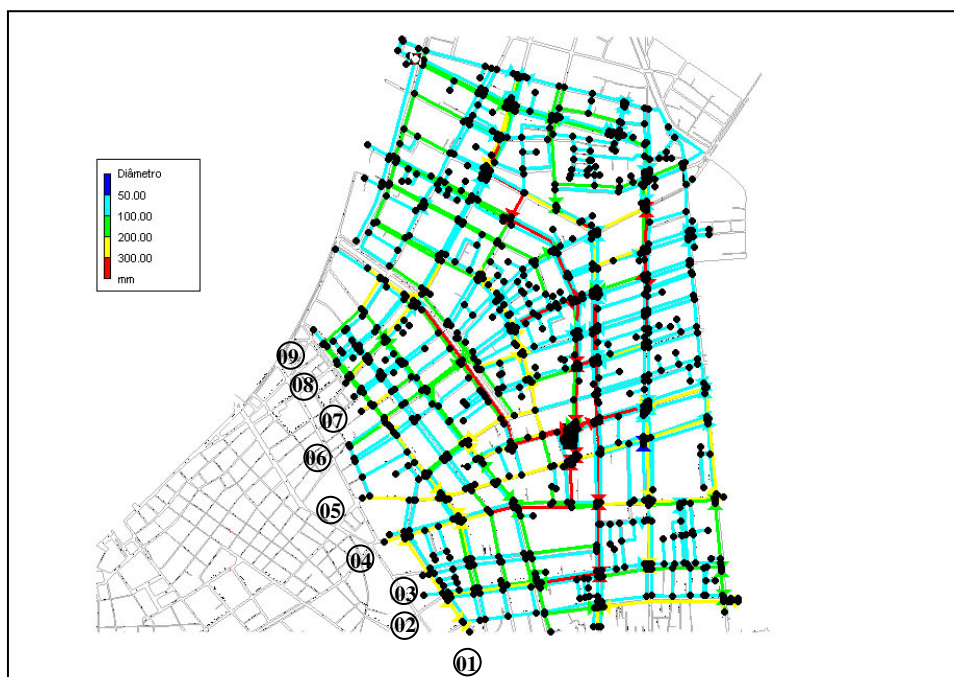


Gráfico 13 - Perdas de água (em percentual) do 3º setor de abastecimento de água da RMB, no período de outubro de 2005 a setembro de 2006.

É importante observar que o volume perdido de água é decorrente de vazamentos, consumos clandestinos e problemas de arrecadação no 3º Setor, bem como do volume de água exportado para o 1º, 2º e 8º setores de abastecimento.

Além disso, parte da água perdida pode estar passando para os setores adjacentes (1º, 2º e 8º setor), já que 9 (nove) tubulações estão interligando esses setores sem que a COSANPA tenha instalado nenhum macromedidor, para registro das vazões que podem estar entrando (vindo do 1º, 2º e 8º setores) ou saindo do 3º Setor para os setores adjacentes. No Mapa 3 e no Quadro 40 são apresentadas as localizações das tubulações que interligam tais setores.



Mapa 3 – Pontos de Interligações do 3º setor de abastecimento de água da RMB.  
Fonte: Cosanpa (2006).

Nº	LOCALIZAÇÃO	DIÂMETRO (mm)	SETOR INTERLIGADO
01	Avenida Conselheiro Furtado com Trav. Dr. Moraes.	300	8º setor
02	Av. Gentil Bittencourt com Dr. Moraes.	75	1º setor
03	Trav. Dr. Moraes com Av. Braz de Aguiar.	75	1º setor
04	Trav. Dr. Moraes com Av. Nazaré.	200	1º setor
05	Av. Governador José Malcher com Trav. Piedade	200	2º setor
06	Rua Aristide Lobo com Trav. Benjamim Constant.	100	2º setor
07	Trav. Benjamim Constant com Trav. Ó de Almeida.	250	2º setor
08	Trav. Benjamim Constant com Rua Manoel Barata	75	2º setor
09	Trav. Benjamim Constant com Rua 28 de Setembro	200	2º setor

Quadro 40 – Trechos de interligação do 3º setor com o 1º, 2º e 8º setores de abastecimento da Zona Central da RMB.

Fonte: Cosanpa (2006).

### 5.6.2 Perda de energia elétrica

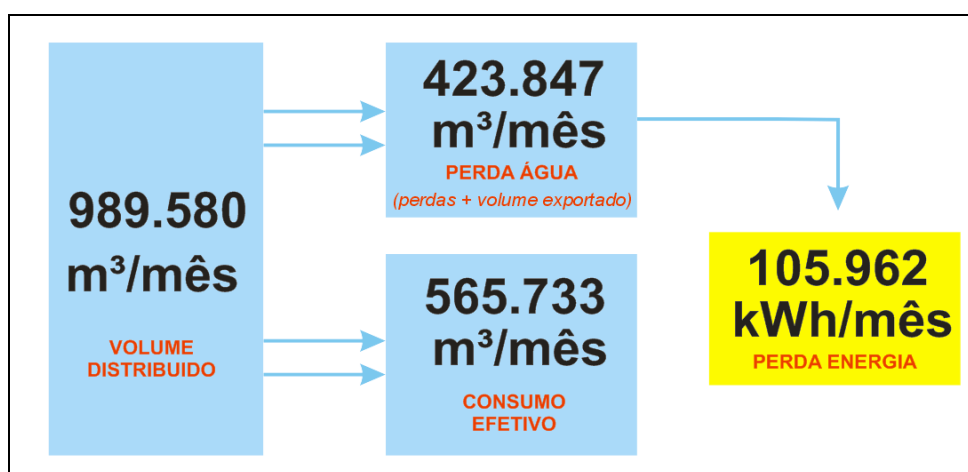
A perda de energia elétrica relativa ao bombeamento do volume de água perdido no 3º setor foi calculada multiplicando-se o volume médio de água perdido no 3º Setor (423.847 m³/mês) pelo consumo médio de energia (0,25 kWh/m³, obtido no monitoramento da estação elevatória), conforme a seguinte memória de cálculo:

