

Estudo de Metodologias para Determinação das Perdas Físicas em Redes de Distribuição de Água

José Vilmar Viegas

Companhia Riograndense de Saneamento – CORSAN – *jvviegas@terra.com.br*

Maria do Carmo Cauduro Gastaldini, Lidiane Bittencout Barroso

Departamento de Hidráulica e Saneamento - Centro de Tecnologia – Universidade Federal de Santa Maria

mcarmo@ct.ufsm.br, englidiane@mail.ufsm.br

Recebido: 19/10/04 revisado: 23/02/05 aceito: 29/03/05

RESUMO

O controle e a redução de perdas é uma atividade bastante complexa. Uma grande deficiência é a falta de diagnósticos precisos sobre suas causas, portanto, a definição de metodologia adequada para sua determinação é fundamental para um bom diagnóstico.

Este estudo apresenta avaliação e comparação de três metodologias para estimar perdas de água de um setor de abastecimento através das suas componentes, de maneira especial às perdas físicas: o “Balanço de Água”; o modelo EPANET; e o método empírico “ F_{ND} – Noite-Dia.”

Concluiu-se que o modelo EPANET apresentou boa performance na estimativa de vazão de vazamentos e de demandas e seus resultados estão em conformidade com os obtidos pelo método F_{ND} -Fator Noite-Dia e pelo Balanço Anual de Água, indicando ser uma ferramenta importante para a tomada de decisão sobre as ações destinadas ao combate de perdas de água, das quais destacam-se o controle de vazamentos ativos e dos usos não autorizados.

Palavras-chave: *perdas físicas, modelo EPANET, F_{ND} – Fator Noite-Dia, Balanço de Água*

INTRODUÇÃO

A eficiência operacional dos sistemas de abastecimento de água brasileiros tem sido muito contestada no que se refere à elevada perda de água. A SEDU/PR por intermédio do PMSS – Programa de Modernização do Setor Saneamento divulgou que em 2001 a média nacional das perdas de faturamento (englobando perdas físicas e aparentes) nos sistemas brasileiros foi de 40,6%, com os maiores valores alcançando a faixa dos 70% e os menores 30% (SEDU/PR, 2002). Visando melhorar a gestão operacional destes sistemas, pesquisas têm sido desenvolvidas para determinar as perdas físicas e aparentes.

A falta de informações confiáveis, para estimar os volumes distribuídos no sistema e conhecimento da natureza dos vazamentos, resultou na formação de um grupo de trabalho, no Reino Unido em 1973, que coletou dados de diversas companhias, produzindo o relatório final em 1980 denominado “Leakage Control Polity and Practice” (Technical Group on Waste of Water, 1980). Relatam a existência de vários fatores que influenciam nos vazamen-

tos, dos quais destaca-se a pressão, fator que pode afetar a perda de água na forma de vazão de vazamento, frequência de rompimentos, localização de vazamentos, alteração de pressão e pressão cíclica. Outros fatores importantes são: a deteriorização da rede principal, as características do solo e o tráfego pesado.

Entre 1991 e 1994, o National Leakage Control Initiative, grupo formado no Reino Unido, fez ampla revisão dos aspectos do gerenciamento de vazamentos. Os resultados foram publicados em 8 relatórios que compõem o Managing Leakage Reports. Os conteúdos abordados são: indicadores de performance de vazamentos, avaliação econômica, estimativa de água consumida não medida, interpretação de vazão noturna, uso de dados de vazão noturna, gerenciamento de pressão; tecnologia e treinamento de gerenciamento de vazamentos e condutos de consumidores com vazamentos (Lambert, Myers & Trow, 1998).

O controle e redução de perdas são atividades bastante complexas. Uma grande deficiência é a falta de diagnósticos precisos sobre suas causas, portanto, a definição de metodologia adequada para

sua determinação é fundamental para o sucesso de um bom diagnóstico. Apresenta-se, neste trabalho, três metodologias para determinação das perdas de água: o “Balanço de Água”, o modelo EPANET, e o método empírico “ F_{ND} - Fator Noite-Dia”. Estas metodologias foram aplicadas num setor do sistema de abastecimento de água de Santa Maria-RS.

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA PILOTO

A área de estudo compreende o setor de distribuição de água do bairro Nossa Senhora de Lourdes e suas imediações na cidade de Santa Maria, Rio Grande do Sul (figura 1). Este setor está estanque hidráulicamente sendo o suprimento de água feito por um único nó. A ocupação é predominantemente residencial. A rede de abastecimento é formada por tubulações de PVC e fibrocimento com extensão de 28.328 m, 3444 economias, sendo 3152 residenciais, 243 comerciais, 25 públicas e 24 industriais e 1693 ramais ligados; dados comerciais referentes a fevereiro de 2002.

