



## **I-116 – OS EXCELENTES RESULTADOS OBTIDOS COM APLICAÇÃO DO FATOR DA CONDIÇÃO DE INFRA-ESTRUTURA EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA**

**Genival Abdias de Carvalho<sup>(1)</sup>**

Tecnólogo em Edificações pela Faculdade de Tecnologia de São Paulo (2001), pós-graduado em Gestão Ambiental pelo Instituto Paulista de Ensino e Pesquisa (2003). Trabalha na SABESP desde 1994. Atualmente é tecnólogo da Divisão de Controle de Perdas da Unidade de Negócio Centro.

**Débora Soares Melato**

Engenheira pela Escola Politécnica da USP, pós-graduada em Engenharia de Controle de Poluição Ambiental pela Faculdade de Saúde Pública da USP, em Administração de Empresas pela Faculdade de Economia e Administração de Empresas da USP, e em Engenharia de Segurança do Trabalho pela Escola Politécnica da USP, e atualmente é Mestranda em Saneamento pela Escola Politécnica da USP. Trabalha na Sabesp desde 1994. Atualmente é engenheira da Divisão de Controle de Perdas da Unidade de Negócio Centro.

**Mauricio Suzumura**

Tecnólogo em Obras Hidráulicas pela Faculdade de Tecnologia de São Paulo (2001), e atualmente cursando Bacharelado em Química Ambiental pelo Instituto de Química da Universidade de São Paulo. Trabalha na SABESP desde 1992. Atualmente é tecnólogo da Divisão de Controle de Perdas da Unidade de Negócio Centro.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Dona Antônia de Queirós, 218 - Consolação – São Paulo - SP - CEP: 01307-010 - Brasil - Tel: (11) 3138-5411- e-mail: genivalcarvalho@sabesp.com.br

### **RESUMO**

Em regiões onde existe um programa de controle de perdas de água tratada, se verifica que, à medida que vão se eliminando os vazamentos, o índice de perdas tende a diminuir. Agrega-se à eliminação de vazamentos o combate a fraudes, o controle em relação à submedição, o controle de pressão, a setorização, entre outras medidas, visando reduzir cada vez mais o índice de perdas. Conforme vão se eliminando as perdas de um determinado setor controlado, aumenta-se a dificuldade em reduzir o índice de perdas, até um limite do qual a tecnologia atual não tem condições de detectar a fonte dessas perdas. A esse volume de água perdida, denominamos Perdas Inerentes. Para reduzir ainda mais as perdas desse setor, torna-se necessário trocar a tubulação, tanto das redes quanto dos ramais, porém essa ação envolve um custo elevado em relação às demais ações. Considerando a enorme quantidade de redes e ramais a serem trocadas, torna-se necessário um indicador que priorize os setores onde outras ações não surtam efeito e onde o investimento seja realmente necessário.

O presente trabalho sugere a utilização de um indicador, denominado Fator de Condição de Infra-Estrutura, que quantifica o grau de deterioração das tubulações desse setor em relação à situação ideal. Estão descritas as diversas etapas para a sua determinação, a manipulação dos dados e os resultados obtidos após as ações.

Com a implantação do Fator de Condição de Infra-Estrutura foi possível selecionar o setor mais adequado onde serão investidos os recursos para a troca das tubulações, e um parâmetro importante para estimar qual estratégia é mais conveniente para a redução de perdas em um determinado setor, obtendo resultados satisfatórios com redução de recursos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Fator de Condição de Infraestrutura, Perdas Reais, Perdas Inerentes,. Índice de Perdas

### **INTRODUÇÃO**

Um dos maiores problemas encontrados nas regiões metropolitanas é a disponibilidade de recursos hídricos. Volumes cada vez maiores são necessários para atender a demanda, sendo que a disponibilidade de recursos naturais apropriados vem diminuindo, tornando-se necessário retirá-los de localizações mais distantes, encarecendo o processo. Além disso, as perdas de água na distribuição apresentam valores significativos, diminuindo a eficácia do abastecimento e aumentando ainda mais a demanda por recursos hídricos, tendendo ao colapso do sistema. Em vista desta constatação, torna-se necessário o controle e o combate a essas perdas, utilizando inteligentemente os recursos para esse fim.



O presente trabalho contém um estudo realizado no setor da Mooca pela Unidade de Negócio Centro (MC) da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp) em São Paulo/SP, no qual foram realizadas, em uma área representativa, diversas medições visando definir o Fator de Condição da Infraestrutura (FCI). FCI é um número adimensional que relaciona as perdas inerentes de um sistema ao valor de perdas inevitáveis padrão, estabelecido pela International Water Association (IWA) através da Equação 1 (adaptado de GOLFETO *et al*, 2004).

$$FCI = \frac{\text{Volume de vazamentos inerentes}}{0,48.L.\left(\frac{P}{50}\right)^{N1} + 0,03.Nr.\left(\frac{P}{50}\right)^{N1}} \quad \text{equação (1)}$$