$P = 423.847 \text{ m}^3 / \text{mês}$  (volume médio mensal de água perdida no 3º Setor, Esquema 12);

$E = 0,25 \text{ kWh} / \text{m}^3$  (consumo médio de energia na EE do 3º setor, Tabela 5)

$P_E = P \cdot E = 423.847 \cdot 0,25 = 105.962 \text{ kWh/mês}$  (perda mensal de energia).

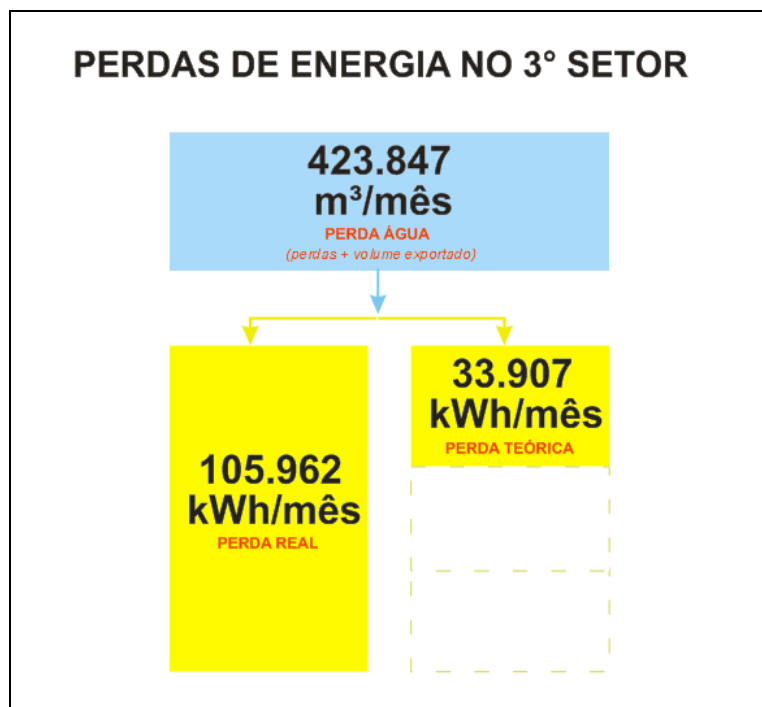
No Esquema 12 é apresentado o valor da perda média mensal de energia elétrica no 3º setor de abastecimento de água da RMB.



Esquema 12 - Perda média mensal de energia elétrica no 3º setor de abastecimento de água da RMB.

O valor mensal da perda energia elétrica relativa à perda do volume de água (423.847 m³/mês) no 3º setor foi de 105.962 kWh/mês. Para bombeamento desse mesmo volume de água perdido, considerando o consumo teórico de (0,08 kWh/m³)<sup>6</sup>, esse consumo deveria ser de 33.907,76 kWh/mês. Ou seja, hoje, a perda real de energia na EE do 3º Setor é 3,12 vezes maior que a perda teórica de energia, conforme pode apresentado no Esquema 13.

<sup>6</sup> Relação do consumo efetivo teórico de água para o dia de maior demanda (8.146.569,60 m³/ano), com o “consumo teórico de energia elétrica” (668.160,0 kWh/ano).



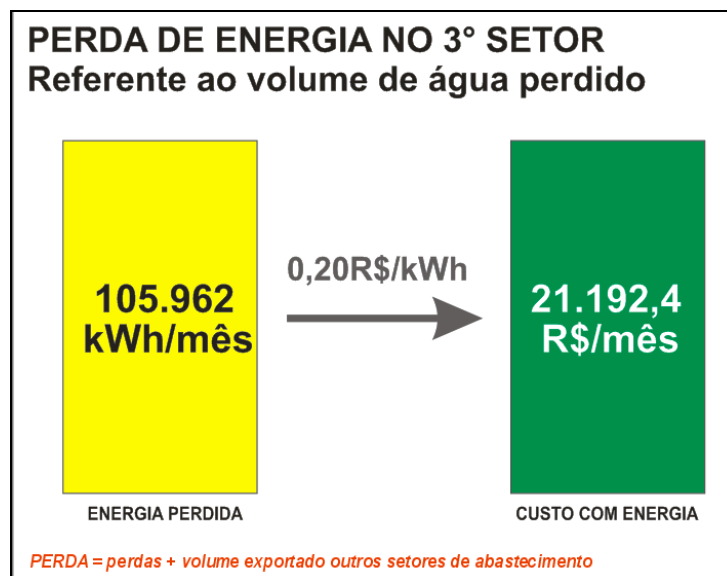
Esquema 13 – Comparação entre a perda real de energia com a perda teórica que deveria ocorrer no 3º Setor de abastecimento de água da RMB.

