

III SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL  
(SILUBESA)

TEMA 1  
SISTEMA DE PRODUÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA

MANUTENÇÃO PREVENTIVA DE HIDRÔMETROS: CRITÉRIOS BASEADOS EM  
ANÁLISE CUSTO-BENEFÍCIO

MARCOS HELANO F. MONTENEGRO  
Engenheiro do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de S. Paulo S.A.  
São Paulo  
BRASIL

CINTIA MARIA F. HWA  
Est. do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de S. Paulo S.A.  
São Paulo  
BRASIL

## 1. INTRODUÇÃO

É descrita pesquisa realizada pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT para a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo - SABESP, com o apoio da Caixa Econômica Federal visando o estabelecimento de critérios racionais para a manutenção preventiva de hidrômetros de 3 m<sup>3</sup>/h instalados na Região Metropolitana de São Paulo. Esta região conta hoje com quase 2 milhões de ligações equipadas com hidrômetros de 3 m<sup>3</sup>/h, basicamente de três marcas, que vinham sendo retirados para manutenção a cada 5 anos ou a cada 3.000 m<sup>3</sup>. Para a determinação de novos critérios de substituição, foi utilizado um modelo de análise benefício-custo que considera o preço do hidrômetro, os valores da tarifa, o custo de manutenção e a evolução do erro do hidrômetro com o tempo de permanência na rede.

Através de um trabalho de campo em amostra com 1167 ligações foi possível levantar curvas da evolução do erro dos hidrômetros em função da idade para as três marcas, considerando diversas faixas de consumo mensal. Como resultado dos trabalhos, estão sendo propostos períodos para manutenção preventiva variando entre 9 e 13 anos.

## 2. MODELO DE DETERMINAÇÃO DA PERIODICIDADE ÓTIMA DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA DE HIDRÔMETROS

Os hidrômetros, como qualquer instrumento de medição, apresentam erros que tem consequências econômicas para a Concessionária de água e para o consumidor de água.

A precisão do hidrômetro depende da vazão instantânea. Para vazões instantâneas muito pequenas o hidrômetro praticamente não registra consumo.

Regra geral, o volume medido tende a ser menor que o volume efetivamente consumido, redundando em uma perda de receita para a concessionária, que será tanto maior quanto mais tempo o hidrômetro operar em condições de vazão reduzida, o que ocorre justamente quando o consumo da ligação decresce.

A perda de receita apontada acima é uma consequência das características tecnológicas do hidrômetro e da distribuição de vazão instantânea típica de cada consumidor. Essa perda ocorre mesmo com hidrômetros novos e servirá apenas como um referencial de comparação para a análise que será feita a seguir.

A hipótese fundamental do modelo apresentado a seguir é que a precisão do hidrômetro tende a piorar à medida que aumenta o tempo de serviço na rede.

A perda de receita que interessa na situação em exame é uma perda relativa, calculada pela diferença entre a perda de um hidrômetro com um certo tempo de uso e a perda de um hidrômetro novo, para

um dado tipo de usuário. A partir deste momento passa-se a designar como perda de receita essa perda relativa de receita.

A perda de receita tende portanto a aumentar com o tempo, em função da crescente perda de precisão do hidrômetro, até o momento em que a concessionária resolva retirar o hidrômetro para relizar um trabalho de manutenção. O custo da manutenção inclui os custos de retirada e substituição do hidrômetro na rede e a recuperação na oficina (ou no fabricante). Esta análise não contempla a manutenção corretiva, ocasionada por danos de terceiros ao hidrômetro ou sua parada total por qualquer motivo.

O modelo matemático apresentado a seguir serve como um instrumento de apoio para a escolha de uma periodicidade recomendada para manutenção de hidrômetros, sendo muito semelhante ao proposto por Bost.

Os seguintes símbolos são utilizados na descrição do modelo:

$n$  = intervalo de manutenção medido em anos.

$P_k$  = perda de receita anual para um hidrômetro com  $k$  anos de serviço

$C_n$  = custo de manutenção do hidrômetro após  $n$  anos de serviço

$V_n$  = valor do hidrômetro com  $n$  anos de serviço, após a realização da manutenção.

$A$  = preço de aquisição de um hidrômetro novo.

$i$  = taxa de retorno

$VP$  = valor presente

$VAEn$  = Valor Anual Equivalente.

O modelo proposto é um modelo de fluxo de caixa, com valores monetários sendo debitados ou creditados em épocas diferentes (ver as fórmulas utilizadas em Fleischer, por exemplo)

A Figura 2.1 representa esquematicamente os fluxos de dinheiro para  $n$  períodos.

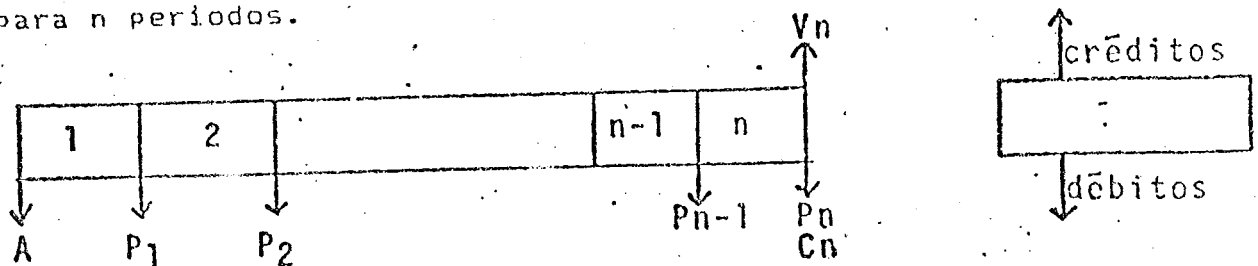


Figura 2.1 - Fluxo de caixa para uma política de manutenção após  $n$  anos.

Como os fluxos ocorrem em períodos diferentes, será necessário, como primeiro passo, convertê-los a valores de uma mesma data. Escolhe-se, por conveniência, a data zero como referência.

$$VP_n = A + \sum_{k=1}^n \frac{P_k}{(1+i)^k} + \frac{C_n - V_n}{(1+i)^n}$$

A variável de decisão do modelo é o período n.

Como não se pode comparar valores presentes de alternativas com diferentes horizontes de tempo, o recurso adotado será o de calcular um Valor Anual Equivalente para cada valor de n.

$$VAE = VP_n \cdot \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

O melhor período de manutenção n\* será aquele para o qual VAEn é mínimo.

O modelo apresentado é bastante geral e pode ser utilizado para diferentes tipos de análise.

A inclusão do preço de aquisição do hidrômetro (A) permite comparar custos de modelos diferentes, que poderá orientar a política de aquisição de hidrômetros novos, quando os preços de aquisição não forem iguais.

A determinação da periodicidade ótima de manutenção (n\*), para um dado modelo de hidrômetro, independe de seu custo de aquisição (A) se admitirmos que, com a realização da manutenção, o hidrômetro voltará a um estado "de novo" (valor residual Vn igual ao valor de aquisição A). A demonstração algébrica dessa afirmação é dada a seguir:

$$VP_n = A + \sum_{k=1}^n \frac{P_k}{(1+i)^k} + \frac{C_n}{(1+i)^n} - \frac{A}{(1+i)^n} = \sum_{k=1}^n \frac{P_k}{(1+i)^k} + \frac{C_n}{(1+i)^n} + A \left[ 1 - \frac{1}{(1+i)^n} \right]$$

$$\begin{aligned}
 VAEn &= VPn \cdot \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \left[ \sum_{k=1}^n \frac{Pk}{(1+i)^k} + \right. \\
 &+ \left. \frac{Cn}{(1+i)^n} \right] + A \cdot \frac{(1+i)^n - 1}{(1+i)^n} \cdot i \frac{(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \\
 VAEn &= Cn \cdot \frac{i}{(1+i)^n - 1} + \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \cdot \sum_{k=1}^n \frac{Pk}{(1+i)^k} + A \cdot i
 \end{aligned}$$

Esta fórmula é a mesma empregada por Bost. Na determinação dos Pk devem ser levados em consideração a estrutura tarifária e o volume não medido no ano k, bem como a existência ou não de ligação de esgoto.

A estrutura tarifária vigente na maioria das concessionárias de água no Brasil segue um modelo progressivo, semelhante ao adotado pela SABESP na Região Metropolitana de São Paulo, cujos valores são apresentados abaixo (preços válidos a partir de (22/11/87):

Consumo mensal Vol (m3)	Tarifa (Cz\$)
até 10 m3	42,60
de 10 a 20 m3	42,60 + 11,79 (Vol-10)
de 20 a 50 m3	160,50 + 20,74 (Vol-20)
50 m3	782,70 + 30,14 (Vol-50)

Na R.M.S.P., a SABESP cobra adicionalmente 100% da tarifa de água pelo serviço de esgotamento sanitário.

O volume não medido no ano k (Vk) é calculado multiplicando-se o erro Ek (estimado pela pesquisa de campo) pelo consumo médio do conjunto de ligações que está sendo considerado.

Tem-se como hipótese, na pesquisa de campo, que os erros Ek são estimados separadamente para sub-conjuntos homogêneos de ligações com qualidade de água uniforme, equipadas com mesmo modelo/marca de hidrômetro e cujos consumos médios mensais estejam dentro de limites pré-determinados.

Assim, o valor Pk é obtido multiplicando-se o volume não medido

Vk pelo preço unitário da água na faixa de consumo típica do subconjunto de ligações considerado.

No caso de consumidores com ligação de esgoto, a perda de faturamento deve ser corrigida com base na relação existente entre a tarifa de esgoto e a tarifa de água.

Os valores necessários para a alimentação deste modelo são portanto:

- custo inicial do hidrômetro
- custo de manutenção do hidrômetro (incluindo os custos de retirada e substituição na rede, custo de recuperação do hidrômetro na oficina e custo de administração).
- valor de hidrômetro após manutenção
- tarifa de água e esgoto
- taxa de retorno

### 3. PLANO AMOSTRAL

Neste capítulo é apresentado um resumo do plano amostral adotado e uma reformulação do mesmo em consequência dos resultados obtidos na análise de desempenho dos hidrômetros.

#### 3.1 - Plano amostral adotado

O universo desse estudo é o conjunto de hidrômetros de 3 m<sup>3</sup>/h, instalados na Região Metropolitana de São Paulo (R.M.S.P.). A SABESP considera a R.M.S.P. dividida em 80 agrupamentos e estes distribuídos em 382 setores. No município de São Paulo estão localizados 40 desses agrupamentos contendo 201 setores. Nos outros municípios da R.M.S.P. encontram-se 40 agrupamentos constituídos de 181 setores.

Segundo relatórios da SABESP, em outubro/85 existiam um total de 1.792.942 hidrômetros de 3 m<sup>3</sup>/h na R.M.S.P. dos quais 1.516.217 (85%) instalados no município de São Paulo.

Essas informações e fatores que poderiam afetar o desempenho de hidrômetros tais como: periodicidade de descarga, consumo acumulado, consumo médio mensal e fabricante, foram considerados na elaboração do plano amostral utilizado para selecionar ligações com o objetivo de determinar a evolução dos erros de hidrômetros de 3m<sup>3</sup>/h na R.M.S.P.

A determinação do número de hidrômetros selecionados foi baseada na variabilidade dos erros de mensuração. Essa variabilidade foi estimada através de informações disponíveis sobre erros esperados

que, sabe-se dependem da vazão considerada.

Informações sobre erros apresentados em hidrômetros usados foram analisados por Dib (1978). Nesse trabalho, os maiores erros relativos foram observados nas vazões de 10 a 50 l/h. Os erros vão diminuindo à medida que a vazão aumenta, tornando-se praticamente estáveis (entre + 2%), a partir de vazões maiores que 150 l/h. A variabilidade do erro relativo conseqüentemente é maior nas vazões menores e praticamente a mesma para vazões maiores que 150 l/h.

A partir dos erros relativos para vazões maiores que 150 l/h, apresentados nesse trabalho, foi estimada uma variabilidade (desvio-padrão) de 1,8%.

A atual norma NBR 8193/83, contempla dois tipos de hidrômetros Classe A e Classe B, para fixação das vazões limites dos campos de medição:

Classe A - vazão entre 150 l/h e 3.000 l/h: erro + 2%;  
- vazão entre 60 l/h e 150 l/h: erro + 5%

Classe B - vazão entre 120 l/h e 3.000 l/h: erro + 2%;  
- vazão entre 30 l/h e 120 l/h: erro + 5%

Em função dessas informações, na elaboração do plano amostral, a variabilidade (máxima) dos erros relativos foi admitida como sendo de 27%, ou seja, 15 vezes maior que a estimada (1,8%).

Adotou-se a suposição de que a variabilidade na vazão 10 l/h é 15 vezes a apresentada para vazões maiores que 150 l/h. A adoção de uma alta variabilidade (27%), maior que a normalmente observada, prende-se ao fato da mesma implicar num número maior de hidrômetros a serem amostrados. Conseqüentemente, trazendo uma maior confiabilidade nos resultados obtidos.

Destaca-se que a variabilidade de 27% adotada na determinação do tamanho da amostra foi muito próxima a obtida para a classe de consumo médio mensal de 0 a 10 m<sup>3</sup> (25,42%), uma das maiores observadas em todo estudo.

Inicialmente, levando em consideração apenas a variabilidade estimada foi determinando o número de hidrômetros a serem amostrados para se obter estimativas de erros relativos com precisão de 1,5% (diferença absoluta entre o erro relativo estimado e o verdadeiro menor ou igual a 1,5%) e um nível de confiança de 95%.

Com base nessas hipóteses, dimensionou-se a amostra a ser estudada com 1245 hidrômetros.

Uma vez determinado o número total de hidrômetros a serem amostrados foi elaborado o plano de seleção das ligações em duas

etapas. A primeira etapa consistiu na seleção de setores e a segunda, na seleção de hidrômetros por setor escolhido.

Dos 345 setores que compõem o universo de estudo, adotou-se a seleção de aproximadamente 12% desses setores como representativos dos setores da R.M.S.P.