O gerenciamento da pressão é feito por uma válvula redutora de pressão (VRP) com unidade controladora para modelação temporal, mantendo o controle permanente das pressões da rede em padrões preestabelecidos.

O setor opera com três estações pitométricas (EP11, EP12 e EP13) instaladas para medir vazão e pressão nos sub-setores 1, 2 e 3, figura 1.

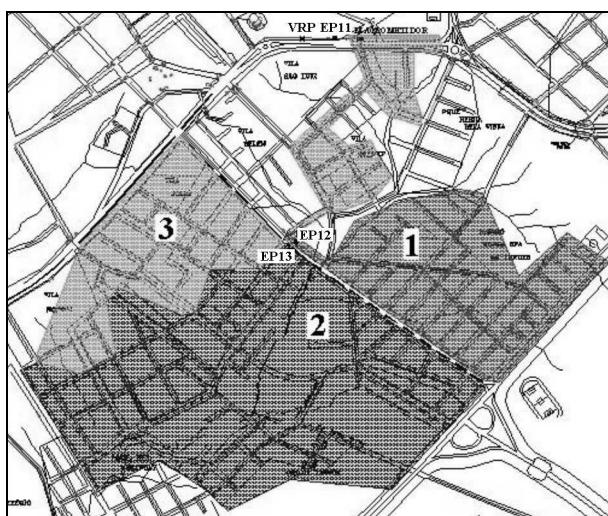


Figura 1 - Setor de Abastecimento, CORSAN (2002).

DETERMINAÇÃO DAS PERDAS FÍSICAS

Método do Balanço Anual de Água

Os programas de redução de perdas de água freqüentemente são implantados nas empresas com base no indicador IPA, Índice de Perda de Água, determinado pelo método “Balanço Anual de Água”. O método proposto pela IWA - International Water Association (Lambert & Wirner, 2000) utiliza-se de dados mensais que são anualizados para reduzir os efeitos sazonais e as diferenças de demanda ao longo do ano, gerando uma informação mais confiável.

Implantou-se um controle operacional para determinar:

- **Volume Distribuído no Setor (V_D (m³/mês))** é o volume de água que abastece o setor, obtido pelas leituras diárias do macromedidor (instalado na entrada do setor com 2 leituras diárias no período noturno (2:00 e 4:00 h), sendo aferido em intervalos de 180 dias, para manter erro na faixa de 2%).
- **Consumo Autorizado Faturado (V_{AF} (m³/mês))** é o somatório do volume medido nos imóveis controlados e o estimado nos imóveis sem controle. A estimativa foi feita através da média ponderada do consumo por categoria de uso dos imóveis controlados.
- **Consumo Autorizado Não Faturado (V_{ANF} (m³/mês))** é o volume autorizado não faturado é o componente do método formado pelos usos dos prédios próprios da concessionária, expurgo na rede, água para incêndio e autorização de consumo de áreas irregulares. Os valores foram estimados em função de informações dos relatórios da área de manutenção da CORSAN.
- **Volume de Perdas (V_P (m³/mês))** é determinado conforme a equação (1).

$$V_P = V_D - (V_{AF} + V_{ANF}) \quad (1)$$

Modelo EPANET

O modelador hidráulico EPANET, de domínio público desenvolvido pela EPA (Rossman, 2000), foi utilizado para determinação das perdas

físicas de água a partir da calibração das vazões e pressões.

A calibração do modelo EPANET exige o conhecimento dos componentes físicos e não físicos do setor da rede de distribuição. A configuração dos componentes físicos exigiu os seguintes procedimentos:

- Lançamento dos nós, reservatório, tubulações e válvula redutora de pressão, conectados e formando a rede de distribuição;
- Determinação das propriedades dos nós: cota geométrica, demanda inicial de água, coeficientes de perdas, coeficientes de variabilidade da demanda dos sub-setores 1, 2 e 3.
- Determinação das propriedades das tubulações: diâmetro, comprimento, coeficiente de rugosidade.

Os componentes não físicos descrevem o comportamento e os aspectos operacionais do sistema e são: os padrões de tempo, onde estabeleceu-se um conjunto de coeficientes de variabilidade de demanda em intervalos de tempo de 5 minutos; e o modo de controle, fornecendo-se as regras de regulação da válvula redutora de pressão.