O custo mensal com a energia elétrica consumida no bombeamento do volume de água perdido no 3º Setor foi estimado multiplicando-se a perda real de energia (105.962 kWh/mês) pelo custo unitário da energia (0,20 R\$/m³, apresentado na Tabela 8), conforme o seguinte cálculo:

$$C = (\text{custo unitário da energia}) \cdot (\text{perda de energia})$$

$C = (1,20) \cdot (105.962) = 21.194,40 \text{ R\$ / mês}$  (custo mensal com energia perdida).

Portanto, a perda mensal com o custo da energia elétrica consumida no bombeamento da água perdida no 3º Setor foi de R\$ 21.194,40, conforme mostrado no Esquema 14.



Esquema 14 – Perda de energia elétrica no 3º Setor de abastecimento de água da RMB.

É importante ressaltar o consumo e custo com energia elétrica varia ao longo do dia, de acordo com a operação dos CMBs. Por exemplo, a energia que é consumida no horário de ponta (das 18h30min às 21h00min) é três vezes superior ao custo da energia nas demais horas do dia.

Para avaliar a variação dos custos com energia elétrica no 3º setor ao longo dia em função das horas correspondentes aos períodos “hora de ponta” e “fora de ponta” foi feita a simulação do consumo e custo de energia apresentada na Tabela 9.

Na referida simulação foi considerado:

- As “vazões horárias” foram obtidas multiplicando-se a “vazão média distribuída no 3º Setor” pelos “fatores multiplicativos” obtidos no hidrograma de vazão;
- O “consumo horário de energia” foi calculado multiplicando-se as “vazões horárias” pelo “consumo unitário” de 0,25 kWh/m<sup>3</sup>;



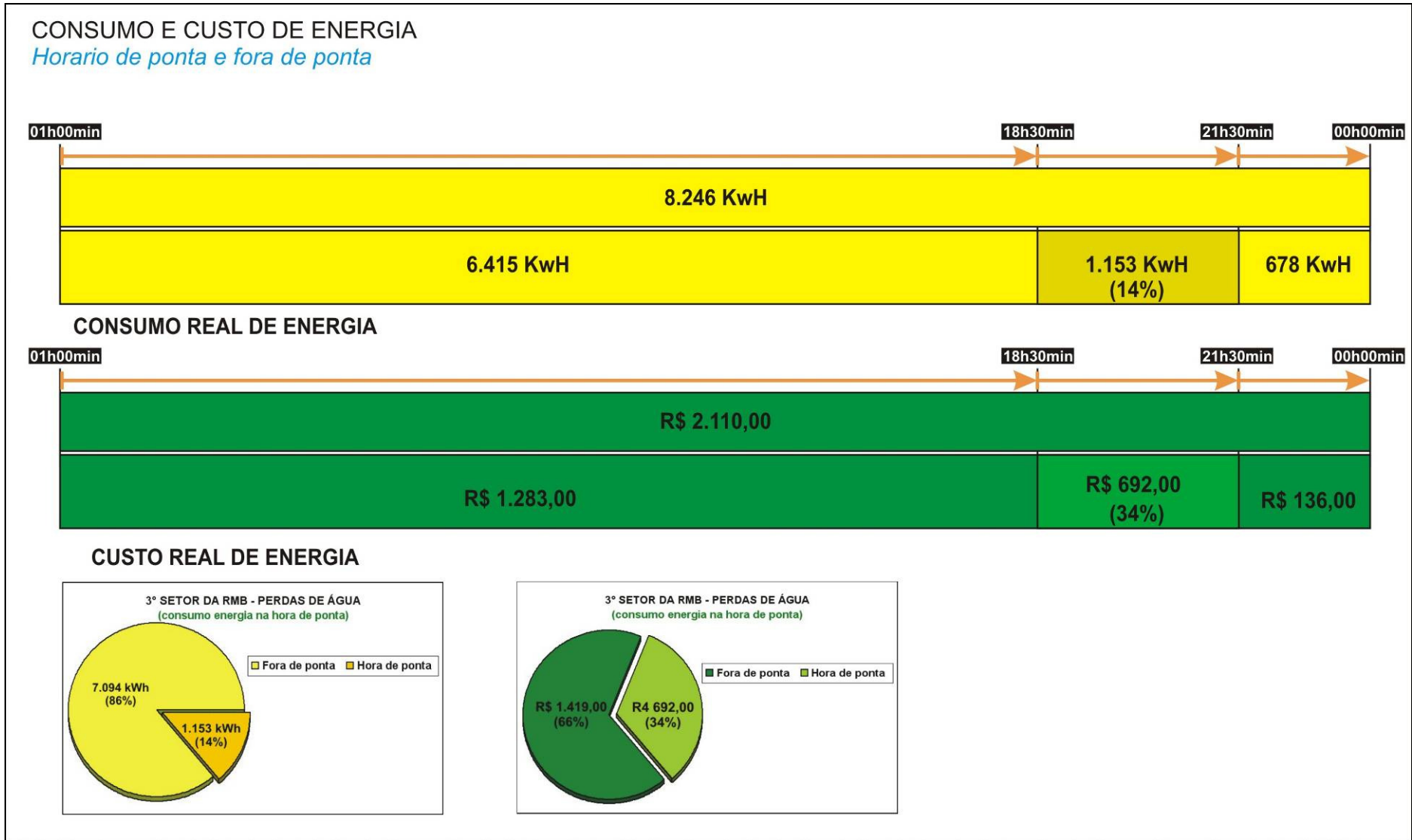
- Os “custos horários” foram determinados multiplicando-se os “consumos horários” pelo “custo unitário de energia no 3° Setor” (0,20 R\$/kWh). O custo unitário da energia consumida no horário fora de ponta foi considerando igual a 0,20 R\$/kWh, e para o horário de ponta 0,60 R\$/kWh (3 vezes 0,20 R\$/kWh).