- L = comprimento de rede do sistema em estudo em Km (cadastro)
- P = pressão atuante no ponto médio no horário do teste em mca (experimental)
- N1 = fator determinado experimentalmente para o setor (experimental)
- Nr = quantidade de ramais (cadastro)

N1 é um fator exponencial que correlaciona a vazão e a pressão, é determinado empiricamente através da medição da vazão em função da variação da pressão no ponto médio da área estudada, conforme Equação 2 (LAMBERT *et al*, 1999).

$$\frac{Q_1}{Q_0} = \left(\frac{P_1}{P_0}\right)^{N1} \quad \text{equação (2)}$$

O FCI representa quantas vezes a rede está pior que a situação ideal. É um excelente parâmetro para determinar metas de redução de perdas por setor de abastecimento, priorizar áreas onde a infraestrutura deve ser renovada por se apresentar mais deteriorada, além de ser utilizado para modelos matemáticos de classificação do tipo de perdas, possibilitando definir ações específicas de solução de problemas.

Posteriormente, foram realizadas substituições das tubulações dos ramais de todos os imóveis do setor, e após o encerramento dessas trocas, foi realizado novamente o teste para determinação do FCI, para comparar com o valor sem as trocas das tubulações dos ramais.

## METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DO FCI

Inicialmente, deve-se definir uma área que seja representativa do setor de abastecimento e que possa ser monitorada a vazão. Esta área deve ser confinada, com a garantia de que a contribuição seja apenas pelo ponto onde a vazão será controlada. Deve-se realizar o fechamento desse setor, de tal maneira que se houver necessidade de se fechar registros de rede, estes não proporcionarão nenhuma passagem. Deve-se evitar áreas onde haja estabelecimentos cujas ligações não possam ser fechadas, como hospitais, escolas, etc. Caso haja esse tipo de consumidor, este deverá ter seu consumo monitorado através de equipamentos apropriados (adaptado de LAMBERT, HIRNER, 2000).

Deve-se instalar um medidor com capacidade de registrar pequenos volumes dentro de uma mínima faixa de erro. Esse medidor deve permitir a instalação de registrador de dados (*datalogger*) para monitorar a vazão.

Realizar a pesquisa de vazamentos com alguns dias de antecedência ao do teste, com a instalação de sensores de ruído, providenciando evidentemente os devidos reparos, de tal forma que se consiga a certeza de ter consertado todos os vazamentos possíveis de serem detectados através do método acústico.

Providenciar a pesquisa de fraudes, eliminando as possíveis irregularidades existentes na área.

Instalar um *datalogger* de pressão no ponto médio do setor. Ponto médio é um local situado na cota média entre a região mais alta e a região mais baixa, em relação à altitude.

Realizar a última leitura nos sensores de ruído, para constatar se apareceu um novo vazamento após os consertos dos anteriores. Caso haja um novo vazamento, seu conserto deve ser providenciado imediatamente.



Entregar na véspera do teste, comunicados avisando os moradores do setor, a respeito do teste. Esta comunicação deverá obedecer à legislação ou normas vigentes na cidade e no estado. Deve-se comunicar a central de atendimento de reclamações, orientando sobre as informações a serem transmitidas a aqueles que apresentarem dúvidas ou reclamações.

Dimensionar equipes para executar as anotações das leituras no início e no término do teste, bem como as aberturas e os fechamentos dos registros de cavalete, de tal maneira que cada equipe se encarregue por no máximo cinquenta imóveis.

Ao realizar os fechamentos, deve-se utilizar uma fita adesiva ou qualquer método que impeça o cliente de manuseá-lo. Devem-se anotar todas as variáveis que possam interferir no teste. Uma equipe de reparos deve estar à disposição para qualquer eventualidade, desde um reparo no ramal a um conserto de um arrebentado de rede. O início efetivo das medições será quando a última equipe terminar de fechar o último registro de cavalete.

Após a coleta dos dados de vazão para calcular o volume de vazamentos, realiza-se o teste de N1, graduando-se o registro da entrada principal, reduzindo conseqüentemente a pressão e a vazão. Realiza-se esse procedimento para uma série de valores de pressão, a fim de levantar uma curva para a obtenção do fator N1.

Encerra-se o teste, abrindo todos os registros e anotando as leituras dos hidrômetros. Esta operação é importante, para verificar se algum registro foi aberto durante o teste. Caso haja esta constatação, deve-se considerar este consumo para a realização dos cálculos.

## CARACTERIZAÇÃO DO SETOR

O teste de FCI foi realizado nas imediações da Rua Irmã Paula Loebenstein, setor de abastecimento Mooca, localizado na MC. Trata-se de uma área residencial, de classe média, com tráfego leve, e com as seguintes características da rede de distribuição de água, conforme Tabela 1:

**Tabela 1 – Características das redes do setor**

Ruas do Setor	Extensão de Rede (km)	Ano da Rede	Diâmetro da Rede	Material da rede
Rua José Alves de Oliveira	0,39	1982	75	Ferro fundido
Rua Irmã Paula Loebenstein	0,26	1982	75/150	Ferro fundido
Rua Otávio Paris	0,24	1982	75	Ferro fundido
Rua Adilson Farias Claro	0,29	1982	75	Ferro fundido
Rua Mores Miguel	0,27	1982	75	Ferro fundido
Rua Sebastião Pereira de Sousa	0,13	1982	75	Ferro fundido
TOTAL	1,58			
Número de Ligações Total	192			

## RESULTADOS DA PRIMEIRA ETAPA

Para medir a vazão perdida através dos vazamentos inerentes foi instalado na entrada da área um hidrômetro classe C diâmetro ¾" da marca Actaris, pulsado com um *datalogger* de vazão devidamente calibrado com a respectiva escala do hidrômetro. Para medir a pressão no ponto médio, foi instalado um *datalogger* de pressão na Rua Adilson Farias Claro, 148.