Nessa seleção, alguns fatores foram considerados: periodicidade de descarga do setor e o número de hidrômetros por setor com consumo acumulado superior a 3.000 m<sup>3</sup>. Esse último fator, indica provavelmente, a participação de hidrômetros instalados a mais tempo ou hidrômetros que são submetidos a altas vazões.

Na segunda etapa foi determinado o número de hidrômetros selecionados por setor. Esse número é proporcional ao número total de hidrômetros do setor.

Para selecionar as ligações onde o estudo foi realizado, foi solicitado à SABESP, a emissão de listagens contendo os endereços de todas as ligações dos 40 setores escolhidos. Para se obter uma representatividade dos fatores: consumo médio mensal, o consumo acumulado e fabricante, foi solicitado à SABESP que essas informações, presentes no cadastro comercial da empresa, fossem também incluídas nas listagens enviadas ao IPT.

### 3.2 - Reformulação do plano amostral

Dos fatores considerados na elaboração do plano amostral, o consumo médio mensal, fabricante e tempo de instalação do hidrômetro na rede, foram os que se mostraram mais influentes no desempenho dos hidrômetros (ver capítulo 5). Somente esses fatores, foram considerados na análise de curvas de erros, base para o estudo custo-benefício (capítulo 6).

Em particular, a análise dos erros por periodicidade de descarga (qualidade da água) mostrou que os períodos de descarga apresentam erros médios e variabilidades bastante similares e portanto, não refletem efeito diferencial no desempenho dos hidrômetros. Acrescenta-se a esse fato, a análise da água realizada em vários locais da R.M.S.P., que mostrou não haver diferença significativa para os períodos de descarga considerados, para os parâmetros: cor, turbidez, ferro e alumínio (relatório da água).

Em trabalhos similares a serem realizados para se estudar o desempenho de hidrômetros, sugere-se em vista dos resultados obtidos que a amostra seja definida em função do consumo médio mensal, fabricante e tempo de instalação do hidrômetro.

Propõe-se a adoção de um plano de amostragem estratificada segundo o critério de Neyman na determinação do número de hidrômetros a serem selecionados por classe de consumo médio mensal e fabricante. O tempo de instalação do hidrômetro, embora um fator influente no desempenho dos hidrômetros, não deve ser considerado na definição dos estudos. A inclusão desse fator



conduziria a um número elevado de estratos ou seja, haveria um grande número de combinações de classe de consumo médio mensal, fabricante e tempo de instalação. Em vista disso, é sugerido a elaboração de um arquivo contendo para cada fabricante e classe de consumo médio mensal, os endereços e outras informações que se julgarem necessárias, ordenadas por tempo de instalação dos hidrômetros na rede. Os hidrômetros seriam selecionados de forma sistemática para cada combinação de classe de consumo médio mensal e fabricante, garantindo a representatividade do fator tempo de instalação.

No presente estudo, as classes de consumo médio mensal adotadas foram: 0 a 10, 10 a 20, 20 a 50 e mais de 50 m<sup>3</sup> (de acordo com a estrutura tarifária adotada pela SABESP) e, os fabricantes: Schlumberger, Liceu e Tecnobrás.

Os hidrômetros da marca Nansen e os hidrômetros de 3 m<sup>3</sup>/h de transmissão magnética de qualquer marca não foram incluídos na seleção das ligações devido a pouca participação dos mesmos no universo de estudo.

As relações matemáticas que permitem a obtenção do tamanho da amostra total e por estudo no caso de amostragem estratificada (Neyman) são:

i) amostra total

$$n = \frac{(\sum \frac{N_h S_h^2}{N} + \sum \frac{S_h^2}{N})}{D^2}$$

onde:

$$D^2 = \frac{d^2}{z_{\alpha/2}^2}$$

- d - precisão adotada
- $z_{\alpha/2}$  - valor da variável normal padrão para um nível de confiança 1
- $N_h$  - número de elementos do h-ésimo estrato
- $S_h$  - desvio-padrão da variável em estudo no h-ésimo estrato.
- N - número de elementos do universo
- ii) - amostra do estrato h

$$n_h = \frac{N_h S_h^2}{\sum \frac{N_h S_h^2}{N} + \sum \frac{S_h^2}{N}} n$$

Na tabela 3.1 são apresentados os desvio-padrões estimados para os erros relativos (capítulo 5), por classe de consumo médio mensal e fabricante.

Tabela 3.1 - Desvios-Padrões dos erros relativos (%) por classe de consumo médio mensal (m<sup>3</sup>) e fabricante

FABRICANTE	CONSUMO MENSAL (m <sup>3</sup> )			
	0 -110	10 -120	20 -150	> 50
SCHLUMBERGER	19.36	10.86	9.85	8.76
LICEU	28.91	16.98	12.03	9.17
TECNOBRAS	23.72	14.97	9.70	9.58

Na elaboração de um novo plano amostral os desvios-padrões da tabela 3.1 seriam utilizados como estimativas dos valores dos S e os N seriam obtidos a partir do cadastro da empresa; o índice h varia de 1 a 12 representando os 12 estratos identificados na tabela 3.1.

Em resumo, obtém-se o tamanho total da amostra (n), o tamanho da amostra para cada estrato (n<sub>h</sub>) e, através da ordenação do arquivo por tempo de instalação, para cada uma das classes de consumo médio mensal e fabricante, seleciona-se de forma sistemática os hidrômetros que comporão a amostra.

O plano amostral adotado no presente estudo utilizou inicialmente o esquema de amostragem casual simples em virtude da não disponibilidade de informações referentes a influência de fatores no desempenho dos hidrômetros e as variabilidades (desvios-padrões) das combinações dos níveis dos fatores.

#### 4. ASPECTO DO TRABALHO DE CAMPO

O trabalho de campo consistiu em instalar em cada ligação previamente selecionada para estudo, um hidrômetro novo, aferido, em série com o hidrômetro em utilização e apurar, através das leituras iniciais e finais dos dois aparelhos a diferença entre os volumes medidos. O período planejado para que os dois hidrômetros permanecessem juntos na rede foi de uma semana. No entanto, em alguns casos, este período foi maior por razões operacionais e, conseqüentemente, o período para apuração da diferença entre os volumes medidos também foi maior. Ao final do período de medição simultânea, cada hidrômetro antigo era removido e transportado para a oficina de manutenção da SABESP para aferição em bancada ou abertura para inspeção. Os hidrômetros novos permaneceram nos domicílios.

Prevendo as dificuldades que o técnico encarregado da instalação dos hidrômetros no campo iria encontrar, para cada caso de interesse foram selecionados três endereços cujas ligações tinham as mesmas características. Assim, para a amostra de 1245 ligações, foram relacionados 3.735 endereços.

Assim, o técnico encarregado do trabalho de instalação e remoção de hidrômetros recebeu para cada ligação a ser pesquisada uma planilha contendo três endereços. No campo, ele selecionava o endereço mais acessível, instalava o hidrômetro novo em série com o antigo, anotava as leituras iniciais dos dois hidrômetros e levantava uma série de informações adicionais para melhor caracterizar a ligação e o hidrômetro instalado. Por ocasião da remoção desse hidrômetro, as leituras finais eram registradas na mesma planilha.

## 5. RESULTADOS DO TRABALHO DE CAMPO

### 5.1 - Distribuição das ligações amostradas por setor

A Tabela 5.1 indica por agrupamento/setor o número previsto de ligações a serem pesquisadas e o número de ligações realizadas. Verifica-se que o número total de ligações previstas aumentou de 1245 para 1256, para uma melhor representatividade de alguns setores. Na coluna das ligações realizadas, verifica-se que 1167 hidrômetros foram instalados. Os principais motivos da não realização de 89 ligações foram: situação precária do cavalete, dimensões do cavalete, imóvel vazio, não autorização do proprietário, dificuldade de acesso ou de estacionamento, etc.

### 5.2 - Verificação e consistência de informações obtidas em campo

Nos trabalhos de verificação e consistência das informações das planilhas preenchidas em campo, ocorreram casos de discordância no código do hidrômetro apresentado na listagem fornecida pela SABESP e o registrado na planilha. Isso se deve possivelmente a erro de digitação ou transcrição dessa informação, mas também é possível que o hidrômetro existente na ligação por ocasião da emissão da listagem da SABESP (em agosto de 1986), da qual foram selecionados os endereços, tenha sido trocado por qualquer motivo antes da pesquisa.

### 5.3 - Cálculo dos erros e eliminação de resultados atípicos

A partir das informações de leitura inicial e final do hidrômetro novo e usado anotadas nas planilhas, foi calculado o erro (%) de medição de volume registrado pelo hidrômetro usado em relação ao hidrômetro novo da seguinte forma:

$$\text{ERRO} = \frac{\Delta U - \Delta N}{\Delta N} \cdot 100$$

onde:  $\Delta U$  - diferença entre a medição final e inicial do hidrômetro usado em m<sup>3</sup>.

$\Delta N$  - diferença entre a medição final e inicial do hidrômetro novo em m3.

Tabela 5.1 - Número de ligações pesquisadas por setor amostrado

AGRUPAMENTO / SETOR	Ligações pesquisadas	
	Num. previsto	Num. realizado
2/20	11	11
5/101	67	60
5/185	22	21
6/24	18	12
8/15	18	16
8/84	26	26
9/81	37	36
10/46	39	37
11/37	17	16
11/39	26	26
12/157	5	4
13/149	32	31
14/50	37	34
14/119	35	32
17/51	42	40
18/152	57	56
20/66	7	7
23/31	21	21
23/52	59	57
24/131	14	9
25/28	17	16
26/68	87	84
29/89	66	61
29/91	53	48
29/172	59	56
30/65	38	33
31/168	35	35
32/136	25	24
35/95	32	31
37/90	36	33
37/120	47	45
38/109	24	22
38/128	23	22
39/85	54	52
57/556	8	7
57/557	1	1
64/521	6	6
68/001	38	31
70/007	8	1
77/655	9	7
TOTAL	1256	1167

Dos 1167 erros observados, 57 foram eliminados das análises por motivos diversos: elevada discrepância entre os volumes registrados pelos hidrômetros usado e novo, travamento do hidrômetro usado, não variação de volume no período de observação. Os hidrômetros de registros números 527 e 557, apresentaram respectivamente consumos de 260m<sup>3</sup> em 9 dias e 243m<sup>3</sup> em 13 dias e por isso foram eliminados da análise. Dos casos de discordância no código do hidrômetro, 11 apresentaram consumo acumulado inferior a 900 m<sup>3</sup> e foram também eliminados. No total, 70 registros foram eliminados das análises.

#### 5.4 - Algumas características da amostra

As Tabelas 5.2 a 5.7 resumem algumas informações preenchidas nas 1097 planilhas que caracterizam a amostra.

Baseando-se em informação fornecida pela SABESP, considerou-se inicialmente que a cor do hidrômetro poderia identificar o ano de fabricação do hidrômetro ou o ano da última manutenção na oficina da empresa. Ao longo do projeto, verificou-se que essa informação não era precisa porque a própria SABESP muitas vezes não obedeceu seu próprio código de cores, havendo também casos onde o usuário pintou o hidrômetro. A Tabela 5.2 apresenta a distribuição das cores efetivamente encontradas porém esta informação não possibilitou nenhuma análise.

Tabela 5.2 - Distribuição de frequências segundo a cor do hidrômetro

COR	FREQUÊNCIA	
	ABS	REL (%)
01.MARROM	85	7.75
02.CINZA ESCURO	130	11.85
03.AZUL ESCURO	52	4.74
04.VERDE ESCURO	244	22.24
05.PRETO	49	4.47
06.CREME	29	2.64
07.BRANCO GELADO	14	1.28
08.AZUL CLARO	29	2.64
09.VERDE CLARO	211	19.23
10.BRONZE	240	21.88
11.VERMELHO	8	0.73
12.CINZA CLARO	2	0.18
13.BORDO	4	0.36
GERAL	1097	100.00

Verifica-se, pela Tabela 5.3, que a mesma proporção de hidrômetros foi amostrada para cada fabricante.

Tabela 5.3 - Distribuição de frequências segundo fabricante

FABRICANTE	FREQUÊNCIA	
	ABS	REL (%)
1.SCHLUMBERGER	371	33.82
2.LICEU	367	33.45
3.TECHOBRAS	359	32.73
GERAL	1097	100.00

Como era esperado, a maioria dos hidrômetros de 3m<sup>3</sup>/h são instalados em residências (ver Tabela 5.4) e 75% das ligações amostradas servia apenas uma economia (ver Tabela 5.5).

Tabela 5.4 - Distribuição de frequências segundo o tipo de ocupação

OCUPAÇÃO	FREQUÊNCIA	
	ABS	REL (%)
1.RESIDENCIAL	1037	94.53
2.COMERCIAL	43	3.92
3.INDUSTRIAL	9	0.82
4.OUTROS	8	0.73
GERAL	1097	100.00

Tabela 5.5 - Distribuição de frequências segundo número de economias

ECONOMIAS	FREQUÊNCIA	
	ABS	REL (%)
1	812	74.02
MAIS DE 1	285	25.98
GERAL	1097	100.00

A água em 93,8% das ligações pesquisadas é considerada sempre limpa pelos seus consumidores (ver Tabela 5.6).

Tabela 5.6 - Distribuição de frequências segundo a aparência da água

ÁGUA	FREQUÊNCIA	
	ABS	REL (%)
1. SEMPRE LIMPA	1029	93.80
2. EVENTUALMENTE TURVA	59	5.38
3. QUASE SEMPRE TURVA	9	0.82
GERAL	1097	100.00

Em 96% das ligações amostradas, o cavalete se encontrava abrigado (ver Tabela 5.7).