Tabela 9 – Consumo e custo de energia elétrica na estação elevatória, com base nas variações horárias do hidrograma de vazão, horário de ponta e fora de ponta.

(continua)

HORA	VAZÃO (m <sup>3</sup> /h)	CONSUMO (kWh)	CUSTO (R\$/kWh)	CUSTO (R\$)
00h30min	658	164,5	0,2	32,89
01h30min	630	157,5	0,2	31,50
02h30min	660	164,9	0,2	32,99
03h30min	696	174,0	0,2	34,81
04h30min	776	193,9	0,2	38,79
05h30min	1206	301,6	0,2	60,31
06h30min	1546	386,6	0,2	77,32
07h30min	1634	408,5	0,2	81,71
08h30min	1722	430,5	0,2	86,10
09h30min	1768	441,9	0,2	88,38
10h30min	1852	463,1	0,2	92,62
11h30min	1817	454,3	0,2	90,86
12h30min	1819	454,8	0,2	90,96
13h30min	1860	465,1	0,2	93,02
14h30min	1826	456,5	0,2	91,30
15h30min	1778	444,4	0,2	88,88
16h30min	1760	440,0	0,2	87,99
17h30min	1652	413,0	0,2	82,60
18h30min	1636	409,1	0,6	245,45
19h30min	1526	381,6	0,6	228,96
20h30min	1448	361,9	0,6	217,17
21h30min	1402	350,4	0,2	70,08
22h30min	640	159,9	0,2	31,98
23h30min	673	168,1	0,2	33,63

Na simulação, o consumo diário de energia elétrica foi de 8.246 kWh, sendo 7.094 kWh (86%) no “horário fora de ponta” e 1.153 kWh (14%) no “horário de ponta. Esses 14% de energia, consumidas em apenas 3 horas, corresponderam a 34% do custo total diário, conforme pode ser observado no Esquema 15.



Esquema 15 – Consumo e custo de energia no horário de ponta e no horário fora de ponta, na EE do 3º Setor de abastecimento de água da RMB.

Dentre os principais problemas relacionados ao consumo excedente de energia elétrica na elevatória de água tratada do 3º Setor citam-se:

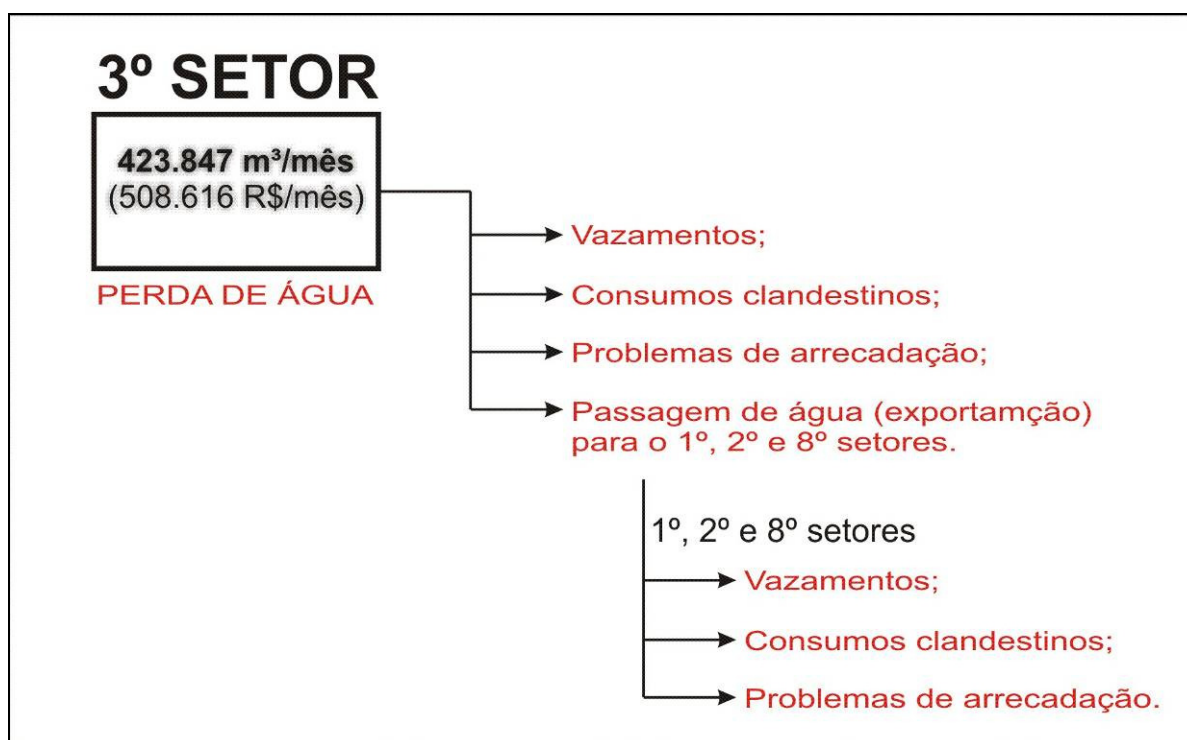
- A operação não automatizada dos CMBs tem causado grandes variações de consumo de energia (oscilações de até 56,51% do valor médio, observadas no monitoramento do consumo de energia na estação elevatória). O custo final da tarifa a ser cobrada pela concessionária de energia está relacionado a amplitude dessas oscilações;
- O acionamento dos CMBs ainda é do tipo Partida Direta (“On/Off”). Nesse tipo de partida o motor elétrico entra em funcionamento a plena tensão, consumindo potência muito superior à potência nominal, o que aumenta o consumo de energia;
- Os motores são muito antigos, com mais de 50 anos (são “standard” e não de “auto-rendimento”). Esses motores, quando comparados aos motores de auto-rendimento, consomem elevada energia reativa, ou seja, na sua partida demanda mais energia para sua indução;
- Os valores de consumo médio de energia normalmente são superiores a demanda contratada. O valor da tarifa para cada kWh a mais da demanda contratada é superior ao valor da tarifa normal, ou seja, há incidência de multas;
- A capacidade do reservatório superior é insuficiente para a demanda, impossibilitando a paralisação total ou parcial do bombeamento em horários de ponta. Na Região Norte, a energia é 3 vezes mais cara nos horários de ponta (de 18h30min as 21h30min).
- Não há uma rotina definida na operação dos conjuntos motor e bomba.