Antes da data de realização do teste, foram realizadas 4 varreduras visando localizar os vazamentos, conforme a Tabela 2.

**Tabela 2 – Resultados da pesquisa de vazamento**

Primeira pesquisa	4 vazamentos de ramal e 2 vazamentos de ferrule
Segunda pesquisa	2 vazamentos de ramal
Terceira pesquisa	1 vazamento de ramal e 1 vazamento de ferrule
Quarta pesquisa	Nenhum vazamento encontrado



Foi realizada a medição da vazão antes e depois da realização da pesquisa de vazamentos. A vazão média antes dos consertos estava em torno de  $10,97\text{m}^3/\text{h}$ , e a vazão mínima noturna  $8,00\text{m}^3/\text{h}$ , e após os consertos a vazão média ficou em  $5,59\text{m}^3/\text{h}$  e a vazão mínima noturna  $2,00\text{m}^3/\text{h}$ .

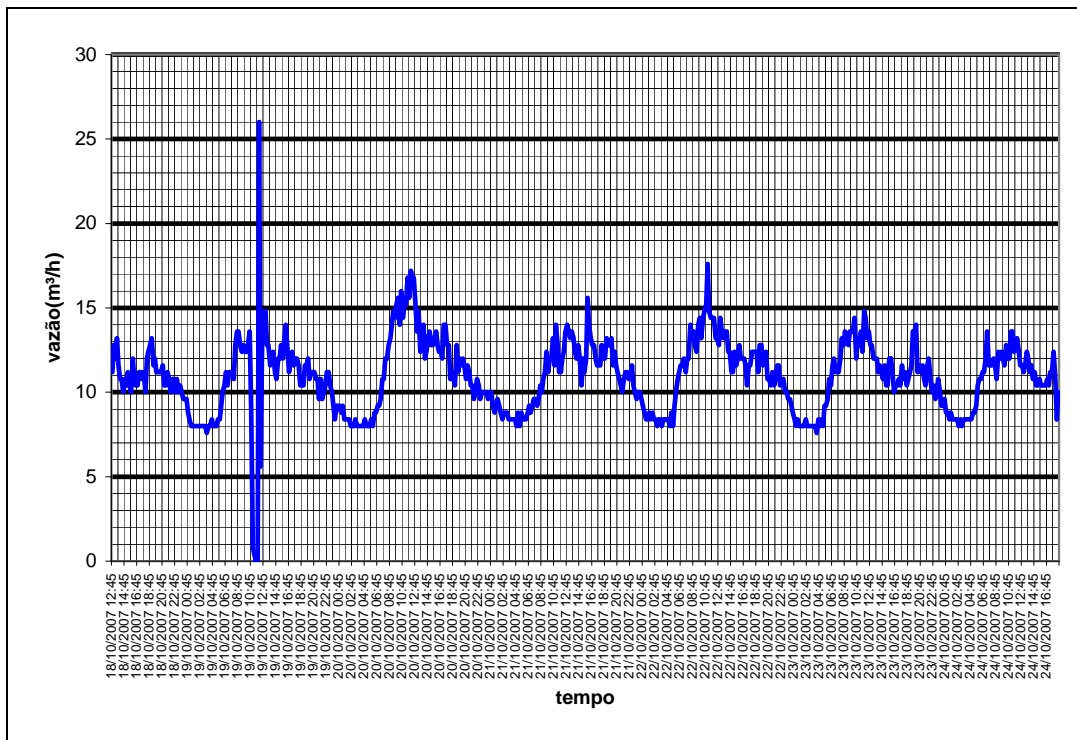


Figura 1 - Vazão antes das pesquisas de vazamento

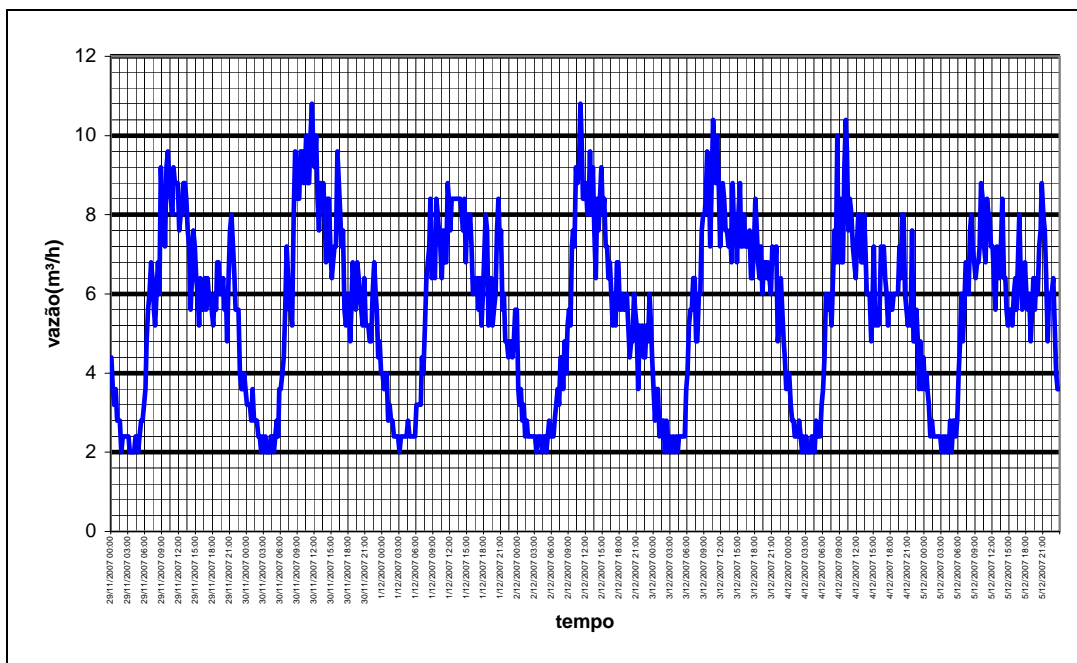
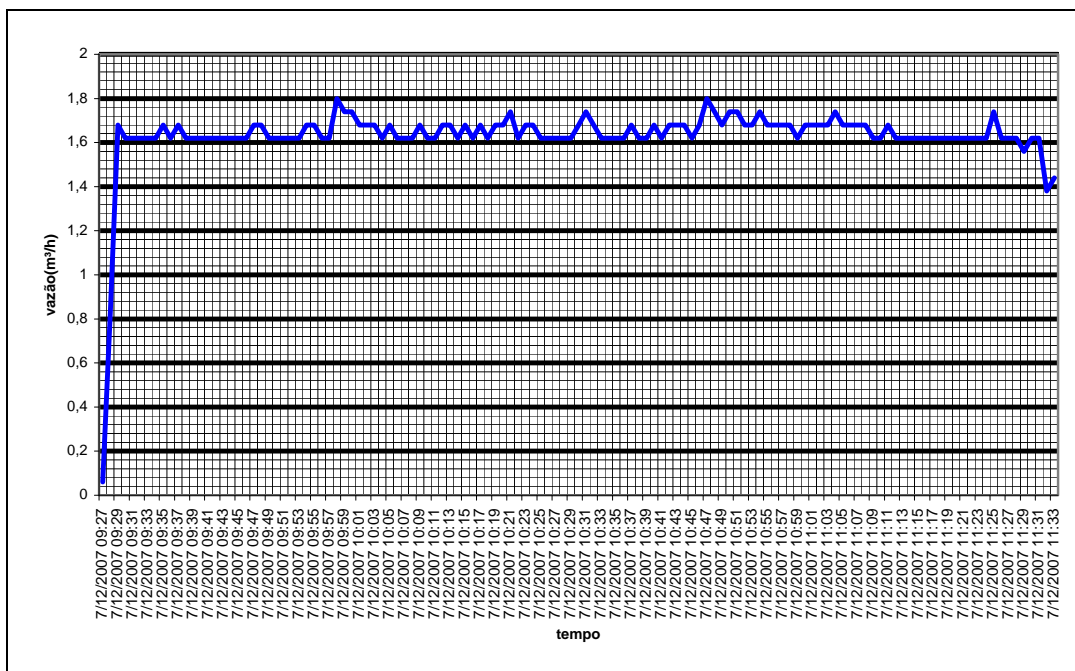


Figura 2 - Vazão após as pesquisas de vazamento

O teste foi realizado no dia 07/12/2007, com prévia entrega de comunicados informativos à população atingida no dia anterior. Foram lacrados os registros dos cavaletes dos imóveis e realizadas as leituras iniciais dos hidrômetros, para registrar eventuais consumos. Alguns moradores estavam ausentes, resultando em 10



ligações de água que não foram fechadas durante a realização do teste. A medição de vazão iniciou às 09:27h, após o término do fechamento dos registros dos cavaletes, encerrando as medições às 11:31h.