Tabela 5.7 - Distribuição de frequências segundo a situação do cavalete

SITUAÇÃO DO CAVALETE	FREQUÊNCIA	
	ABS	REL (%)
1. ABRIGO COM PORTAS	518	47.22
2. ABRIGO SEM PORTAS	540	49.23
3. SEM ABRIGO, AO AR LIVRE	26	2.37
4. SEM ABRIGO, DENTRO DO PREDIO	7	0.64
5. OUTROS	6	0.55
GERAL	1097	100.00

## 5.5 = Análise dos erros por fator controlado

Nesta seção são apresentadas as estatísticas referentes aos erros de mensuração de 1097 hidrômetros. As tabelas a seguir apresentam por nível do fator controlado: o número de observações, a média aritmética dos erros, o desvio padrão, o coeficiente de variação (%) e o desvio-padrão da média dos erros (erro-padrão).

Como se verifica na Tabela 5.8, os erros médios nos setores pesquisados oscilaram de -14,45% (setor 655) a 8,21% (setor 521) e as maiores variabilidades ocorreram no setor 521 (27,72%) e no setor 6 (25,36%).

A Tabela 5.9 relaciona os setores segundo a periodicidade de descarga da rede.

A Tabela 5.10 apresenta os resultados por período de descarga da rede.

Os hidrômetros localizados em setores com periodicidade de descarga de 2 dias, 7 dias e 15 dias, apresentaram erros médios em torno de -3,89%. erro médio obtido a partir dos erros de hidrômetros localizados em setores que não sofrem descarga periódica foi de -5,84%. Ressalte-se que o esperado era o inverso do verificado, ou seja, erros maiores nos hidrômetros instalados nos setores cuja rede sofre descarga periódica.

A Tabela 5.11 apresenta os resultados segundo o fabricante dos hidrômetros.

Os hidrômetros fabricados pelo Liceu apresentaram o maior erro médio (-8,07%) e a maior variabilidade (16,99%). Os erros médios dos hidrômetros fabricados pela Schlumberger e pela Tecnobrás foram respectivamente -3,76% e -0,88%.

Dois das variáveis controladas na seleção das ligações foram consumo médio mensal da ligação e consumo acumulado no hidrômetro. Essas informações constavam da listagem emitida pela SABESP em agosto de 1986. Para efeito de análise, no entanto, essas variáveis foram redefinidas utilizando as informações obtidas em campo. Para classificar os erros dos hidrômetros nas 4 classes de consumo médio mensal apresentadas na Tabela 5.12 foi utilizada a variação de volume registrado pelo hidrômetro usado ( $\Delta U$ ) e o número de dias correspondente ao período de estudo. O consumo mensal de cada ligação foi estimado pela relação:

$$\text{consumo mensal} = \frac{\Delta U}{n.\text{dias}} \times 30 \text{ dias}$$



Tabela 5.8 - Resultados por setor da R.M.S.P.

AGRUP	SETOR	N. Obs. (n)	MEDIA ( $\bar{X}$ )	D.P. (s)	C.V. (Z)	ID.P. DA MEDIA ( $s/\sqrt{n}$ )
2	20	11	-7.863	14.675	-186.64	4.425
5	101	58	-2.082	12.714	-610.56	1.669
5	185	21	-7.647	18.779	-245.57	4.098
6	24	11	2.892	11.792	407.77	3.555
8	15	16	-2.910	20.110	-691.07	5.028
8	84	25	-2.583	9.102	-363.62	1.820
9	81	32	-0.892	9.704	-1088.44	1.715
10	46	35	-3.982	12.384	-311.01	2.093
11	37	16	-3.651	11.889	-325.67	2.972
11	39	26	1.601	9.488	592.55	1.861
12	157	4	-1.195	6.560	-548.94	3.280
13	149	27	-2.727	12.993	-476.53	2.501
14	50	31	-5.444	8.711	-160.03	1.565
14	119	30	-4.648	9.944	-213.94	1.815
17	51	38	-0.774	12.370	-1597.76	2.007
18	152	53	-4.262	15.848	-371.86	2.177
20	6	7	-14.439	25.359	-175.63	9.585
23	31	20	-2.630	10.333	-392.98	2.311
23	52	56	-2.700	11.345	-420.15	1.516
24	131	9	-3.966	0.411	-212.09	2.804
25	28	15	-6.131	15.053	-245.51	3.887
26	68	77	-6.686	18.003	-269.28	2.052
29	89	59	-6.350	10.598	-166.89	1.380
29	91	48	0.570	14.154	2483.21	2.043
29	172	50	-5.574	12.253	-219.84	1.733
30	65	32	0.191	7.583	3965.01	1.341
31	168	31	-7.400	13.051	-176.36	2.344
32	136	24	-0.796	13.115	-1647.07	2.677
35	95	31	-0.512	14.560	-2842.24	2.615
37	90	31	-5.279	17.157	-325.00	3.081
37	120	42	-9.904	21.705	-219.15	3.349
38	109	20	-3.019	16.546	-548.07	3.700
38	128	18	-3.828	14.652	-382.73	3.454
39	85	46	-6.415	15.835	-246.84	2.335
57	556	7	-7.353	11.247	-152.96	4.251
57	557	1	-0.610	0.000	0.00	0.000
64	521	5	8.210	27.717	337.60	12.396
68	1	27	-7.271	12.266	-168.71	2.361
70	7	1	-2.800	0.000	0.00	0.000
77	655	6	-14.450	16.563	-114.63	6.762
GERAL		1097	-4.262	14.165	-332.35	0.428

Tabela 5.9 - Relação dos setores por período de descarga

PERÍODO DE DESCARGA	NUM. DE SETORES	IDENTIFICAÇÃO DOS SETORES
2 DIAS	2	90, 101
7 DIAS	9	31, 37, 51, 84, 85, 89, 91, 119, 185
15 DIAS	17	6, 15, 20, 24, 28, 39, 46, 50, 52, 65, 68, 81, 95, 109, 120, 157, 172
S/ DESCARGA	6	128, 131, 136, 149, 152, 168
S/ DESCARGA (OUTROS SET. RMSP)	6	1, 7, 521, 556, 557, 655

Tabela 5.10 - Resultados por período de descarga da rede

PERÍODO DE DESCARGA	N. Obs. (n)	MÉDIA ( $\bar{X}$ )	D.P. (s)	C.V. (%)	ID.P. DA MÉDIA ( $s/\sqrt{n}$ )
2 DIAS	89	-3.196	14.402	-450.63	1.527
7 DIAS	303	-3.780	13.033	-344.77	0.749
15 DIAS	496	-4.082	14.021	-363.04	0.665
S/ DESC.	209	-5.840	14.024	-240.13	0.970
GERAL	1097	-4.262	14.165	-332.35	0.428

Tabela 5.11 - Resultados por fabricante

FABRICA	N. Obs. (n)	MÉDIA ( $\bar{X}$ )	D.P. (s)	C.V. (%)	ID.P. DA MÉDIA ( $s/\sqrt{n}$ )
SCHLUNBERGER	371	-3.764	11.281	-299.71	0.586
LICEU	367	-8.073	16.993	-210.48	0.887
TECNOBRAS	359	-0.880	12.684	-1441.10	0.669
GERAL	1097	-4.262	14.165	-332.35	0.428

Tabela 5.12 - Resultados por classe de consumo médio mensal ( m<sup>3</sup> ).

CLASSE CONSUMO MÉDIO MENSAL ( m <sup>3</sup> )	N. Obs. (n)	MÉDIA ( $\bar{X}$ )	D.P. (s)	C.V. (%)	ID.P. DA MÉDIA ( $s/\sqrt{n}$ )
0 - 10	89	-17.909	25.421	-141.94	2.695
10 - 20	280	-6.155	15.144	-246.04	0.985
20 - 50	546	-2.249	10.676	-474.77	0.457
> 50	182	-0.716	9.058	-1265.56	0.671
GERAL	1097	-4.262	14.165	-332.35	0.428

Observa-se que com o aumento do consumo médio mensal os erros médios apresentam uma tendência decrescente bem como suas respectivas variabilidades.

Para cada classe de consumo médio mensal, foi calculada a média aritmética dos consumos estimados pela relação apresentada, sendo esses valores, considerados os pontos médios de cada classe. A Tabela 5.13 apresenta por classe de consumo o ponto médio, o erro médio subtraído de um desvio-padrão da média ( $\bar{x} - S_x$ ), o erro médio ( $\bar{x}$ ) e o erro médio acrescido de um desvio-padrão da média ( $\bar{x} + S_x$ ). A Figura 5.1 ilustra graficamente os dados apresentados

x  
na Tabela 5.13.

Tabela 5.13 - Erro médio e variações por classe de consumo médio mensal

CLASSE DE CONSUMO MÉDIO MENSAL	PONTO MÉDIO DA CLASSE	( $\bar{X} - s$ )	$\bar{X}$	( $\bar{X} + s$ )
0 - 10	7.22	-20.61	-17.91	-15.21
10 - 20	15.12	-7.07	-6.16	-5.25
20 - 50	30.87	-2.71	-2.25	-1.79
> 50	87.71	-1.39	-0.72	-0.05

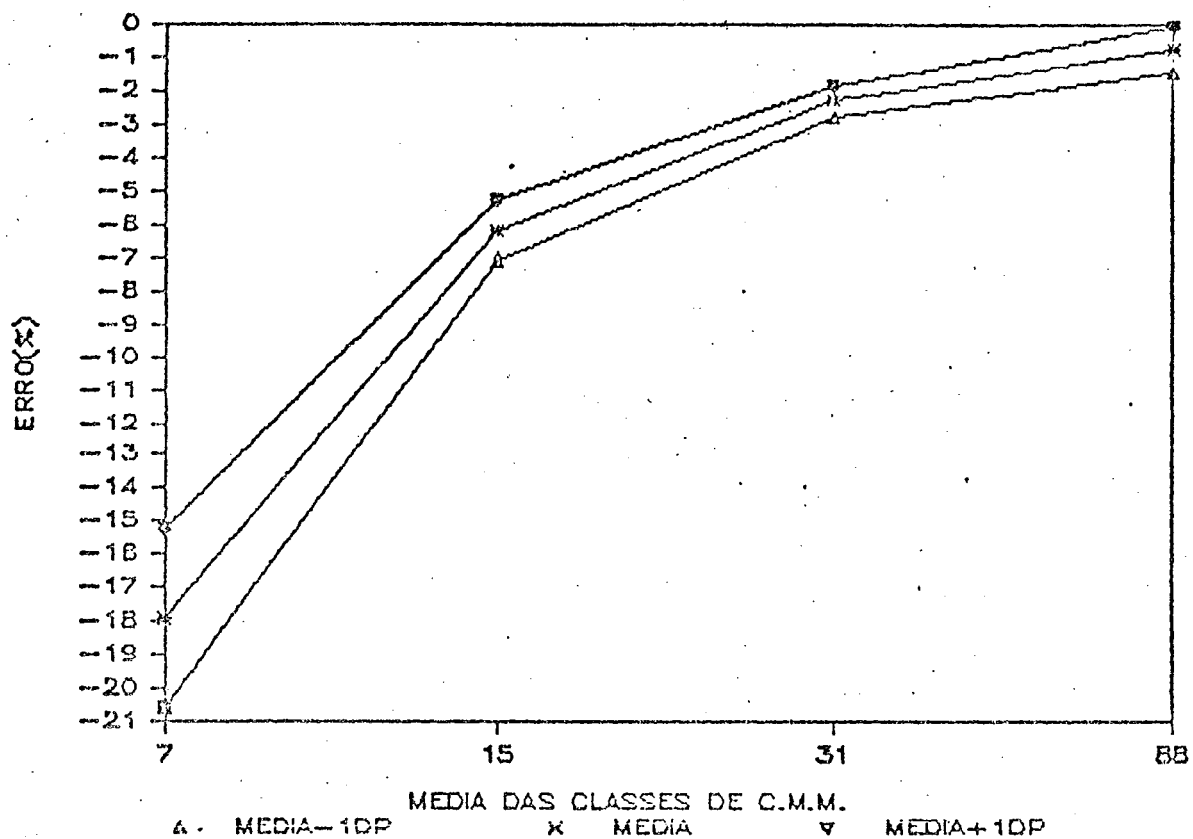


Figura 5.1 - Erros médios em função do consumo médio mensal ( $m^3$ )

Observa-se que os erros médios diminuem com o aumento do consumo médio mensal. Sabe-se que as vazões crescem com o aumento do consumo médio (ver os resultados obtidos por Montenegro) e portanto, é de se esperar que, de modo geral, os hidrômetros meçam com maior precisão os consumos mais altos. No entanto, o que os resultados obtidos indicam é que a precisão inicial dos hidrômetros se deteriora mais rapidamente nas vazões mais baixas. Isso porque o erro que está sendo medido é um erro relativo, obtido pela comparação entre dois hidrômetros, um novo e outro usado.

O consumo acumulado para efeito de análise, foi considerado como sendo o volume registrado pelo hidrômetro usado na ocasião de sua retirada do cavalete.

Partindo desses valores, foram definidas classes de consumo acumulado e calculadas as estatísticas apresentadas na Tabela 5.14.

Verifica-se que os erros médios encontrados não apresentam relação direta aparente com o consumo acumulado. Os erros médios oscilam em torno de -4,26% e o desvio-padrão em torno de 14,17%.

Tabela 5.14 - Resultados por classe de consumo acumulado ( m<sup>3</sup> )

CLASSE DE CONSUMO ACUMULADO ( m <sup>3</sup> )	N. Obs. (n)	MEDIA (X̄)	D.P. (s)	C.V. (Z)	ID.P. DA MEDIA (s/√n)
900 - 1400	180	-3.898	11.162	-286.37	0.832
1400 - 1900	165	-4.639	15.106	-325.63	1.176
1900 - 2300	138	-5.098	12.938	-253.79	1.101
2300 - 2800	177	-4.758	16.566	-348.20	1.245
2800 - 3200	102	-4.395	13.163	-299.53	1.303
3200 - 3600	122	-5.464	16.016	-293.12	1.450
3600 - 4000	74	-2.258	15.932	-705.60	1.852
>4000	139	-2.739	12.302	-449.16	1.043
GERAL	1097	-4.262	14.165	-332.35	0.428

O tempo de instalação dos hidrômetros na rede também foi estudado. Dos 1097 hidrômetros considerados, não havia informação na listagem da SABESP sobre a data de instalação de 45 hidrômetros. Esses não foram incluídos na Tabela 5.15. O tempo de instalação na rede tem como referência o ano de 1987 ou seja, 10 ou mais anos significa hidrômetros instalados no ano de 1977 ou antes; 4 ou menos no ano de 1983 ou após.