A estimativa das perdas de água na forma de vazão de vazamentos depende da relação pressão x vazão dada pela equação (2). A pressão a ser utilizada é definida como a pressão média no setor, podendo ser obtida a partir da modelagem do comportamento hidráulico.

$$Q = aP^N \quad (2)$$

onde: Q é a vazão (L/s), P é a pressão média (m.c.a), a é o coeficiente de perdas característico do modelo EPANET, e N é o expoente da pressão média do setor.

O modelo simula a vazão de perdas nos dispositivos emissores associados a nós, que modelam o escoamento através de orifícios ou fissuras, com descarga direta para a atmosfera. A vazão, através desses dispositivos, varia em função da pressão no nó, de acordo com uma lei de vazão do tipo da equação (2).

O expoente “N” é utilizado no modelo EPANET, como propriedade indispensável para a modelagem hidráulica, e no método do Fator Noite-Dia. Para determiná-lo foi utilizado o método proposto por Silva et al. (2000), que consiste em: implantação, na entrada do setor, de estação para medir vazão e pressão noturnas; seleção de nós repre-

sentativos da rede para monitorar pressão e vazão, no período de teste; geração de estágios de vazão e pressão no período entre 3:00 e 5:00 h, através de manobras da válvula na entrada do setor.

Foram selecionados 7 nós representativos da rede de distribuição para medir pressões simultaneamente com a vazão do início do setor. O critério de seleção dos nós priorizou aqueles com maior vazão (redes principais), pressões máximas e mínimas de maneira a representarem a média do setor.

O expoente “N” foi determinado através da equação (3) (May, 1994), calculando todas as possíveis combinações produzidas pelos pares de pressão e vazão. Os conjuntos de pares de cada teste foram correlacionados através de ajuste pelo método dos mínimos quadrados, selecionando-se aqueles que apresentaram $R^2 > 0,95$.

$$\frac{Q_1}{Q_0} = \left(\frac{P_1}{P_0} \right)^N \quad (3)$$

onde: Q_0 é o vazamento (L/s) correspondente ao nível inicial de pressão P_0 (m.c.a.), e Q_1 é o vazamento (L/s) correspondente ao nível de pressão P_1 (m.c.a.).

Para a estimativa da vazão de vazamento, o modelo EPANET utiliza, além do expoente “N”, o coeficiente de perdas “a”. Este é obtido a partir da estimativa do coeficiente de descarga “ C_D ”, determinado através da equação (4), que considera a vazão de vazamentos distribuída ao longo de toda a rede.

$$C_D = \frac{Q}{L_m \cdot P^N} \quad (4)$$

onde: Q é a vazão mínima noturna (L/s), P é a pressão no período noturno (m.c.a.), e L_m é a extensão total da rede de distribuição (m).

O coeficiente de perdas “a” é um artifício usado como uma propriedade do nó. Sua determinação, equação (5), parte da hipótese de que as vazões de vazamentos existentes no setor estão distribuídas uniformemente ao longo de toda a rede. Para efeitos de cálculo o modelo considera estas vazões concentradas nos nós de jusante.

$$a = C_D \cdot L_j \quad (5)$$

onde: L_j é a extensão de rede entre dois nós (m), e a é o coeficiente de perdas do nó de jusante do trecho j .

A calibração das vazões de demanda no modelo EPANET foi obtida através de sucessivas iterações de cálculo da demanda até que o erro médio entre os valores observados e calculados fosse inferior a 1,0 %. A simulação do modelo calibrado permite gerar simultaneamente as vazões de demanda e as de vazamento.

A eficiente calibração das pressões é fundamental para a confiabilidade dos resultados das vazões de vazamentos. Desenvolveu-se, portanto, um procedimento de calibração das pressões em 15 nós representativos do setor (nós: 20, 29, 48, 55, 72, 73, 95, 136, 143, 154, 158, 162, 164, 169, 190). Selecionaram-se nós com maior vazão (redes principais), pressões máximas e mínimas de forma a representar a média do setor. A figura 2 mostra a distribuição dos nós e trechos da rede no modelo EPANET e indica os utilizados para a calibração das pressões. O erro máximo tolerado na calibração da pressão é de 2 m.c.a. ou 15% da perda de carga máxima, proposto por Walski et al. (2001). Adotou-se para coeficiente de Hazen-Williams os valores de: 140, para tubulações de PVC, e 130, para tubulações de fibrocimento, material não mais utilizado, mas existente na rede em estudo.