### 5.6.3 Despesas com a perda de água no 3º setor.

No bombeamento da água do 3º Setor ocorre consumo de energia elétrica de 105.962 kWh/mês relacionado com o volume de água perdido. Como o custo médio com energia no 3º Setor é de 0,20 R\$/m<sup>3</sup> (de acordo com Tabela 9), a perda em reais com energia elétrica é estimada em R\$ 21.192,4 por mês.

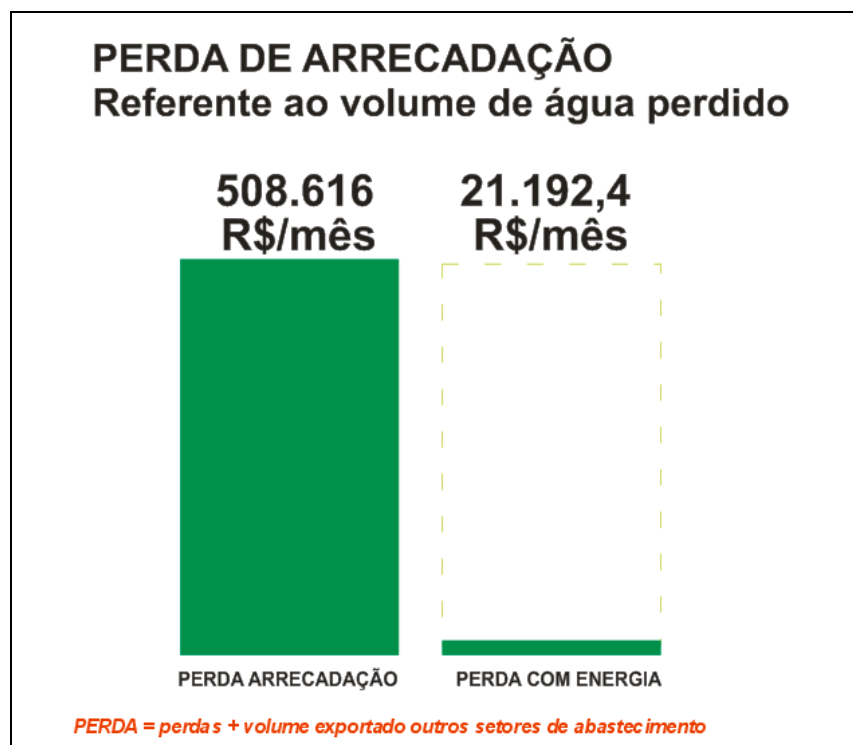
Considerando R\$ 1,20 o valor que deveria ser arrecadado para cada metro cúbico de água distribuído, de acordo com a política tarifária praticada no Estado do Pará, pode-se estimar que a perda de arrecadação referente ao volume perdido de água (423.847 m<sup>3</sup>/mês) no 3º Setor é da ordem de R\$ 508.616,00 ao mês.

É importante ressaltar que essa perda é referente a vazamentos, a consumos clandestinos e problemas de faturamento no 3º setor e/ou em seus setores adjacentes (1º, 2º e 8º setores), já que suas redes estão interligadas entre si por meio de 9 (nove) trechos, não macromedidos, conforme apresentado no Esquema 16.



Esquema 16 – Perda de água no 3º Setor de abastecimento de água da RMB.

O valor de perda de arrecadação, referente ao volume de água perdido, e da perda em reais com a energia elétrica no 3º Setor são apresentados no Esquema 17.



Esquema 17 – Perda de arrecadação referente ao volume de água perdido, e perda de energia elétrica no 3º Setor de abastecimento de água da RMB.

Vale ressaltar que essa perda de energia elétrica ainda é aumentada quando considerados os consumos de energia para bombeamento desse mesmo volume de água (423.847 m<sup>3</sup>/mês) nas três outras estações elevatórias do sistema Utinga São Brás (EE de água Bruta do Guamá, EE do Lago Bolonha e EE da ETA de São Brás. Porém esses custos não foram objetos desse estudo.