Da forma como foram agrupados os dados, nota-se que os erros médios e respectivas variabilidades apresentam uma tendência crescente a medida que o tempo de instalação aumenta.

Tabela 5.15 - Resultados por tempo de instalação na rede

TEMPO DE INST. NA REDE (ANOS)	N. Obs. (n)	MEDIA (X̄)	D.P. (s)	C.V. (Z)	ID.P. DA MEDIA (s/√n)
10 OU MAIS	169	-5.667	16.627	-293.39	1.279
8 a 9	254	-4.512	14.985	-332.09	0.940
5 a 7	463	-3.690	13.147	-356.30	0.611
4 OU MENOS	166	-2.831	11.819	-417.54	0.917
GERAL	1052	-4.262	14.165	-332.36	0.437

## 5.6 - Curvas de Erros

Os erros médios apurados no trabalho de campo apresentaram variação significativa com relação aos seguintes parâmetros: fabricante (marca do hidrômetro), consumo médio mensal e tempo de instalação na rede. Examinando-se os resultados agrupados por fabricante, verifica-se que os hidrômetros conjuntos homogêneos de ligações ou seja, ligações com hidrômetros de mesma marca e classe de consumo médio mensal, tomando como parâmetro o tempo de permanência na rede.

As tabelas a seguir apresentam por fabricante, classe de consumo médio mensal e ano de instalação os erros médios e correspondentes desvios-padrões da média. Através das informações dessas tabelas foi possível elaborar curvas de erro. Essas curvas permitem detectar conjuntos homogêneos de ligações ou seja, ligações com hidrômetros de mesma marca e classe de consumo médio mensal, tomando como parâmetro o tempo de permanência na rede.

As tabelas a seguir apresentam por fabricante, classe de consumo médio mensal e ano de instalação os erros médios e correspondentes desvios-padrões da média. Através das informações dessas tabelas foi possível elaborar curvas de erro. Essas curvas permitem detectar a evolução dos erros de medição de hidrômetros para um dado período de instalação do hidrômetro na rede. As curvas de erro mostram por ano de instalação, o erro médio (estimado) e o intervalo de confiança (um desvio-padrão da média) para cada fabricante e classe de consumo.

### 5.6.1 - Hidrômetros Schlumberger

A Tabela 5.16 apresenta os resultados para os hidrômetros da marca Schlumberger. Nela observa-se que os maiores erros ocorrem nas classes de consumo médio mensal de 0 a 10 e 10 a 20 m<sup>3</sup>. Na classe de 0 a 10 m<sup>3</sup> os erros médios variam de 3,61% a -52,73%. Os erros médios não apresentam nenhuma tendência com relação ao ano de instalação. As variabilidades dos erros dessa classe foram as maiores observadas quando comparadas com as demais classes de consumo. Na classe de 10 a 20 m<sup>3</sup> os erros médios oscilam entorno de -5,60%. Nenhuma tendência é apresentada pelos erros médios em função do ano de instalação. As variabilidades dos erros são consideravelmente menores do que as observadas na classe de 0 a 10 m<sup>3</sup>. Nas classes de 20 a 50 m<sup>3</sup> e maior que 50 m<sup>3</sup>, tanto os erros médios como as variabilidade apresentam-se em níveis menores do que os observados nas classes anteriores e também nenhuma tendência foi detectada em função do ano de instalação dos hidrômetros.

As Figuras 5.2 a 5.5 ilustram os resultados da Tabela 5.16.

Tabela 5.16 - Erros médios e respectivos desvios-padrões da média para o fabricante Schlumberger

ERRO RELATIVO (%)	CLASSE DE CONSUMO MEDIO (m <sup>3</sup> )				TOTAL
	0 -  10	10 -  20	20 -  50	> 50	
ANO DE INSTALACAO					
≤ 1974					
N	4	6	3		13
MEDIA	-5.913	-2.774	-3.564		-3.922
D.P. MEDIA	8.013	3.986	2.979		2.914
1975					
N	2	3	5	1	11
MEDIA	-22.510	-7.066	-9.423	-3.10	-10.331
D.P. MEDIA	18.536	2.481	9.898		5.323
1976					
N		5	8		13
MEDIA		-7.591	-4.683		-5.801
D.P. MEDIA		5.320	3.299		2.776
1977					
N	3	4	8		15
MEDIA	-9.908	-6.722	-1.806		-4.738
D.P. MEDIA	4.607	6.437	1.990		2.194
1978					
N	2	7	16	5	30
MEDIA	-12.351	-6.879	-3.236	5.101	-3.304
D.P. MEDIA	5.256	2.971	3.304	1.264	2.058
1979					
N	8	21	37	10	76
MEDIA	-6.149	-1.701	-3.109	3.527	-2.167
D.P. MEDIA	5.960	2.606	1.380	5.612	1.370
1980					
N	6	20	26	7	59
MEDIA	-18.776	-8.821	-3.249	-1.410	-6.499
D.P. MEDIA	11.360	1.534	2.160	2.280	1.665
1981					
N	1	6	26	7	40
MEDIA	3.611	-8.676	-2.440	.522	-2.706
D.P. MEDIA		3.554	1.749	2.181	1.362
1982					
N	2	8	21	12	43
MEDIA	-13.731	-5.245	-1.558	1.401	-1.984
D.P. MEDIA	9.043	3.953	2.099	1.699	1.445
1983					
N		5	27	13	45
MEDIA		-2.149	-3.051	-1.621	-2.537
D.P. MEDIA		10.652	1.713	2.142	1.599
1984/1985					
N	1	1	2	10	14
MEDIA	-52.727	-14.028	-2.240	.354	-4.835
D.P. MEDIA			4.338	1.639	4.019
TOTAL					
N	29	86	179	65	359
MEDIA	-12.466	-5.602	-3.039	.824	-3.715
D.P. MEDIA	3.596	1.171	.736	1.086	.602

Figuras 5.2 a 5.5 - Curvas de erros médios e respectivos desvios padrões da média  
Hidrômetros Schlumberger

Figura 5.2

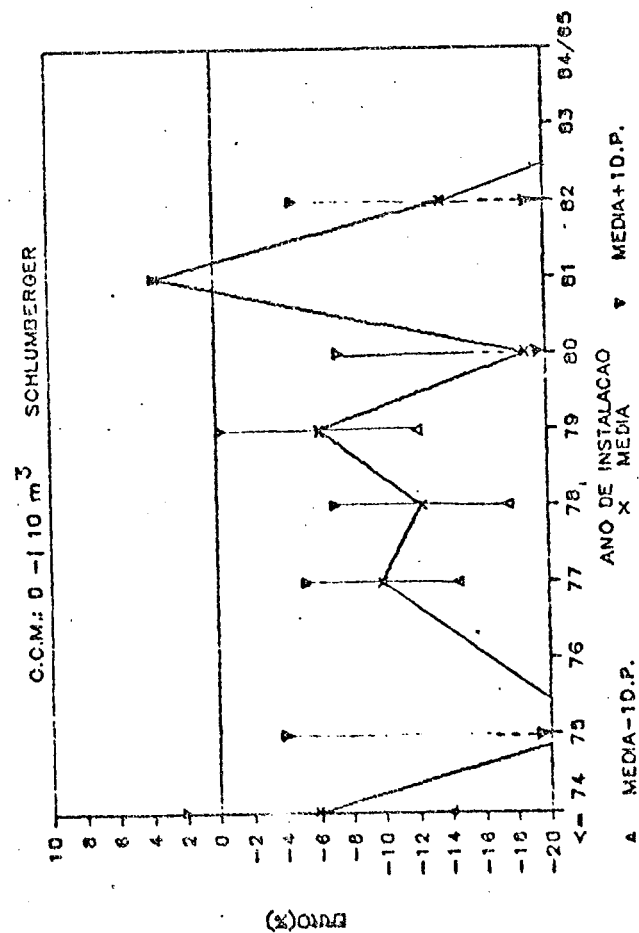


Figura 5.4

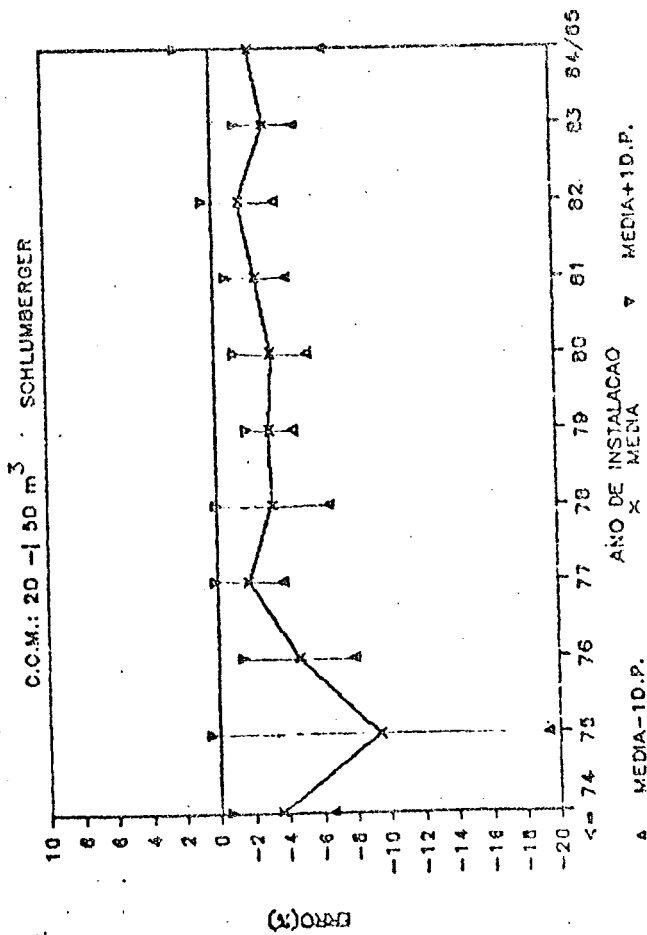


Figura 5.3

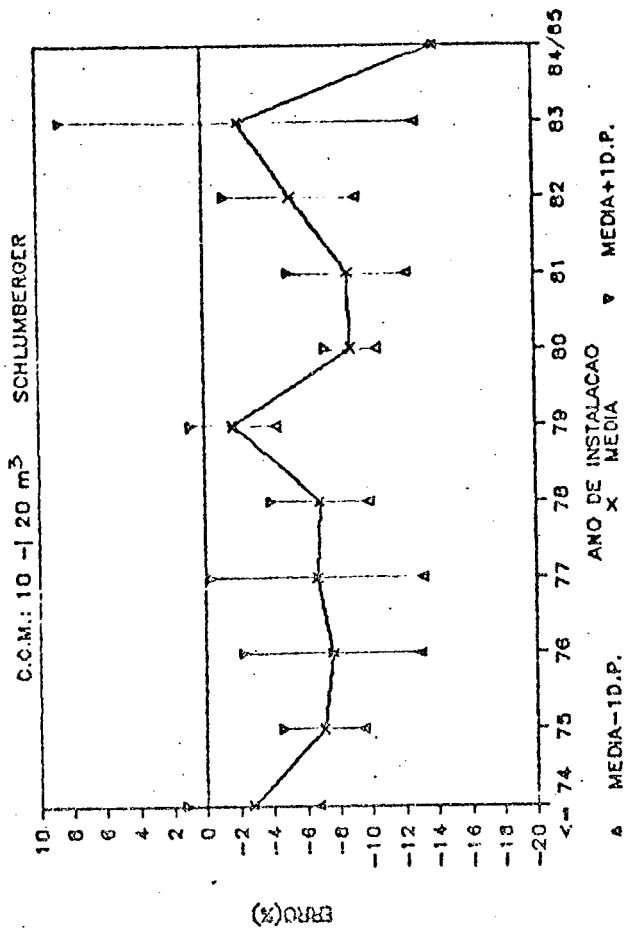
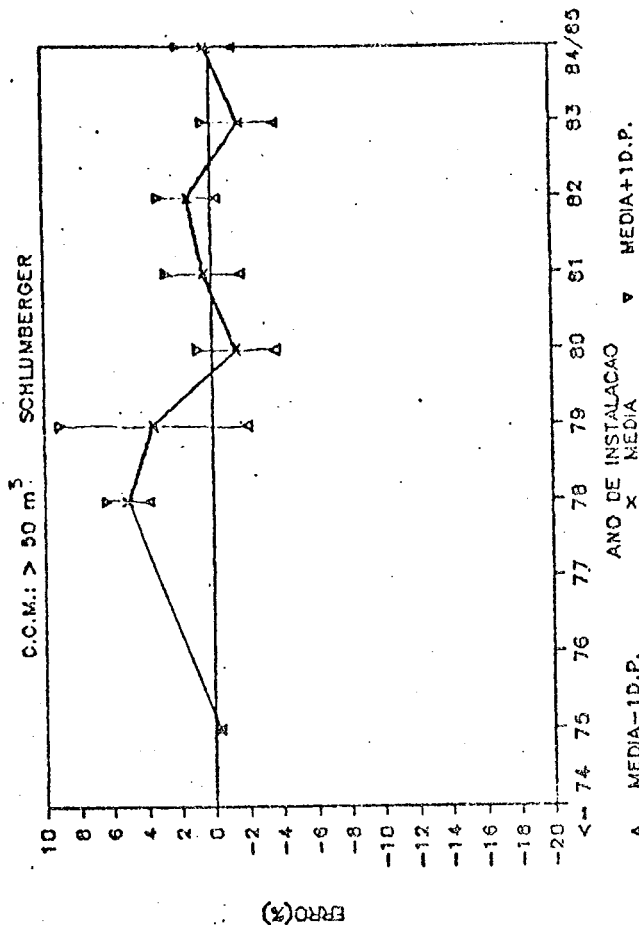


Figura 5.5





Na Figura 5.6 são apresentados os erros médios para as quatro classes de consumo médio mensal consideradas. Pode-se verificar que para as classes de consumo médio mensal de 20 a 50 e maior que 50 m<sup>3</sup> (relacionadas a maiores vazões) os erros médios são menores. Como salientado, para nenhuma das classes de consumo médio mensal foi observada uma tendência dos erros em função do ano de instalação.