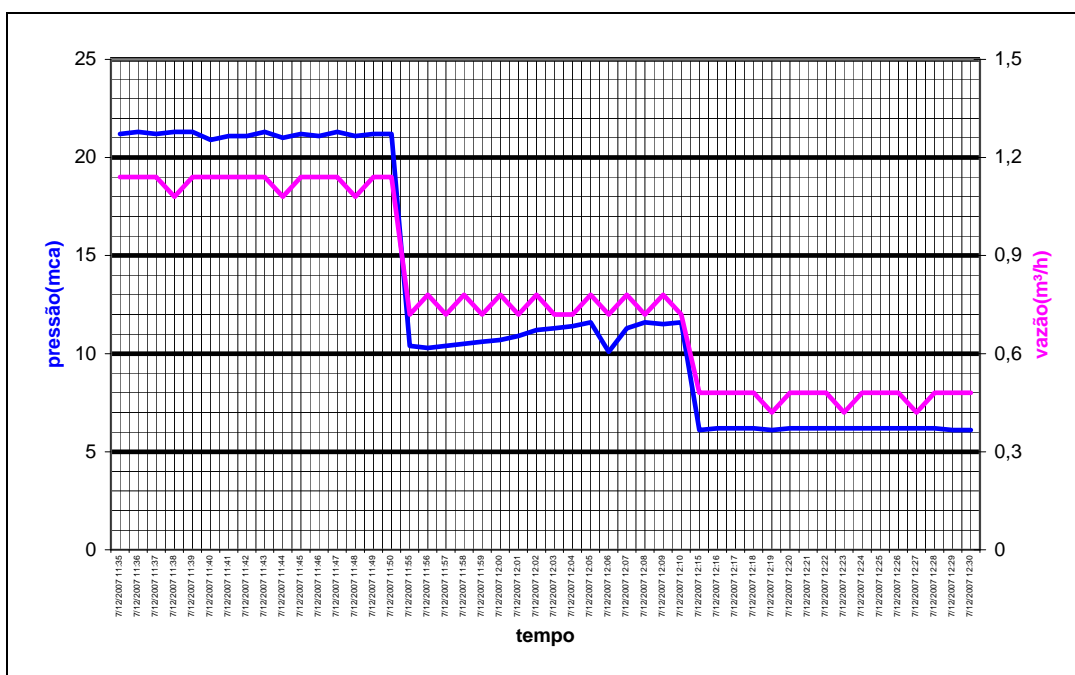
**Figura 3 - Determinação da vazão para o FCI**

A vazão mínima observada foi de  $1,62 \text{ m}^3/\text{h}$ .

A pressão no ponto médio observado foi de 34 mca.

Consumos durante o teste (somatória das diferenças de leitura dos hidrômetros das residências):  $1,733 \text{ m}^3$

Foi realizado posteriormente o teste para a determinação do fator exponencial N1, correlacionando os valores de vazão em função da pressão. A variação da pressão foi efetuada através de manobras no registro da rede principal:



**Figura 4 - Medição de pressão e vazão para determinação do N1**



**Tabela 3 – Variações de pressão e vazão para a determinação do fator N1**

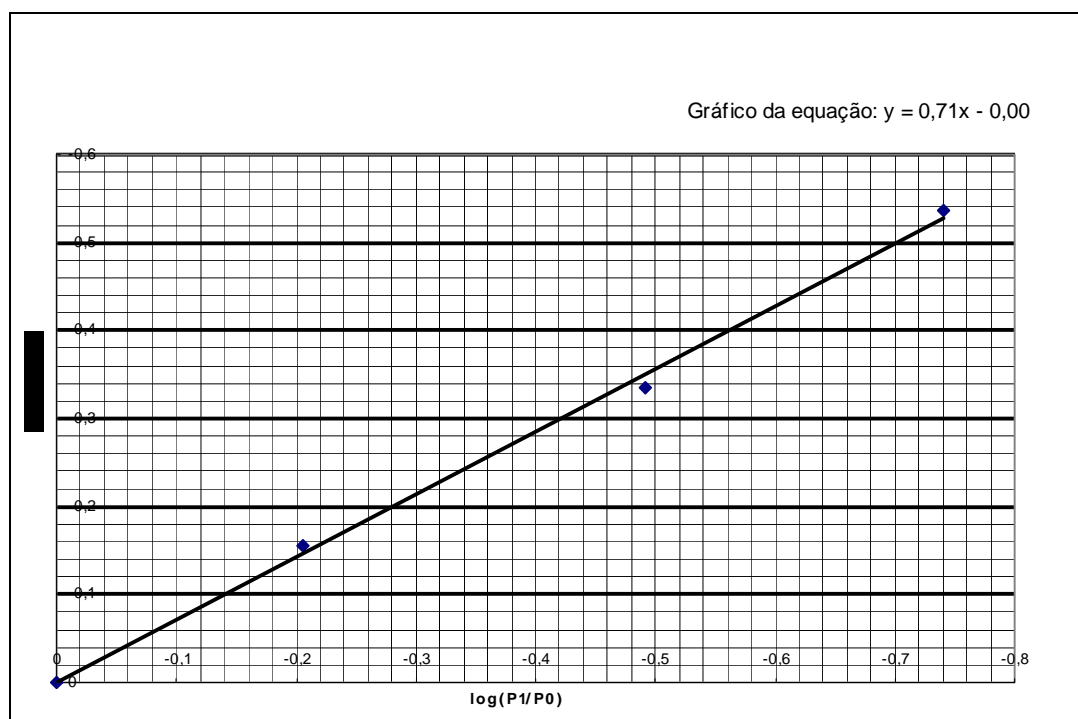
Pressão(mca)	34,00	21,18	10,96	6,18
Vazão (m³/h)	1,62	1,13	0,75	0,47