## 6 CONCLUSÕES

Com a realização do trabalho, foi possível observar que a falta de instrumentação para monitoramento e controle dos parâmetros operacionais, e pelo volume insuficiente do reservatório elevado, a operação das unidades do 3º Setor é realizada empiricamente, de acordo com a experiência do operador. Isso acaba incorrendo em perdas de água e energia elétrica, demonstrando, portanto, a necessidade de planejamento de uma rotina de controle operacional.

Atualmente no 3º Setor são distribuídos mensalmente 989.580 m<sup>3</sup> de água. Desse volume, 57,42 % é efetivamente consumido para atender a atual demanda de água dos 94.289 habitantes atendidos (consumo per capita efetivo de 200 L/hab.dia). Os 42,58 % (423.847 m<sup>3</sup>) restantes são considerados perdas de água decorrentes de vazamentos, transbordamentos, ligações clandestinas e/ou água exportada para outros setores, devido às interligações na rede de distribuição. Essa água perdida implica em uma perda de energia elétrica estimada de 105.962 kWh/mês (custo estimado em R\$ 21.192,4 mensais).

Considerando R\$ 1,20 o valor que deveria ser arrecadado para cada metro cúbico de água distribuído, tarifa mínima de acordo com a política tarifária praticada no Estado do Pará, pode-se estimar que a perda de arrecadação referente ao volume perdido de água no 3º Setor é da ordem de R\$ 508.616,00 ao mês. Essa perda é referente a vazamentos, a consumos clandestinos e problemas de faturamento no 3º setor e/ou em seus setores adjacentes (1º, 2º e 8º setores).

Em relação a estrutura e a operação do reservatório apoiado, da estação elevatória e do reservatório elevado foi identificado as seguintes problemáticas:

### Reservatório apoiado

- A instrumentação disponível, além de insuficiente é inadequada para o efetivo monitoramento dos parâmetros operacionais, tais como o nível, e as vazões de entrada e saída do reservatório;

- Apesar do volume do reservatório apoiado ( $8.600\text{m}^3$ ) ser quase 3 vezes superior a reserva necessária ( $2.881\text{m}^3$ ), 45% do seu volume não utilizado na operação do 3º Setor.

#### Estação elevatória

- Não há instrumentação de controle dos parâmetros operacionais, tais como: vazão, pressão, consumo de energia elétrica etc.
- A operação dos CMBs não ocorre de acordo com o previsto no projeto do 3º Setor, ou seja, não é do tipo “2+1”. Atualmente os 3 CMBs operam diariamente, ora, com operação do tipo “1+2” (funcionamento de apenas 1 CMB), ora, do tipo “2+1” (funcionamento de dois CMBs) e ora do tipo “3+0” (funcionamento de 3 CMBs, simultaneamente);
- Esses CMBs são operados com a seção de saída estrangulada por registro do tipo gaveta, tendo suas eficiências diminuídas;
- O acionamento dos conjuntos motor e bomba é do tipo Partida Direta, mais conhecida como “partida On/Off”. Nesse tipo de partida o motor parte a plena tensão, consumindo uma potência muito superior à potência nominal, aumentando o consumo e o custo com energia.
- Nos horários de ponta, em que o custo da energia elétrica no Pará é três vezes mais caros, não há paralisações dos CMBs, e em 20% das horas totais trabalhadas nesse horário ocorreu operação do tipo 3+0 (3 CMBs funcionando simultaneamente);
- Não há rotina operacional de funcionamento dos CMBs, sendo muito freqüente as operações do tipo 1+2, 2+1 e 3+0;

#### Reservatório elevado

- A instrumentação para controle do reservatório elevado é insuficiente e inadequada. O monitoramento do nível é realizada indiretamente por meio de manômetros, e a vazão de saída do

reservatório elevado é medida por meio de tubo de Pitot, porém esse medição não é contínuo, todos os dias;

- O volume do reservatório elevado é apenas 22,22% da reserva teórica calculada para o reservatório elevado do 3º Setor, portanto a funcionalidade desse reservatório é reduzida apenas à manutenção de pressão na rede de distribuição de água;

Em relação a rede de distribuição, a falta do isolamento do 3º setor com os demais setores e a inexistência de macromedidores nos trechos de interligação acabam impossibilitando a elaboração do balanço das vazões, e, portanto, a determinação precisa do volume perdido de água.

Como visto, o atual cenário operacional do 3º setor de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém demonstra a necessidade de implementação de Programa de Controle Operacional, o qual deverá ser formado por ações que possibilitem a elaboração de balanços hídricos, a obtenção e sistematização informatizada dos dados operacionais e comerciais, e a implantação de ações para redução das perdas reais e aparentes.