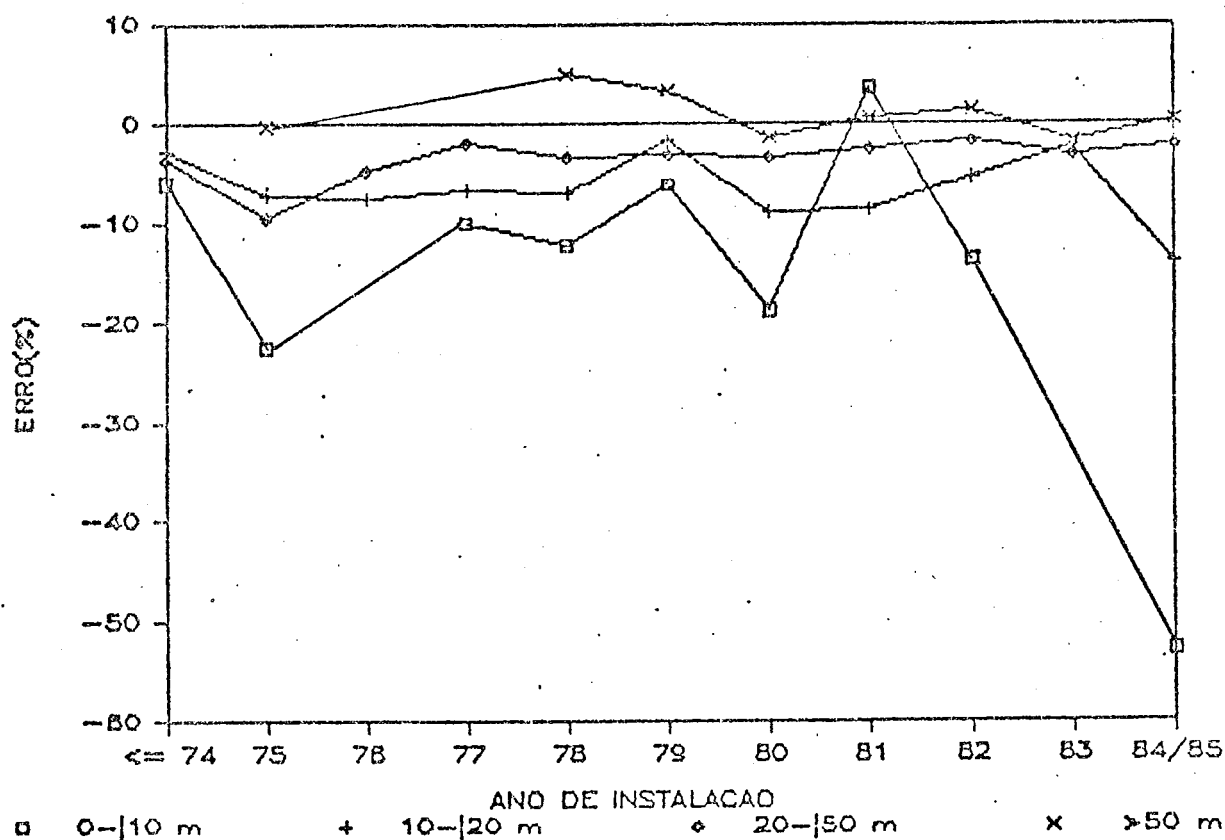


Figura 5.6 - Curvas de erros médios para as quatro classes de consumo médio mensal Hidrômetros Schlumberger

#### 5.6.2 - Hidrômetros LICEU

Os hidrômetros fabricados pelo Liceu mostraram um comportamento semelhante aos da marca Schlumberger para todas as classes de consumo médio mensal. No entanto, os erros médios observados nos hidrômetros da marca LAO são maiores bem como suas respectivas variabilidades. A Tabela 5.17 apresenta os resultados para os hidrômetros desta marca e as Figuras 5.7 a 5.10 ilustram esses resultados.

Tabela 5.17 - Erros médios e respectivos desvios-padrões da média para o fabricante Liceu

ERRO RELATIVO (%)	CLASSE DE CONSUMO MEDIO (m <sup>3</sup> )				TOTAL
	0 - 10	10 - 20	20 - 50	> 50	
ANO DE INSTALACAO					
< 1974					
N	5	9	4		18
MEDIA	-16.498	-11.652	-8.824		-10.592
D.P. MEDIA	12.975	6.242	1.551		4.703
1975					
N	4	1	6		11
MEDIA	-40.480	-13.577	-10.291		-21.568
D.P. MEDIA	10.308		4.847		6.207
1976					
N		3	2		5
MEDIA		-3.189	-15.039		-7.929
D.P. MEDIA		6.666	9.609		5.567
1977					
N	2	3			5
MEDIA	-29.761	-12.023			-19.118
D.P. MEDIA	16.386	18.977			12.400
1978					
N	3	10	12		25
MEDIA	-30.405	-14.404	-5.290		-11.949
D.P. MEDIA	11.926	4.599	2.542		2.951
1979					
N	7	15	32	3	57
MEDIA	-25.127	-8.915	-8.286	-3.512	-10.268
D.P. MEDIA	14.414	4.254	2.639	3.873	2.587
1980					
N	6	15	22	12	55
MEDIA	-29.121	-15.291	-1.922	-2.280	-8.613
D.P. MEDIA	13.311	5.111	2.149	2.436	2.488
1981					
N	2	15	20	8	45
MEDIA	-52.620	-7.142	-7.794	-8.813	-8.328
D.P. MEDIA	20.006	3.827	3.198	1.979	2.501
1982					
N		14	30	18	62
MEDIA		-4.864	-4.639	-5.551	-3.503
D.P. MEDIA		4.441	2.113	1.136	1.463
1983					
N		11	28	13	52
MEDIA		-6.646	-9.972	2.269	-1.862
D.P. MEDIA		5.115	1.862	1.770	1.544
1984/1985					
N			3	8	11
MEDIA			-9.973	-9.889	-7.457
D.P. MEDIA			1.670	6.727	4.977
TOTAL					
N	29	96	159	62	346
MEDIA	-29.345	-9.578	-4.976	-2.096	-7.779
D.P. MEDIA	5.369	1.733	1.954	1.165	1.896

Figuras 5.7 a 5.10 - Curvas de erros médios e respectivos desvios-padrões da média  
Hidrômetros Liceu

Figura 5.7

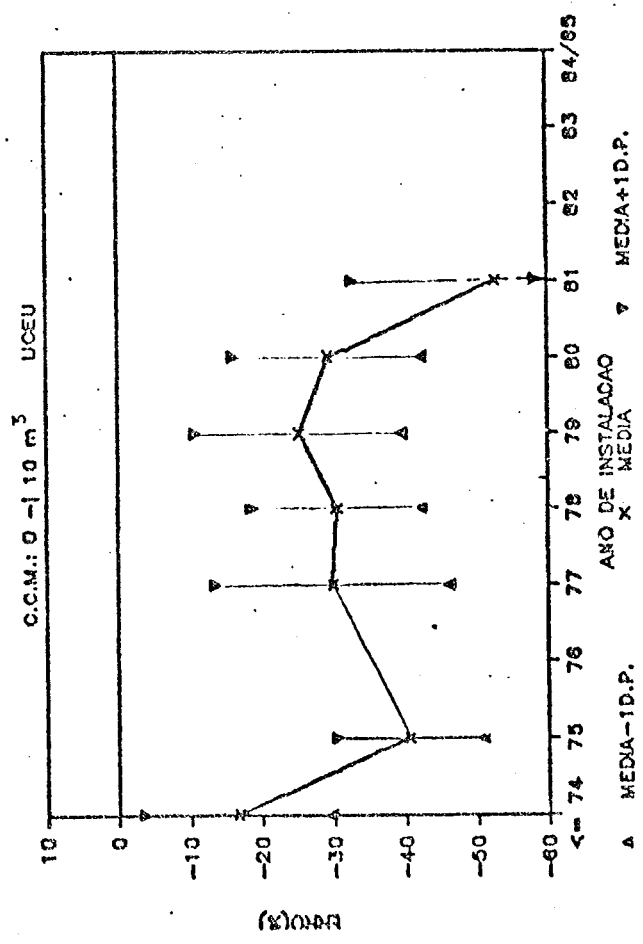


Figura 5.8

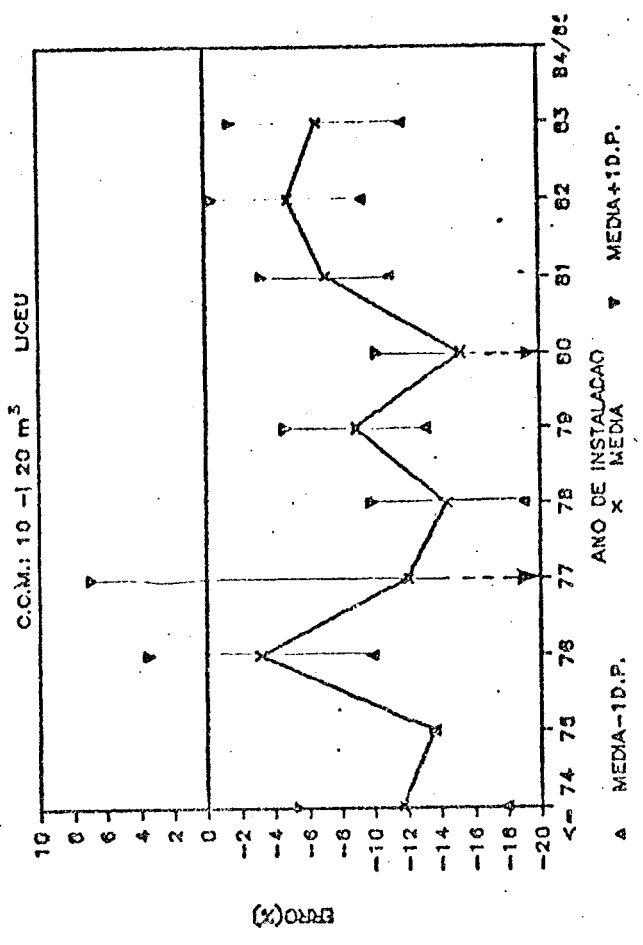


Figura 5.9

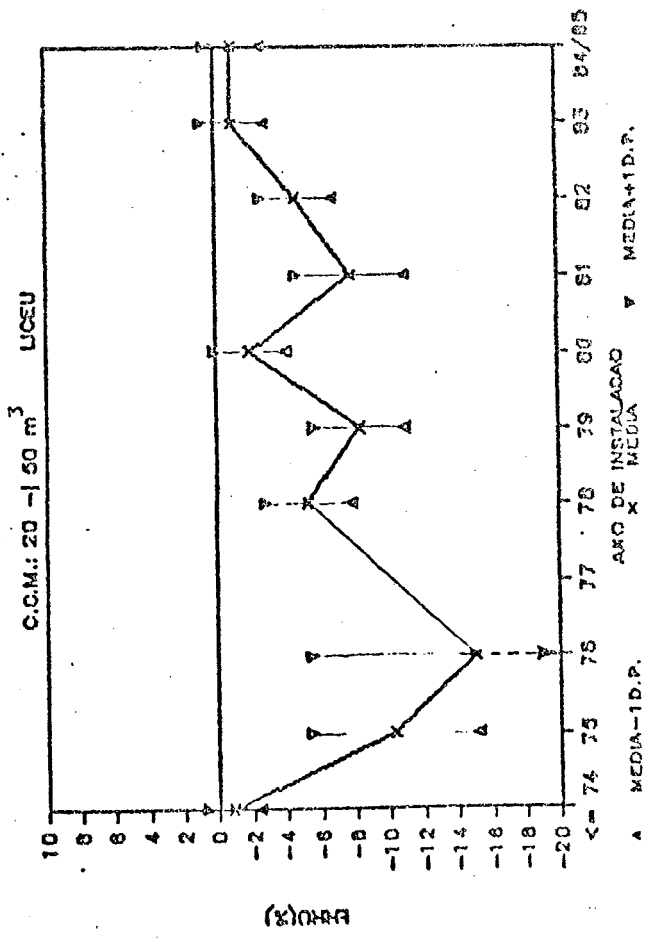
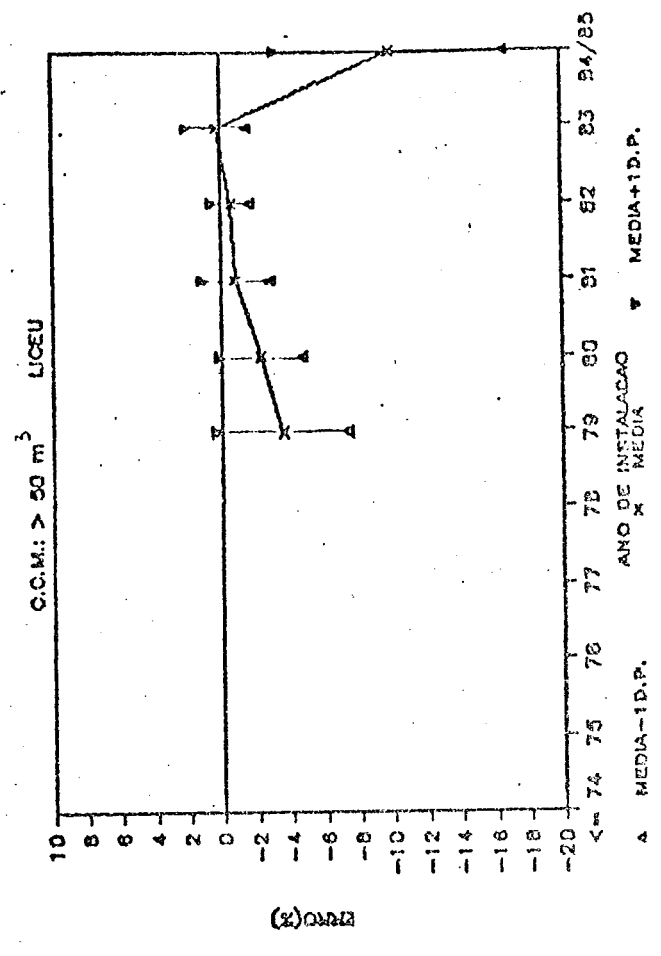


Figura 5.10



Na Figura 5.11 observa-se que os erros médios para a classe de consumo médio mensal de 0 a 10 são acentuadamente maiores que as demais classes. Nenhuma tendência dos erros em função do ano de instalação foi observada.