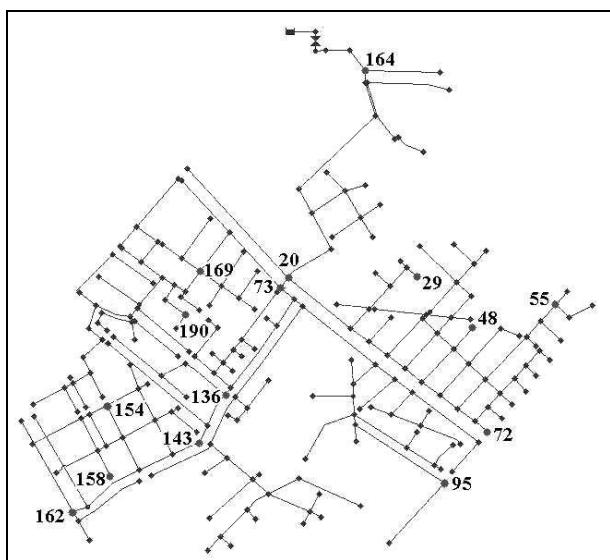


Figura 2 - Distribuição dos nós representativos da rede, Viegas (2003).

Método do F_{ND} – Fator Noite-Dia

A metodologia determina a perda física diária a partir da perda noturna e utiliza um fator multiplicador, o F_{ND} - Fator Noite-Dia. O F_{ND} , proposto

pelo Technical Group on Waste of Water (1980), representa a relação entre a perda mínima noturna (período de 1 hora) e a perda média diária, calculada conforme:

- Determinaram-se as pressões médias horárias do setor pela média das pressões de todos os nós no intervalo de 1 hora, através do modelo EPANET calibrado.
- A vazão mínima noturna medida na base de dados observados é a referência para determinar a perda noturna para um período de 1 hora no intervalo entre 3:00 e 4:00 h. A perda noturna na rede de distribuição foi determinada pela diferença entre a vazão mínima noturna e os consumos noturnos.
- Determinou-se o coeficiente “N” conforme equação (3).

$$F_{ND} = \left(\frac{P_{0-1}}{P_{3-4}} \right)^N + \left(\frac{P_{1-2}}{P_{3-4}} \right)^N + \dots + \left(\frac{P_{23-24}}{P_{3-4}} \right)^N \quad (6)$$

$$Q_{PD} = \frac{Q_{3-4} \cdot F_{ND}}{24} \quad (7)$$

onde: F_{ND} é o Fator Noite-Dia (h); P_{0-1} é a pressão média no intervalo de 1 hora (0:00 – 1:00) (m.c.a.); P_{3-4} é a pressão no período de mínima vazão noturna (m.c.a.); Q_{PD} é a vazão de perdas diárias de água (L/s); Q_{3-4} é a vazão de perdas no período de vazão mínima noturna (L/s).

RESULTADOS

Método do Balanço Anual de Água

O resultado do cálculo das perdas de água no período de agosto/2001 à julho/2002 são mostrados nas tabelas 1 e 2, respectivamente.

O resultado médio anual do período 2001 - 2002 indicou uma perda de 15,02 L/s, o que representa 46,9% do volume distribuído. Este método permite o monitoramento da evolução da perda de água de maneira ampla, porém, não define com segurança ações de controle e redução, devido ao desconhecimento de seus componentes. A interpretação destes valores mostrou a existência de perdas de água no setor, mas indica a necessidade de complementar o diagnóstico com outras metodologias.

Tabela 1 - Balanço Anual de Água no ano de 2001.

| Mês | Volume Distrib. Setor (m ³) | Consumo Autorizado (m ³) | | | Perdas de Água | | |
|-----|---|--------------------------------------|-------|-----|-----------------------|-----------|---------|
| | | (1) | (2) | (3) | (4) (m ³) | (5) (L/s) | (6) (%) |
| 08 | 79215 | 30129 | 5020 | 45 | 44021 | 16,44 | 55,6 |
| 09 | 82230 | 35117 | 11547 | 56 | 35510 | 13,70 | 43,2 |
| 10 | 80130 | 31646 | 9290 | 60 | 39134 | 14,61 | 48,8 |
| 11 | 84540 | 33184 | 10323 | 32 | 41001 | 15,82 | 48,5 |
| 12 | 90430 | 34849 | 14456 | 45 | 41080 | 15,34 | 45,4 |

- (1) Consumo Autorizado Faturado Medido
- (2) Consumo Autorizado Faturado Estimado
- (3) Consumo Autorizado Não-Faturado Estimado
- (4) Perdas de Água em Volume (m³)
- (5) Perdas de Água em Vazão (L/s)
- (6) Perdas de Água em porcentagem (%)

Tabela 2 - Balanço Anual de Água no ano de 2002.