## 7 RECOMENDAÇÕES

As seguintes recomendações são propostas para realização de pesquisas que objetivem a otimização das unidades do 3º Setor, para reduzir as perdas de água e de energia elétrica:

- Setorização hidráulica da rede de distribuição, visto que atualmente a interligação do 3º Setor com os setores adjacentes dificulta a determinação do balanço hidráulico do sistema;
- Instalação de medidores de vazão na entrada e saída dos reservatórios apoiado e elevado, e de sensores/transmissores ultrassônicos para monitoramento dos níveis de água; e instalação e/ou substituição dos registros existentes por registros ou válvulas elétricos, de operação automática;
- Estudar alternativas para otimização das unidades de reservação do 3º Setor, inclusive a possibilidade de paralisação do bombeamento de água da ETA São Braz em horários de ponta, considerando a utilização dos 45% do volume de água do reservatório apoiado atualmente não usado na operação.
- Verificar a viabilidade técnica e econômica da implementação da operação das bombas em velocidade variáveis, por meio de inversores de frequência. Com isso a operação deixaria de ser do tipo on/off, e as manobras dos registros nas saídas dos CMBs seriam desnecessárias, diminuindo, portanto, o atual consumo de energia elétrica.
- Estudar viabilidade técnica e econômica de aumento da reservação do reservatório elevado, no sentido de possibilitar a paralisação dos CMBs em horários de ponta;

- Unificação dos cadastros técnicos e comerciais, para minimização das perdas aparentes.

## REFERÊNCIAS

ALEM SOBRINHO, P.; TSUTIYA, M. T. **Coleta e transporte de esgoto sanitário**. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2000.

ALVES, W.C; COSTS, A.J.M.P; GOMES, J.S; NILDA, O.I. **Macromedição**. Versão preliminar. Brasília: SEPURB, 1999, 96p;

ARAUJO, R. & NETTO, A. **Manual de hidráulica**. 8. Ed. São Paulo: EDGARD BLÜCHER LTDA. 1998;

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Rio de Janeiro. **NBR 12.217 – Projeto de Reservatório de distribuição de água para abastecimento público**. Rio de Janeiro, 1994.

AZEVEDO NETTO, J. M., et all. **Manual de Hidráulica**, Ed. Edgard Blucher Ltda, 8ª Edição, São Paulo, 1998.

BLACK, P. O. **Bombas - Livro Técnico AS**. Rio de Janeiro, 1979.

BRASIL. **Curso de capacitação à distância em gestão eficiente de água e energia elétrica em saneamento**. Rio de Janeiro: Ministério das Cidades/Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental/ Instituto Brasileiro de Administração Municipal, 2006;

BRASIL. Secretaria Especial de Desenvolvimento Urbano/ Secretaria de Política Urbana. **Programa nacional de combate ao desperdício de água: DTA-A2 Indicadores de Perdas nos Sistemas de Abastecimento de Água**. Brasília, 2004.

BRASIL. Secretaria Especial de Desenvolvimento Urbano/ Secretaria de Política Urbana. **Programa nacional de combate ao desperdício de água: DTA-C3 medidas de redução de perdas elementos para planejamento**. Brasília, 1999.

CATÁLOGO de indicador externo de nível. Disponível em: <http://www.nivetec.com.br/>. Acesso em: 19. jan. 2006.

CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS. **Eficiência energética em sistemas de bombeamento**: manual prático. Rio de Janeiro: Procel-Saneam/Eletrobrás, 2005;

CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS. **Eficiência energética em sistemas de bombeamento**: manual prático. Rio de Janeiro: Procel-Sanear/Eletrobrás, 2005a;

CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS. **Eficiência energética em sistemas de bombeamento**: livro bomba. Rio de Janeiro: Procel-Sanear/Eletrobrás, 2005b;

CETESB – Companhia Estadual de Tecnologia de Saneamento Básico e de Defesa do Meio Ambiente. **Técnicas de abastecimento e tratamento de água**. 2ª edição revisada, São Paulo, 1976.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARÁ. **Desenvolvimento de rotinas para redução da perda de água no sistema de abastecimento da água de Região Metropolitana de Belém: Relatório Técnico - Setor modelo 3º setor de abastecimento de água**. Volume II/III. Belém, 2006.

CRESPO, Patrício Gallegos. **Elevatórias nos sistemas de esgotos**. Belo Horizonte: Ed. UFMG, 2001.

CHEUNG, P.B.; REIS, L.F.R. **Estudo de objetivos múltiplos para reabilitação otimizada de sistemas de distribuição de água**. In: VI SEREA - Seminário Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimento Urbano de Água. João Pessoa (Brasil), 2006;

FERNANDES, Carlos. **Notas de aula: Bomba Centrífuga**. Disponível em: <<http://www.dec.ufcg.edu.br/saneamento/Bomb00.htm>> Acesso em: 05 jan. 2007.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. **Manual de Saneamento**. 3. ed. rev. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2004. 408p.

GOMES, H.P. **Eficiência hidráulica e energética em saneamento**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005. 114p.

GOMES, H.P. **Sistemas de abastecimento de água: dimensionamento econômico e operação de redes e elevatórias**. João Pessoa. ed. 2. Editora Universitária, 2004.

GONÇALVES, E. et al. **Metodologias para controle de perdas em sistema de distribuição de água**. Anais do VIII Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. João Pessoa-PB. Abril de 1998.

HELFRICK, A.D. & COOPER, W.D. **Instrumentação eletrônica moderna e técnicas de medição**. Rio de Janeiro: Prentice Hall do Brasil, 1990.

HYDRAULIC INSTITUTE. **Centrifugal, Rotary and Reciprocating pumps – Standards** H.I, New York, 2007. Disponível em:<  
[http://www.pumps.org/content\\_detail.aspx?id=1768](http://www.pumps.org/content_detail.aspx?id=1768)

HELLER L.; PÁDUA, V.L. **Abastecimento de água para consumo humano**. Belo horizonte. 1ª ed. Editora UFMG, 2006.