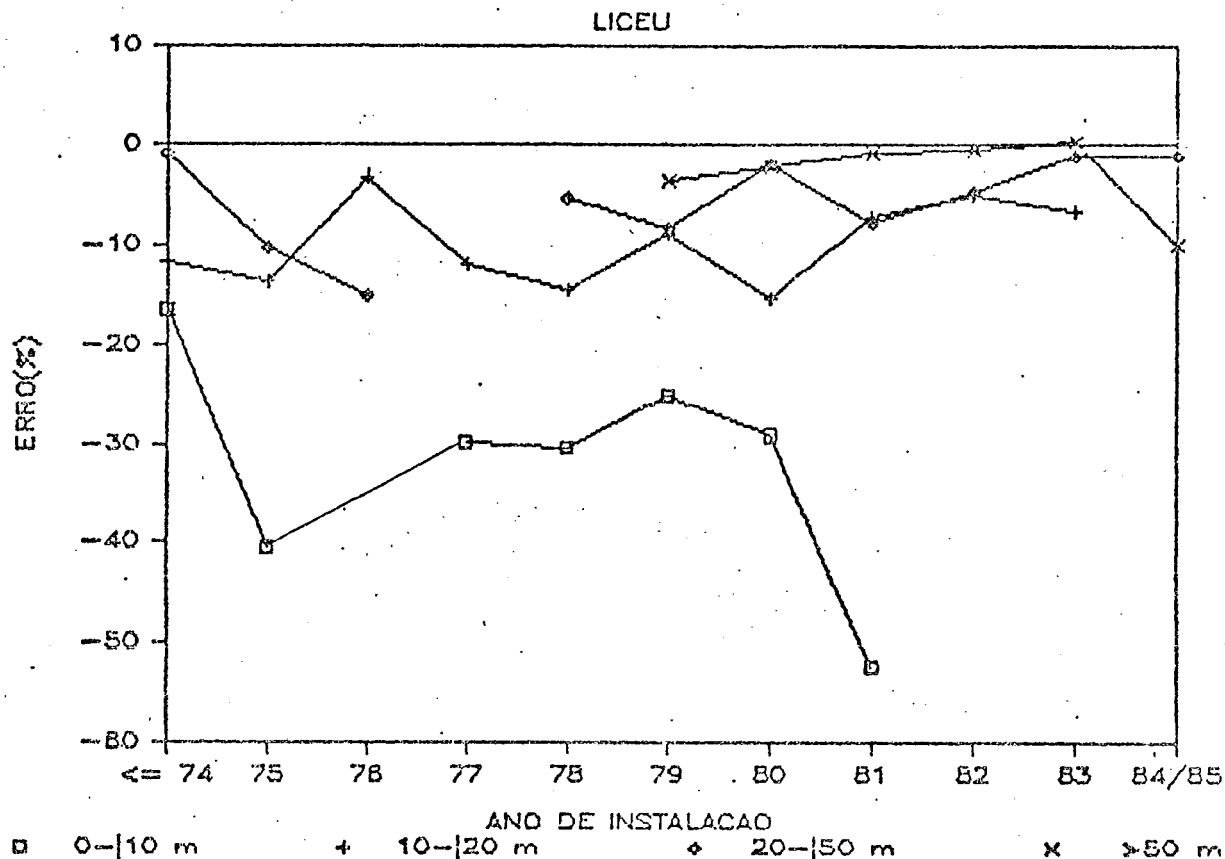


Figura 5.11 - Curvas de erros médios para as quatro classes de consumo médio mensal - Hidrômetros Liceu

### 5.6.3 - Hidrômetros Tecnobrás

Os erros médios dos hidrômetros da marca Tecnobrás apresentaram um comportamento diferenciado das demais marcas. Nas diversas classes de consumo médio mensal, observou-se a presença de erros médios positivos. Para diferentes marcas, provavelmente as condições da rede afetam de forma diferente o mecanismo do hidrômetro.

A obstrução parcial dos orifícios do copo, em particular para os hidrômetros da marca Tecnobrás, possivelmente aumentam a rotação da turbina e conseqüentemente o erro de mensuração se eleva no sentido positivo, isto é, mede mais do que o volume efetivamente consumido. Na tabela 5.18 e nas figuras 5.12 a 5.15 estão apresentados o comportamento dos erros médios da marca Tecnobrás.

Tabela 5.18 - Erros médios e respectivos desvios-padrões da média para o fabricante Tecnobrás

ERRO RELATIVO (%)	CLASSE DE CONSUMO MEDIO (m <sup>3</sup> )				TOTAL
	0 - 10	10 - 20	20 - 50	> 50	
ANO DE INSTALACAO					
≤ 1974					
N	3	6	3		12
MEDIA	-21.510	-9.836	-7.637		-12.205
D.P. MEDIA	10.149	3.293	6.830		3.459
1975					
N	2	1	6		9
MEDIA	-7.063	14.387	6.944		4.658
D.P. MEDIA	62.602		7.519		11.747
1976					
N	2	4	12		18
MEDIA	.717	4.305	-4.463		.728
D.P. MEDIA	3.989	6.214	3.342		2.580
1977					
N	5	12	22		39
MEDIA	-9.653	3.484	.653		.203
D.P. MEDIA	2.764	3.311	1.695		1.547
1978					
N	2	5	10	1	10
MEDIA	-25.629	-15.268	-9.967	3.045	-7.457
D.P. MEDIA	19.138	4.969	2.244		3.222
1979					
N	5	11	28	4	48
MEDIA	3.644	1.608	3.777	-1.440	2.832
D.P. MEDIA	6.584	4.803	1.845	2.753	1.656
1980					
N	3	24	39	9	75
MEDIA	-8.735	-3.527	1.615	2.756	-.307
D.P. MEDIA	4.831	3.263	1.199	1.614	1.275
1981					
N	1	8	24	7	40
MEDIA	13.895	-5.427	1.989	-6.750	-.726
D.P. MEDIA		2.360	1.591	6.636	1.676
1982					
N	1	7	22	14	44
MEDIA	-16.369	4.765	.409	-2.835	-.312
D.P. MEDIA		9.534	1.600	2.634	1.896
1983					
N		6	18	11	35
MEDIA		-11.433	-2.753	.271	-3.291
D.P. MEDIA		3.379	3.541	1.935	2.077
1984/1985					
N		1	4	4	9
MEDIA		4.262	-4.680	5.127	.672
D.P. MEDIA			2.801	2.953	2.374
TOTAL					
N	24	85	188	50	347
MEDIA	-7.800	-2.392	.931	-6.827	-.740
D.P. MEDIA	4.843	1.624	.707	1.355	.682

Figuras 5.12 a 5.15 - Curvas de erros médios e respectivos desvios-padrões da média  
Hidrômetros Tecnobras

Figura 5.12

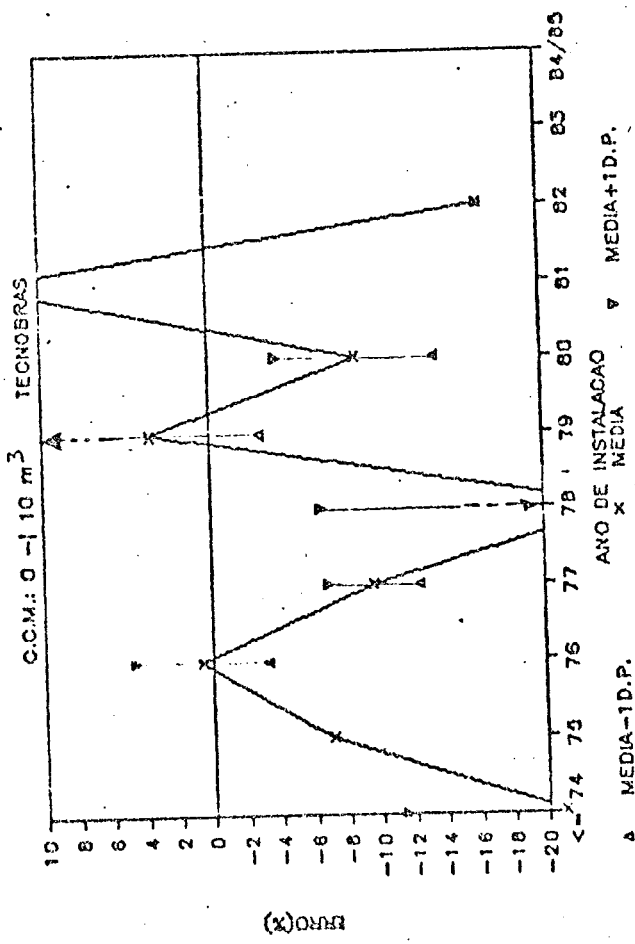


Figura 5.13

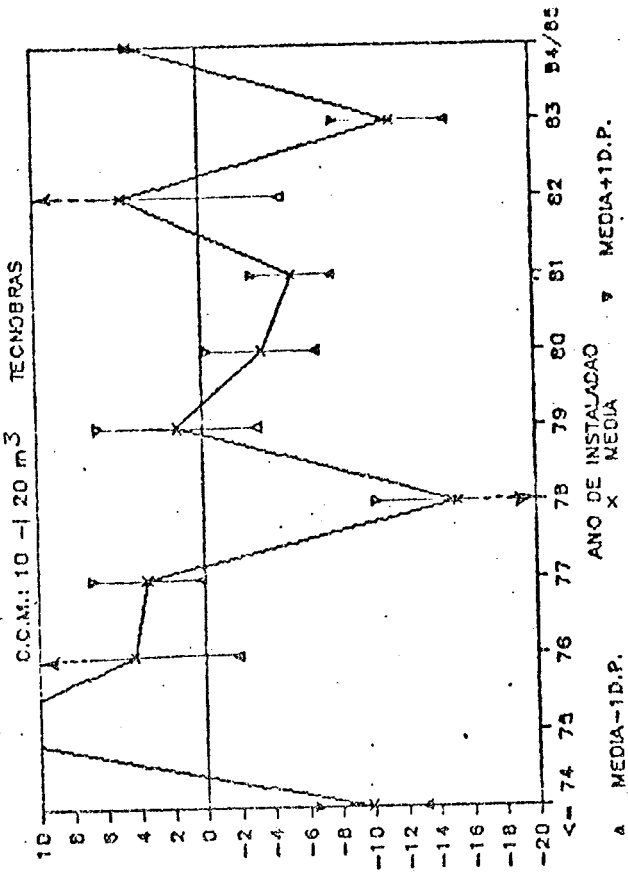


Figura 5.14

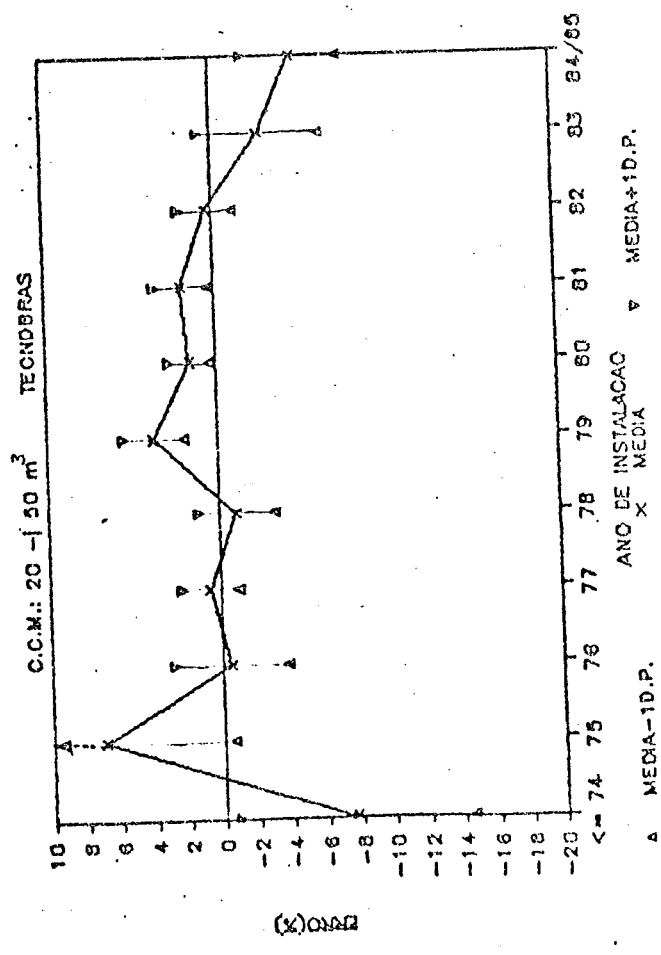
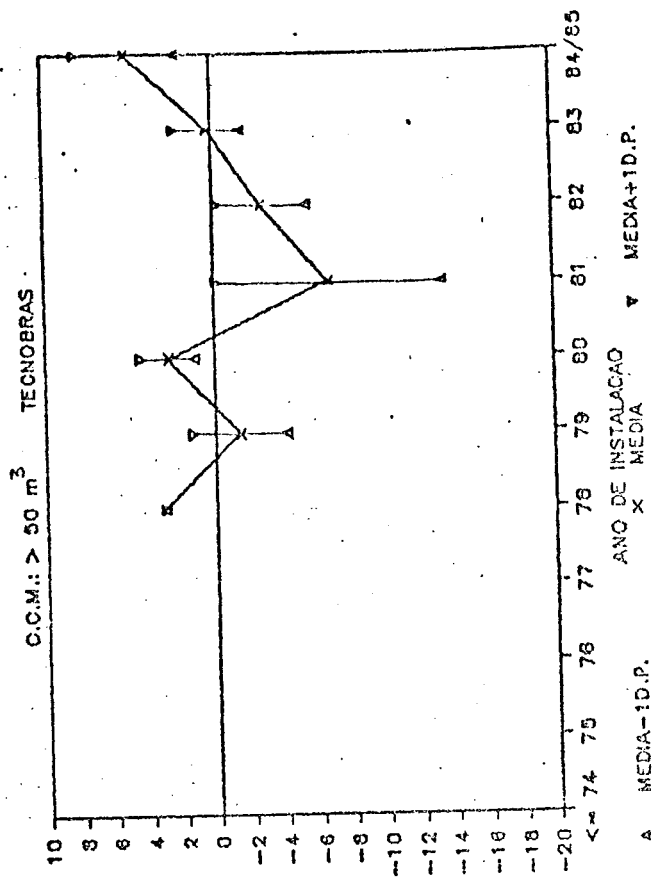