Como N1 é um fator exponencial, podemos determiná-lo através de linearização de curva, sendo que seu valor foi determinado como sendo o coeficiente angular da reta média:

$$\frac{Q_1}{Q_0} = \left( \frac{P_1}{P_0} \right)^{N1} \Rightarrow \log \frac{Q_1}{Q_0} = N1 \cdot \log \frac{P_1}{P_0} \quad \text{equação (3)}$$

**Tabela 4 – Dados para a confecção da curva de N1**

$\frac{Q1}{Q2}$	$\frac{P1}{P2}$	$\log_{10} \frac{Q1}{Q2}$	$\log_{10} \frac{P1}{P2}$
1,00	1,00	0,00	0,00
0,62	0,69	-0,21	-0,16
0,32	0,46	-0,49	-0,33
0,18	0,29	-0,74	-0,54



**Figura 5 - Curva de N1**

Portanto, N1 = 0,71.

#### Cálculo do FCI

$$FCI = \frac{1,62 \cdot 24 - 1,733}{0,48 \cdot 1,58 \cdot \left( \frac{34}{50} \right)^{0,71} + 0,03 \cdot 192 \cdot \left( \frac{34}{50} \right)^{0,71}} \Rightarrow FCI = 7,49$$

De acordo com os testes e cálculos efetuados, verificou-se que a situação das tubulações do setor se encontra 7,49 vezes pior do que a situação ideal.



## RESULTADOS DA SEGUNDA ETAPA

Foram trocados os ramais de todos os imóveis da área. Realizou-se novamente a medição da vazão, obtendo-se a vazão média de  $5,04\text{m}^3/\text{h}$  e a vazão mínima noturna  $0,80\text{m}^3/\text{h}$ .

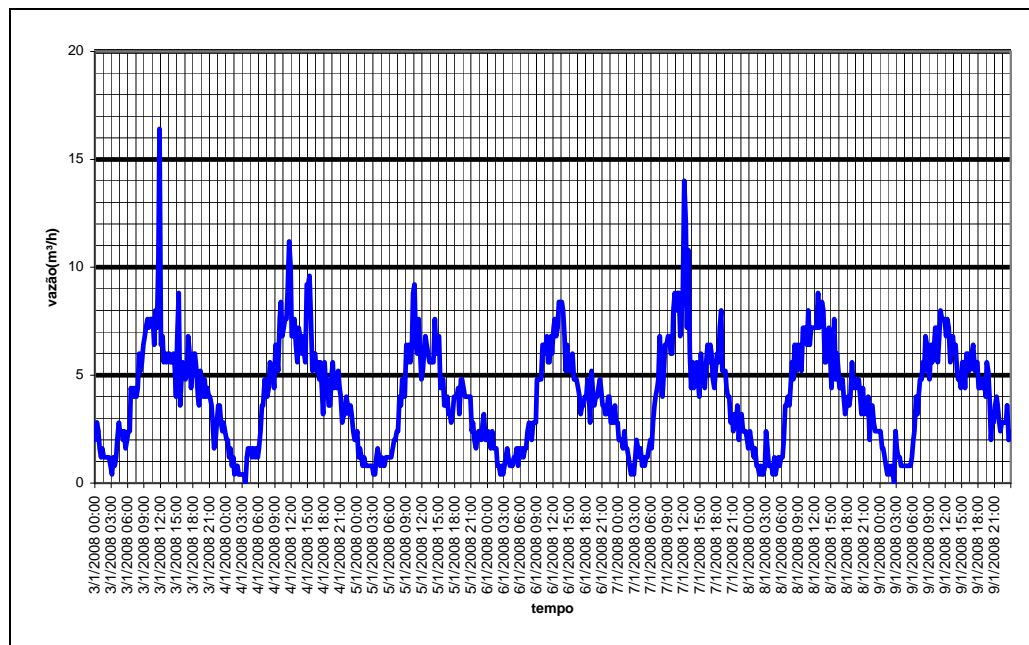


Figura 6 - Medição de vazão após as trocas de ramais

O novo teste foi realizado no dia 17/01/2008, com prévia entrega de comunicados informativos à população atingida no dia anterior. Foram lacrados os registros dos cavaletes dos imóveis e realizadas as leituras iniciais dos hidrômetros, para registrar eventuais consumos. Alguns moradores estavam ausentes, resultando em 11 ligações de água que não foram fechadas durante a realização do teste. A medição de vazão iniciou às 09:20h, após o término do fechamento dos registros dos cavaletes, encerrando as medições às 11:00h.