INCONTROL. **Manual de operação e instalação**: medidor e transmissor de nível. São Paulo: [s.n.], 2002.

INSTITUTE OF INTERNATIONAL EDUCATION. **Água e Energia** (S.l.:s.n.), Apostila.2007.

ITONAGA, L.C.H; KOIDE, S. **Estudo de perdas em rede de água do Distrito Federal**. In: CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL 23;

Kurokawa E. **Sistemática para avaliação de dados e indicadores de perdas em sistemas de distribuição de água**. 2001. Dissertação de mestrado-Centro tecnológico, (engenharia de produção) Universidade Federal de Santa Catarina.

MACINTYRE, A. J. – **Bombas e Instalações de Bombeamento**, Ed. LTC –Livros Técnicos e científicos editora S. A., 2ª edição revista, Rio de Janeiro, 1997.

MANÔMETRO e vacuômetro. Disponível em: < [http:// ellaboratorioloco.wordpress.com /2006/07/ 31/construccion-de compresor -vacio-avanzado](http://ellaboratorioloco.wordpress.com/2006/07/31/construccion-de-compresor-vacio-avanzado). Acesso em: 17 jan. 2007.

MEDEIROS FILHO, S. DE. **Medição de Energia Elétrica**. Rio de Janeiro, Editora Livros Técnicos e científicos, 4ª edição, 1997.

MEDIDOR. Disponível em: <<http://www.labee.ufsc.br/apresentacao/equipamentos.html>>. Acesso em: 17 jan. 2007.

MEDIDOR DE VAZÃO ELETROMAGNÉTICO. Disponível em: [www.siemens.com.br](http://www.siemens.com.br). Acesso em: 30 mai. 2009.

MESQUITA, A.L.A. et al. **Aspectos importantes na utilização de bombas centrífugas em velocidade variável para a redução do consumo de energia.** In: VI SEREA - Seminário Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimento Urbano de Água. João Pessoa (Brasil), 2006.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Curso de capacitação à distância em gestão eficiente de água e energia elétrica em saneamento.** Rio de Janeiro: Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental/ Instituto Brasileiro de Administração Municipal, 2006.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Programa de Modernização do Setor de Saneamento. Guia prático para controle de pressões na rede e operação de válvulas reguladoras.** Brasília [s.n.], 2005b.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos serviços de água e esgoto – série histórica 1995 a 2004.** Brasília: Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental/Programa de Modernização do Setor Saneamento, 2005. CD-ROM.

MOTORES elétricos. Disponível em: <<http://ww2.prefeitura.sp.gov.br>>. Acesso em: 20.nov.2006.

MIRANDA, E.C. **Avaliação de perdas em sistemas de abastecimento de água - indicadores de perdas e metodologias para análise de confiabilidade.** Brasília, 2002. Dissertação (Mestrado em tecnologia ambiental recursos hídricos) - Universidade de Brasília - Faculdade de Tecnologia - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Brasília, 2002, 215p.

OLIVEIRA, A.A.C.C.; SÁ JR, J.C DE. **Uso Eficiente de Energia Elétrica.** Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 1998.

PEREIRA, B.E.B. et al. **Técnica de abastecimento de água: Abastecimento de água.** São Paulo: CETESB/ASCETESB, 1987.

PEREIRA, J.A.R. (Coord.). **Plano diretor do sistema de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém-PA.** Belém: GPHS/UFPA, 2006. 5v;

REGISTRO. Disponível em: <[www.dec.ufcg.edu.br/saneamento/Aduora03.html](http://www.dec.ufcg.edu.br/saneamento/Aduora03.html)> Acesso em: 19 jan. 2007

SANTOS, F.I.; ZORZATTO, J.R.; VAL, L.A.A.; STEFFEN, J.L. **Avaliação do desempenho de hidrômetros em sistemas de abastecimento de água.** In: 20º Congresso de Engenharia Sanitário e Ambiental. Rio de Janeiro, 1999.

SATO, M.Y. **Controle de perdas de água no sistema público de distribuição de água.** São Paulo, 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, USP, 2000, 246p.

SILVESTRE, P. **Hidráulica Geral.** Rio de Janeiro: LTC Editora S.A., 1979.

SISTEMA de abastecimento de água. Disponível em: <<http://www.saneamento10.hpg.ig.br>>. Acesso em: 12 abr. 2006a.

SOBRINHO, P. A.; TSUTIYA, M. T. **Coleta e transporte de esgoto sanitário.** São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica Da Universidade de São Paulo. 2000;

TAMAKI, H. O.; SILVA, G. S.; GONÇALVES, O. M. **A medição setorizada como instrumento de gestão da demanda de água em sistemas prediais: estudo de caso na Universidade de São Paulo.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 6, n.1, p. 63-74, jan./mar. 2006.

TSUTIYA, Milton Tomoyuki. **Redução do Custo de Energia Elétrica em Sistemas de Abastecimento de Água.** São Paulo: editora Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2001

TSUTIYA, T.M. **Abastecimento de água.** São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Saneamento da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2004.

USEPA - Agência de Proteção Ambiental dos EUA. **Guia de Planos para Conservação de Água Tratada.** Washington D.C. 1998;

VÁLVULA. Disponível em: < [http://www.martival.com.br/retencao\\_plasticas.htm](http://www.martival.com.br/retencao_plasticas.htm) > Acesso em: 17 jan. 2007.