Figura 5.15



A figura 5.16 ilustra os erros médios por classe de consumo médio mensal em função do ano de instalação. Novamente nenhuma tendência foi detectada

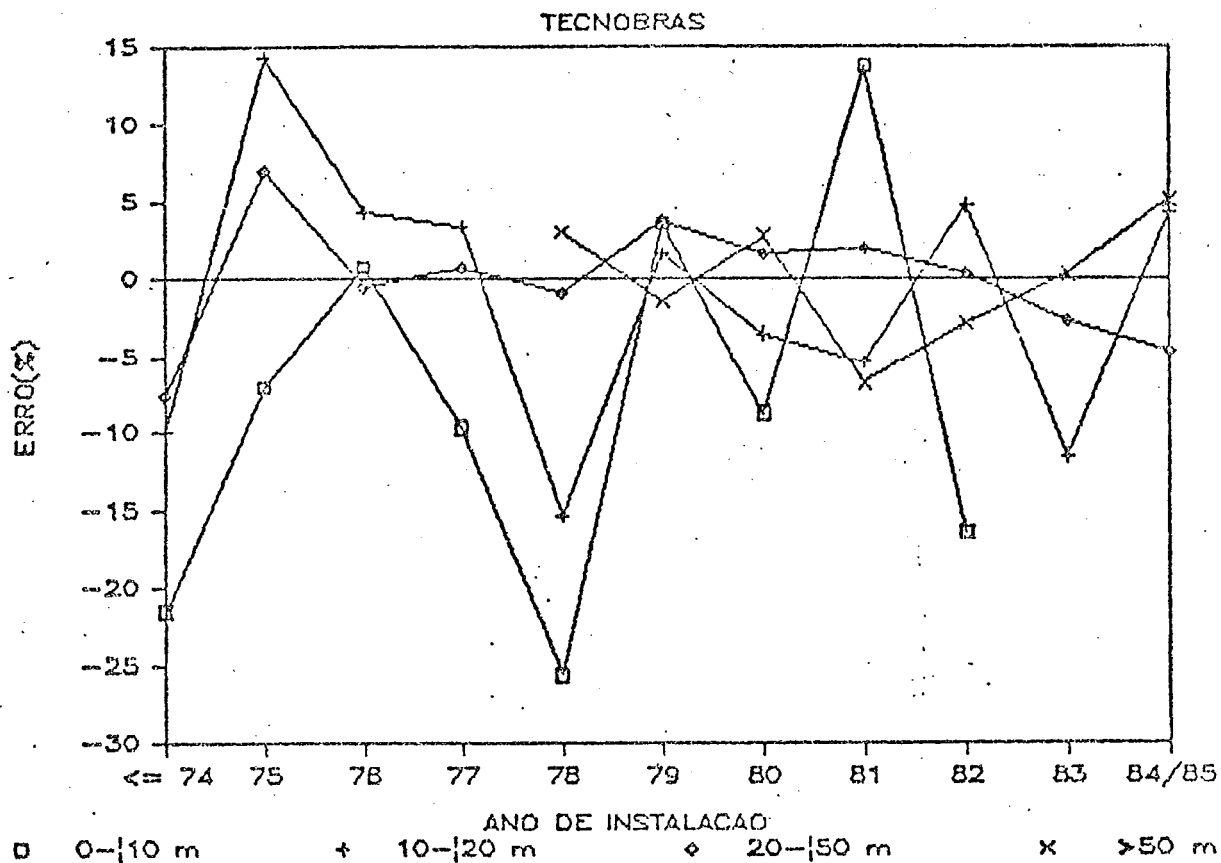


Figura 5.16 - Curvas de erros médios para as quatro classes de consumo médio mensal - Hidrômetros Tecnobrás

## 6. ANÁLISE CUSTO-BENEFÍCIO E DETERMINAÇÃO DA PERIODICIDADE ÓTIMA PARA MANUTENÇÃO PREVENTIVA

### 6.1 - Parâmetros adotados e tabelas de resultados

O modelo de análise custo-benefício apresentado no Capítulo 2 foi aplicado utilizando as curvas de erro levantadas através do trabalho de campo.

Para cada uma das três marcas (Schlumberger, Liceu e Tecnobrás) foram feitas três análises correspondentes às três faixas de consumo consideradas: 10 a 20 m<sup>3</sup>/mês, 20 a 50 m<sup>3</sup>/mês e maior que 50 m<sup>3</sup>/mês. Cada uma dessas análises se subdividiu em três casos, denominados X, X-S e X+S, correspondentes respectivamente à utilização dos erros médios e dos erros médios menos um desvio padrão da média e mais um desvio padrão da média. Finalmente, cada caso se fornece como resultado dois valores de período ótimo para substituição, um aplicável aos hidrômetros instalados em economias sem ligação de esgoto e outro aos hidrômetros de economias com ligação de esgoto. O esquema da Figura 6.1 ilustra esquematicamente como se organizou a análise custo-benefício para cada marca.

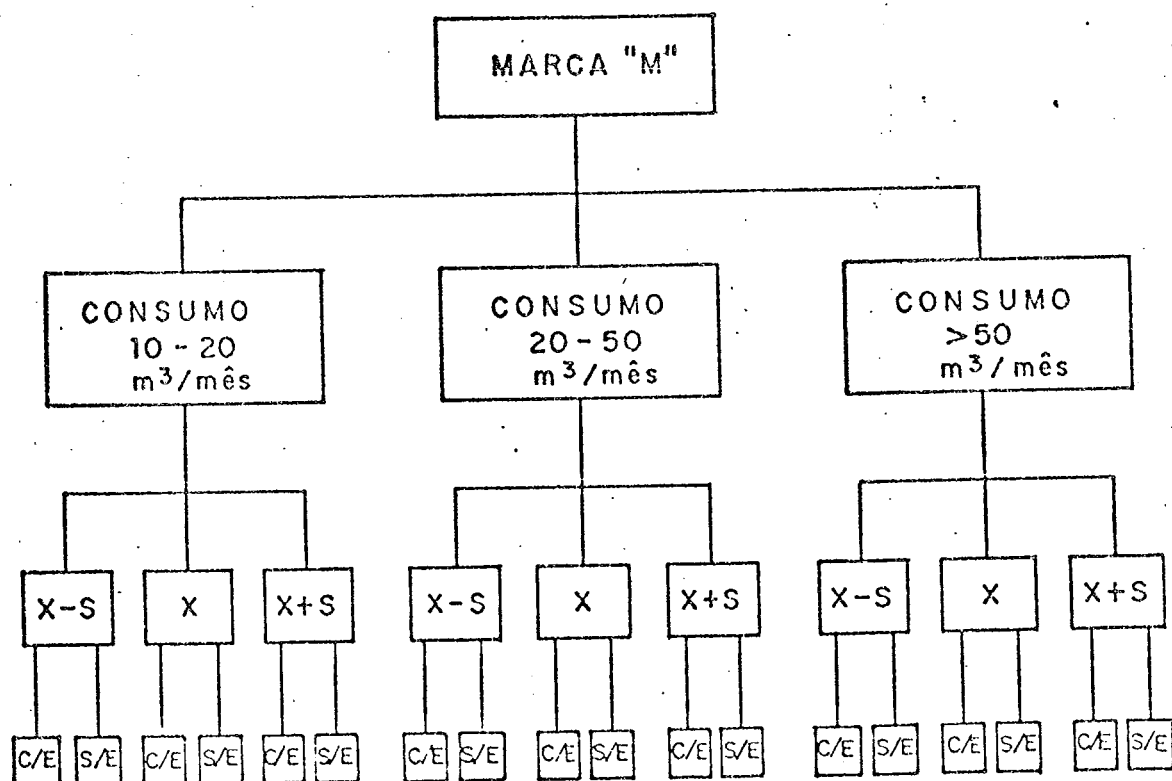


Figura 6.1 - Esquema de classificação das ligações para a análise custo-benefício.



Adotou-se a tarifa de água da SABESP válida a partir de 22/11/88 e os valores de custo foram referenciados ao mês de dezembro de 1987.

O preço de aquisição de hidrômetros (Cz\$2735,00) e o custo de substituição do hidrômetro na rede (Cz\$1211,68) foram fornecidos pela SABESP. O custo de reparação na oficina (Cz\$915,07) foi estimado com base em informações levantadas pelo IPT na própria Oficina de Manutenção de Hidrômetros da SABESP. O custo total de manutenção foi composto pelas seguintes parcelas: custo de substituição na rede, custo de reparação na oficina e custo indireto de manutenção, sendo este último arbitrado em 5% da soma das duas primeiras parcelas. Assim, em valores de Dezembro/87, o custo total da manutenção foi estimado em Cz\$2.233,09.

Adotou-se como hipótese que o hidrômetro após a manutenção recupere 100% do seu valor inicial. Esta hipótese é correta para o casos dos hidrômetros que sofrem substituição do kit e é apenas uma aproximação no caso dos hidrômetros que sofrem somente lavagem do mecanismo. De qualquer modo, na medida em que os hidrômetros são aferidos após a manutenção, não sendo aceitos os que não estão nas faixas de precisão estipuladas, a hipótese adotada é plenamente aceitável.

A taxa de retorno adotada foi de 10,5% que é a taxa cobrada da SABESP pela Caixa Economica Federal nos financiamentos do Programa de Micromedição.

O consumo médio mensal adotado para cada faixa de consumo foi o seguinte:

10	-	20 m3/mês	15,8 m3
20	-	50 m3/mês	30,6 m3
	)	50 m3/mês	82,0 m3

Estes valores de consumo médio mensal foram calculados a partir das estatísticas da SABESP para o consumo da R.M.S.P. no período Dezembro/86 a Novembro/87.

Os cálculos foram executados através de planilha eletrônica gerando uma tabela de resultados para cada caso, a exemplo da Tabela 6.1. A Tabela 6.1 se refere especificamente às ligações com consumo entre 10 e 20 m3 mensais, hidrômetro marca LICEU, e utiliza os valores médios dos erros para os cálculos.

Cada tabela fornece portanto o período ótimo de substituição em anos, juntamente com o respectivo valor anual equivalente uniforme. Adicionalmente, cada tabela apresenta também uma análise de sensibilidade do período ótimo de substituição do hidrômetro em função do custo de manutenção. Assim se verificou a influência no período ótimo de substituição da variação do custo total de manutenção na faixa de Cz\$1400,00 a Cz\$2600,00. Esta análise foi

feita basicamente para verificar a influência que uma possível redução no custo total de manutenção teria no período ótimo de substituição.

## 6.2 - Análise dos resultados

Os resultados obtidos estão sintetizados na Tabela 6.2 onde são apresentados os períodos ótimos para substituição em cada situação estudada.

Tabela 6.2 - Síntese dos resultados relativos aos períodos ótimos de substituição de hidrômetros (em anos) obtidos através da análise custo-benefício.