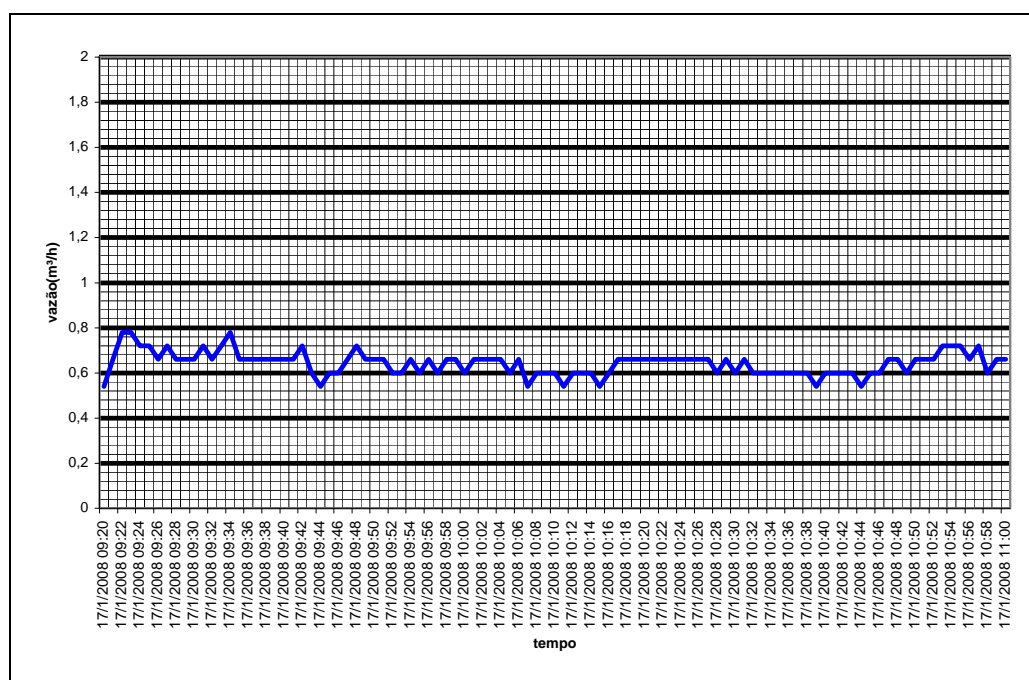


Figura 7 - Determinação da vazão para o FCI



A vazão mínima observada foi de 0,54 m<sup>3</sup>/h.

A pressão no ponto médio observado foi de 35,5 mca.

Consumos durante o teste (somatória das diferenças de leitura dos hidrômetros das residências): 1,091 m<sup>3</sup>

Foi realizado o teste para a determinação do fator exponencial N1, correlacionando os valores de vazão em função da pressão. A variação da pressão foi efetuada através de manobras no registro da rede principal:

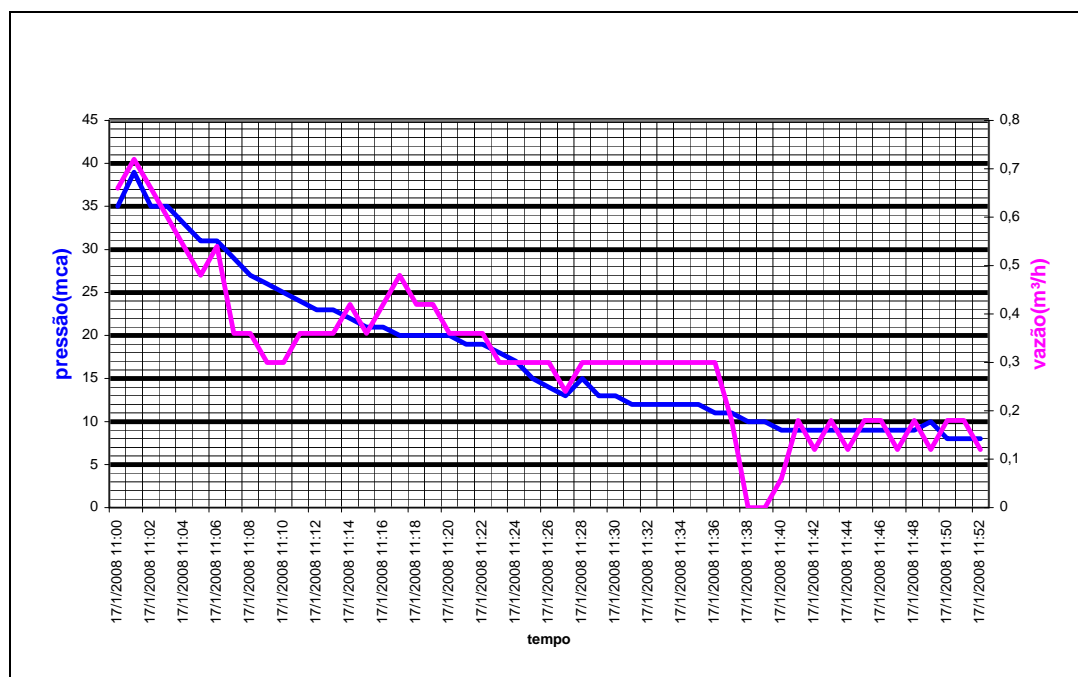


Figura 8 - Medição de pressão e vazão para determinação de N1

Tabela 5 – Variações de pressão e vazão para a determinação do fator N1

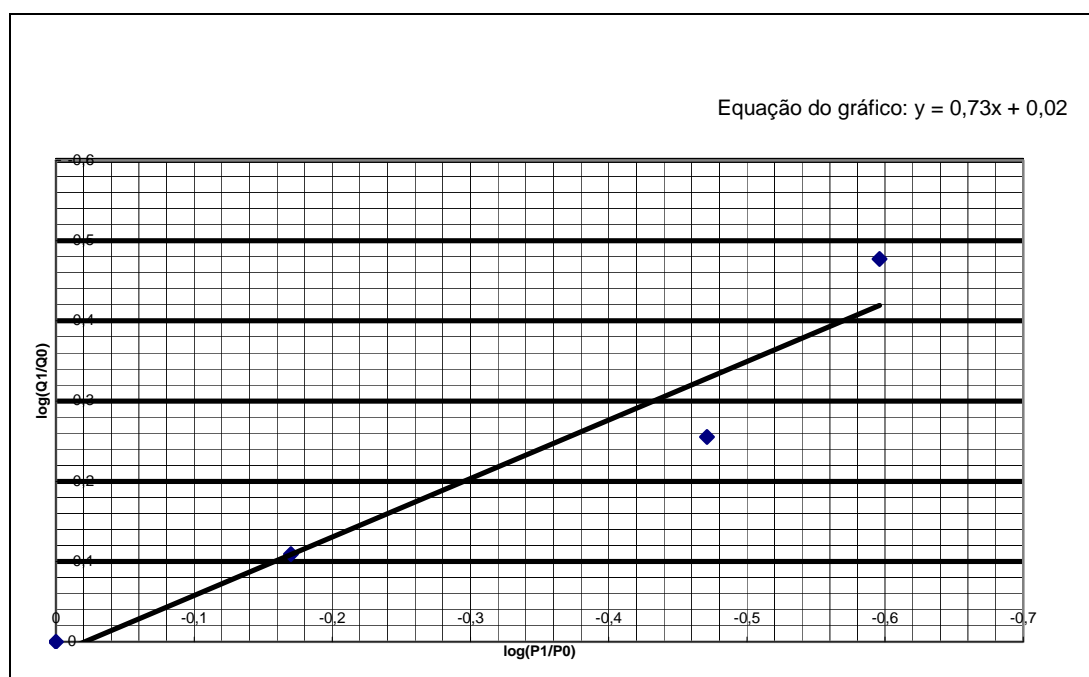
Pressão(mca)	35,50	24,00	12,00	9,00
Vazão (m³/h)	0,54	0,42	0,30	0,18

Tabela 6 – Dados para a confecção da curva de N1

$\frac{Q1}{Q2}$	$\frac{P1}{P2}$
1,00	1,00
0,68	0,78
0,34	0,56
0,25	0,33

$\log_{10} \frac{Q1}{Q2}$	$\log_{10} \frac{P1}{P2}$
0,00	0,00
-0,17	-0,11
-0,47	-0,26
-0,60	-0,48





**Figura 9 - Curva de N1**

Portanto,  $N1 = 0,73$ .

#### Cálculo do FCI

$$FCI = \frac{0,54.24 - 1,091}{0,48.1,58 \cdot \left(\frac{35,5}{50}\right)^{0,73} + 0,03.192 \cdot \left(\frac{35,5}{50}\right)^{0,73}} \Rightarrow FCI = 2,34$$

De acordo com os testes e cálculos efetuados, verificou-se que a situação das tubulações do setor se encontram 2,34 vezes pior do que a situação ideal.

## CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

Com a aplicação do Fator de Condição de Infraestrutura, é possível determinar as perdas inerentes de um determinado setor e o quão distante essa rede está das condições ideais. Este cálculo é muito importante para direcionar as ações de redução de perdas, tais como implantação de válvulas redutoras de pressão, pesquisa de vazamentos não visíveis, troca de ramais ou troca de redes.

O resultado do FCI fornece importantes direcionamentos na gestão de recursos no combate às perdas de água em cada setor de abastecimento ou unidade física definida, mostrando-se excelente apoio à tomada de decisão gerencial.

A diminuição das perdas inerentes se dá através da redução de pressão e melhoria da qualidade dos materiais da tubulação.

Com poucos recursos podem-se obter resultados altamente significativos.



## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. GOLFETO, J. A., SANTOS, L. V. A., ZANIBONI, N., SIQUEIRA, P. R. Aplicações de Novos Indicadores de Perdas de Água em Sistemas de Abastecimento, apresentado na XXXIV ASSEMBLÉIA NACIONAL ASSEMAE – VIII EXPOSIÇÃO DE EXPERIÊNCIAS MUNICIPAIS EM SANEAMENTO, maio, 2004.
2. LAMBERT, A., HIRNER, W., Losses from water supply systems – Standard terminology and recommended performance measures – The Blue Pages, International Water Association – IWA, outubro, 2000.
3. LAMBERT, A., BROWN, T., TAKIZAWA, M., WEIMER, D., A review of performance indicators for real losses from water supply systems, AQUA - International Water Association – IWA, dezembro, 1999