Marca do hidrometro	Faixas de consumo (m <sup>3</sup> /mes)								
	10-20			20-50			>50		
	X-S	X	X+S	X-S	X	X+S	X-S	X	X+S
Schlumberger sem ligação de esgoto	13	13	13	11	13	13	9	9	9
Schlumberger com ligação de esgoto	13	13	13	10	11	13	9	9	9
Liceu sem ligação de esgoto	13	13	13	10	10	13	7	8	8
Liceu com ligação de esgoto	13	13	13	10	10	13	2	7	8
Tecnobras sem ligação de esgoto	13	13	13	12	12	13	4	9	9
Tecnobras com ligação de esgoto	12	12	12	10	12	12	4	4	9

6.1

POLITICA DE MANUTENCAO DE HIDROMETROS COM BASE NOS BENEFICIOS E CUSTOS - CEF/SABESP  
 MODELO DE DETERMINACAO DA PERIODICIDADE OTIMA DE MANUTENCAO PREVENTIVA DE HIDROMETROS

29-Jan-88

MARCA :	LICEU	FAIXA DE CONSUMO :	10-20	PRECO UNITARIO :	11.79	CASO :	X	AMOSTRA :	L10XI
Taxa de retorno (i):				[ 10.5% ]		Custo da substituicao na rede (Cs):		[ 1211.60 ]	
Consumo medio mensal em m3 (Vol):				[ 15.8 ]		Custo de reparacao na oficina (Co):		[ 915.47 ]	
Valor do hidrometro apos manutencao (Va):				[ 100% ]		Custo indireto da manutencao (Ci):		[ 5% ]	
Preco de aquisicao (A):				[ 2735.69 ]		( em % de Cs+Co )			
Mes de referencia para precos:				[ Dez/87 ]		Custo total da manutencao (Ca):		[ 2233.69 ]	
Sem ligacao de esgoto									
Com ligacao de esgoto									
ano	Erro	Volume anual	Preco da	Perda receita	Valor presente	Valor anual	Perda receita	Valor presente	Valor anual
	(%)	nao medido	agua	anual	equiv. uniforme	anual	anual	equiv. uniforme	anual
		(m3)	por m3	(CZ\$)	(CZ\$)	(CZ\$)	(CZ\$)	(CZ\$)	(CZ\$)
n	Ek	dvk	Pu	Pk	VPn	VAEn	Pk'	VPn'	VAEn'
1	9.58%	18.16	11.79	214.11	2474.54	2734.37	428.21	2668.30	2949.43
2	9.58%	18.16	11.79	214.11	2693.05	1562.13	428.21	3062.16	1776.24
3	9.58%	18.16	11.79	214.11	2890.00	1172.68	428.21	3418.59	1386.78
4	6.65%	12.60	11.79	148.56	3025.79	964.90	297.13	3653.24	1164.89
5	4.86%	9.22	11.79	108.73	3123.78	834.60	217.46	3817.22	1019.97
6	7.14%	13.54	11.79	159.65	3240.43	754.96	319.30	4021.57	936.35
7	15.29%	28.99	11.79	341.81	3436.55	717.55	683.63	4387.62	916.13
8	8.92%	16.90	11.79	199.28	3549.92	677.57	398.57	4596.64	876.21
9	14.40%	27.31	11.79	321.98	3702.46	655.73	643.97	4874.28	863.27
10	12.02%	22.80	11.79	268.76	3820.91	635.25	537.52	5091.74	846.54
11	3.19%	6.05	11.79	71.29	3862.25	608.40	142.57	5156.85	812.33
12	13.58%	25.74	11.79	303.50	3969.73	596.96	607.00	5355.92	805.41
13	11.65%	22.69	11.79	260.47	4055.25	585.76	520.93	5512.57	796.26
Periodo otimo para substituicao /Valor equiv. uniforme :				13 anos / Cz\$	585.76		13 anos / Cz\$	796.26	

Periodo otimo de substituicao do hidrometro em funcao do custo de manutencao

Custo de manutencao	Cm	1400.00	1600.00	1800.00	2000.00	2400.00	2600.00
Sem ligacao de esgoto	Aos	13	13	13	13	13	13
Com ligacao de esgoto	Aoc	13	13	13	13	13	13

Formulario

Tarifa de agua da SABESP - Valida desde 22/11/87

$dvk = 12 * Ek * Vol$	Consumo mensal - Vol	Tarifa (CZ\$)
$Pk = dvk * Pu$ $Pk' = 2 * Pk$	ate 10 m3	42,60
$Ca = (1 + Ci) * (Cs + Co)$	de 10 a 20 m3	42,60 + 11,79 * (Vol - 10)
$VPn = A + Sa * (Pk / (1 + i)^k + (Ca - Va) / (1 + i)^n)$	de 20 a 50 m3	160,50 + 20,74 * (Vol - 20)
$VAEn = VPn * i * (1 + i)^n / ((1 + i)^n - 1)$	> 50 m3	782,70 + 30,14 * (Vol - 50)

Levando em consideração as observações anotadas junto a Tabela 6.2 e a conveniência de uniformizar ao máximo os períodos de substituição, estão sendo propostos para adoção para os períodos de substituição constantes da Tabela 6.3.

Tabela 6.3 - Valores propostos (em anos) para os períodos ótimos para substituição de hidrômetros.

Marca do hidrometro	Faixas de consumo		
	10-20	20-50	>50
Schlumberger sem ligação de esgoto	13	13	9
Schlumberger com ligação de esgoto	13	13	9
Liceu sem ligação de esgoto	13	13	9
Liceu com ligação de esgoto	13	13	9
Tecnobras sem ligação de esgoto	13	12	9
Tecnobras com ligação de esgoto	13	12	9

Os seguintes aspectos merecem ser destacados na análise dos valores propostos na Tabela 6.3:

- em quase todos os casos, o período ótimo coincidiu com a idade máxima dos hidrômetros pesquisados; o que pode ser explicado por não haver sido observada tendências pronunciadas de agravamento da submedição no período correspondente à idade dos hidrômetros estudados;

- na faixa de consumo maior que 50 m<sup>3</sup>/mês, os hidrômetros estudados tinham no máximo 9 anos de permanência na rede e os hidrômetros de marca Liceu apenas 8 anos, mas como não se detetou tendências pronunciada de queda de precisão nas curvas de erro desses hidrômetros está se propondo 9 anos como período mínimo de permanência na rede inclusive para os hidrômetros de marca Liceu;

- o aparecimento na Tabela 6.2 do valor de 4 anos como período de substituição para os hidrômetros Tecnobrás em economia com consumo mensal maior que 50 m<sup>3</sup> e com ligação de esgoto se deve basicamente ao erro encontrado no ano 3 correspondente a medição de 5,13%; no entanto este valor pode ser considerado atípico, o que justifica a proposição do período de 9 anos.

Considerando o conjunto dos resultados, um exame dos períodos ótimos de substituição de hidrômetros obtidos na análise de sensibilidade em relação ao custo total da manutenção mostra que, na maioria dos casos, esta sensibilidade é muito pequena. Em particular, verifica-se que, em praticamente todos os casos, os períodos ótimos de substituição encontrados para os valores de custo total de manutenção de Cz\$2000,00 e Cz\$2400,00 não diferem daqueles obtidos para o valor estimado desse custo que foi de Cz\$2233,09.

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como se pode verificar, a realização desse projeto possibilitou identificar e aplicar experimentalmente a metodologia de análise benefício-custo para a adoção de critérios racionais na manutenção preventiva de hidrômetros.

No entanto, é importante chamar atenção que os períodos ótimos a que se chegou se aplicam exclusivamente aos hidrômetros de 3 m<sup>3</sup>/h, de transmissão mecânica da SABESP na R.M.S.P. Os valores desses períodos são dependentes das curvas de erro dos hidrômetros (que por sua vez são influenciadas pelo tipo de água e pelas exigências da concessionária quando da compra dos hidrômetros), da estrutura tarifária e do custo de manutenção. Assim não se recomenda a adoção dos resultados obtidos em outras situações.

No que diz respeito ao impacto dos resultados sobre a sistemática hoje adotada pela SABESP cabe considerar que essa companhia vem adotando 5 anos como período de substituição na manutenção preventiva dos hidrômetros de 3 m<sup>3</sup>/h da R.M.S.P. Este critério não é aplicado aos hidrômetros instalados em ligações com consumo

mensal menor que 10 m<sup>3</sup>. Pode-se estimar em cerca de 1.200.000 o número de hidrômetros de 3 m<sup>3</sup>/h servindo ligações com consumo médio mensal entre 50 e 150 m<sup>3</sup>. Uma parcela não quantificada dos hidrômetros são de transmissão magnética (talvez cerca de 10% do total).

A preços de Dezembro de 1987, o custo anual de executar a manutenção preventiva a cada 5 anos em 1.200.000 hidrômetros é de Cz\$536 milhões (valor correspondente a manutenção de 240.000 hidrômetros por ano).

A aplicação dos critérios da Tabela 6.3 reduziria o custo anual para Cz\$220 milhões correspondente à demanda anual de 98.500 hidrômetros para manutenção preventiva.

A rigor, os critérios propostos não deveriam ser aplicados para os hidrômetros de transmissão magnética, pois resultaram na análise do comportamento de hidrômetros de transmissão mecânica. No entanto, feita a consideração de que os hidrômetros de transmissão magnética devem ter maior durabilidade que os de transmissão mecânica já que representam uma evolução destes últimos, pode-se na falta de melhores critérios, adotar os que estão sendo propostos neste trabalho.

Portanto, pode-se afirmar que a adoção desses critérios implica em uma redução das despesas com a manutenção preventiva de Cz\$316 milhões anuais, ou seja 58,9% do que é gasto atualmente.

Evidentemente, em contrapartida, é de se esperar a diminuição no volume faturado. No entanto, do ponto de vista global, está assegurado a maximização da relação receita/despesa quando se adotam os critérios propostos.

Do ponto de vista da SABESP, é conveniente continuar o estudo da evolução do erro dos hidrômetros de transmissão mecânica das três marcas para idades superiores a 13 anos nas faixas de consumo entre 10 e 50 m<sup>3</sup> mensais e superiores a 9 anos na faixa de consumo maior que 50 m<sup>3</sup> mensais. Sugere-se também a realização de um estudo visando acompanhar a evolução com a idade dos hidrômetros de 3 m<sup>3</sup>/h, de transmissão magnética.

## B. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

ALONSO, L.R. - Controle e desenvolvimento operacional. Ações da SABESP na Região Metropolitana de São Paulo. In: Simpósio Internacional sobre Economia de Água de Abastecimento Público, São Paulo 28 a 30 de outubro de 1986. Anais ... São Paulo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 1987.

AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION - Water meters. Selection, installation, testing and maintenance. Manual of water supply practices. New York, 1972. (AWWA Manual M6).

- BEENFELDT, N. et alii. Determination of economic period for water meter replacement. *Journal AWWA*, Denver Co 58 (6): 642-50, June 1966. A report of a committee appointed by Business Management Division of California Section AWWA).
- BORBA Jr., E. et alii - Programa especial de redução de perdas 1978 - 1983. *Rev. DAE*, São Paulo (119): 89-96, set 1978.
- BOST, J.F. Optimum management of water meters: ways and means. *Aqua* (3), 1980.
- BRENNAN, J.F. How often should water meters be checked and rehabilitated? *Water Works Engineering*, 954, Nov., 1961.
- COELHO, A.C. Manutenção de hidrômetros - Um problema econômico. *Engenharia Sanitária*, Rio de Janeiro, 19 (1): 87-9, jan/março-1980.
- COMPANHIA DE SANEAMENTO BASICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. Programa de controle e desenvolvimento da operação. Sub programa: micromedição. São Paulo, Abril 1986 (revisão 5, documento interno).
- CUDDEBACK, A.W. The care and maintenance of meters and the effect on revenue. *J.N.E.W.A.* 47:471, 1913.
- DIB, M.E.M. Trabalho de pesquisa e controle de perdas executados na SABESP. *Rev. DAE*, São Paulo (119): 169-89, set.1978.
- FAVERO, J.A.; DIB, M.E.M. Pesquisa e controle de perdas em sistemas de abastecimento de água. *Revista DAE* São Paulo, (126): 50-9, set.1981.
- FORD, R.V. How to determine when water meters need repair and replacement. *Water & Sewage Works*, Chicago 104: 114-9, March 1957.
- FLEISCHER, G.A. Teoria da aplicação de capital: um estudo das decisões de investimento. São Paulo, Edgard Blucher, 1973.
- HEMBREE, J.W. Planned measurement of meter repair and maintenance costs. *Journal AWWA*, Denver, Co 68 (10): 504-8, Oct, 1976.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLOGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Consumo urbano de água e alternativas de conservação: revisão bibliográfica. São Paulo, 1986. (Relatório IPT n. 23.363).
- KELLER, C.W. Analysis of unaccounted-for water. *Journal AWWA* Denver, Co 68 (3): 159-62, March 1976.
- KOCHEN, J.V.; BERENHAUSER, C.J.B. Estado atual do programa de controle de perdas de águas na R.M.S.P. *Revista DAE*, São Paulo (126): 35-9, set.81.
- KURANZ, A.P. Meter maintenance practice. *Journal AWWA*, Denver, Co,

34 (1): 117-20, 1942.

LIEDING, R. Water utility "wins" with meter replacement program. *Water & Sewage Works*, Chicago, 123 (4): 89-91, April 1976.

MAFFEI, F.J. LOURENÇO, O.B. A corrosão dos hidrômetros. São Paulo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 1939. (Boletim n.23).

MONTENEGRO, M.H.F. Sistemas de produção e distribuição de água. Medição de vazão em ligações prediais. *Revista DAE*, São Paulo (139): 335, Dez. 1984.

OGAI, C.M. e QBAR, N. Cor e turbidez originadas na fase de distribuição de água tratada - água vermelha. (Trabalho apresentado no 12. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Balneário Camboriú, Nov. 1983).

OLIVEIRA, J.H.S. e CESTARI, A. Avaliação de campo dos erros de micromedição. (Trabalho apresentado ao 12. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Balneário Camboriú, Nov. 1983).

ORR, L.E. et alli. Analysis of a water-meter replacement program. *Journal AWWA* Denver, Co, 69 (2): 68-71, Feb. 1977.

PRACY, G.W. Testing small meters in San Francisco. *Journal AWWA*, Denver, Co 34 (5): 712, 1942.

TRENTLAGE, LA VERNE. Some pertinent facts on residential meters. *Water Works & Sewage*, Chicago 88: 545, 1941.

TÁO, P. Estimating the unaccounted - for water in a distribution system. *Water & Sewage Works*. Chicago 127 (5): 52-4, May 1980.

TAO, P. Statistical sampling technique for controlling the accuracy of small water meters. *Journal AWWA*, Denver, Co, 74 (6): 296-304, June 1982.

## 9. EQUIPE DO TRABALHO

Engenheiro Marcos Helano F. Montenegro (AIS/DEd) - Coordenador

Doutor Adolpho W.P. Canton (ATS/DES) - Consultor

Estatística Cintia M.F. Hwa (ATS/DES)

Estatística Solange Andreoni (ATS/DES)

Tecnólogo Douglas Barreto (AIS/DEd)

Doutor Mário Y. Miyake (ATS/DES)



Engenheiro Mauricio M. Mindrisz (ATS/DES)  
Técnico Sérgio Ferraz da Silva (AIS/DEd)  
Encanador Adil da Mota (AIS/DEd)  
Secretária Rita de Cassia T. Carvalho (AIS/DEd)