| Mês | Volume Distrib. Setor (m ³) | Consumo Autorizado (m ³) | | | Perdas de Água | | |
|-----|---|--------------------------------------|-------|-----|-----------------------|-----------|---------|
| | | (1) | (2) | (3) | (4) (m ³) | (5) (L/s) | (6) (%) |
| 01 | 93520 | 38042 | 11352 | 32 | 44094 | 16,46 | 47,2 |
| 02 | 81900 | 39564 | 12092 | 145 | 30099 | 12,44 | 36,8 |
| 03 | 81950 | 31155 | 10178 | 23 | 40594 | 15,16 | 49,5 |
| 04 | 82810 | 34144 | 9910 | 24 | 38732 | 14,94 | 46,8 |
| 05 | 83320 | 39447 | 10198 | 29 | 33646 | 12,56 | 40,4 |
| 06 | 80820 | 35485 | 9676 | 0 | 35659 | 13,76 | 44,1 |
| 07 | 88391 | 30646 | 7557 | 34 | 50154 | 18,73 | 56,7 |

Vazão Mínima Noturna

A vazão mínima noturna é necessária para gerar parâmetros utilizados para determinação das perdas físicas. As metodologias adotadas necessitam do expoente “N”, das vazões de consumo noturno e das perdas noturnas na rede.

A tabela 3 mostra as vazões mínimas noturnas determinadas em período de mínimo consumo noturno, ou seja, entre 3:00 e 4:00 h, em agosto/01 e em março/02.

A característica de bairro residencial, a incidência elevada de reservatórios domiciliares e as elevadas vazões mínimas noturnas observadas no setor indicaram que há probabilidade de ocorrência de consumo noturno. O consumo noturno foi determinado por simulação do modelo EPANET calibrado, encontrando-se valores de 4,94 L/s para agosto/01 e 6,81 L/s para fevereiro/02. Estes valores representam uma vazão unitária por economia de 5,16 L/h/Ec e 7,11 L/h/Ec.

Tabela 3 - Vazões diárias e noturnas observadas.

| Período | Vazão (L/s) | | Período | Vazão (L/s) | |
|----------|-------------|---------|----------|-------------|---------|
| | Diária | Noturna | | Diária | Noturna |
| 07/08/01 | 26,44 | 18,08 | 12/10/01 | 27,78 | 19,39 |
| 08/08/01 | 26,04 | 18,09 | 26/02/02 | 31,44 | 19,39 |
| 09/08/01 | 26,75 | 18,09 | 27/02/02 | 33,24 | 19,39 |
| 14/08/01 | 27,21 | 18,39 | 28/02/02 | 32,57 | 19,39 |
| 16/08/01 | 26,69 | 18,39 | 11/03/02 | 26,44 | 18,75 |
| 21/08/01 | 27,56 | 18,39 | 12/03/02 | 26,04 | 18,65 |
| 17/09/01 | 28,02 | 19,39 | 13/03/02 | 26,75 | 19,09 |

A perda mínima noturna, mostrada na tabela 4, foi obtida através da diferença entre a vazão mínima noturna e o consumo mínimo noturno. Representam as perdas mínimas noturnas na rede de distribuição e nos ramais prediais.

Tabela 4 - Componentes da Vazão Mínima Noturna.

| Período | Vazão (L/s) | | |
|--------------|-------------|---------|----------------|
| | Noturna | Consumo | Perdas Físicas |
| Agosto/01 | 18,09 | 4,94 | 13,15 |
| Fevereiro/02 | 19,39 | 6,81 | 12,58 |

Parâmetros Hidráulicos

O expoente “N” representa um valor ponderado da relação pressão x vazão em todos os vazamentos existentes. Seus valores variam devido às alterações nas áreas dos orifícios e rachaduras, aos tipos de materiais e às diferenças de pressão. Foram executados testes de vazão e pressão em 7 nós representativos da rede, em ensaios noturnos, durante 6 dias. Selecionaram-se os testes que apresentaram $R^2 > 0,95$, resultando o valor médio de $N = 0,611$. Este valor é próximo ao encontrado em outros estudos (Japão, $N = 0,65$ a 2,12; Reino Unido, $N = 0,70$ a 1,68 (Lambert, 2002); São Carlos, $N = 0,88$ (Silva et al., 2000)).

O coeficiente C_D representa um coeficiente de descarga ponderado de todos os vazamentos, seu valor médio resultou $5,398 \cdot 10^{-5}$.

Método do F_{ND} – Fator Noite-Dia

Após a determinação do expoente $N = 0,611$, da perda mínima noturna (tabela 4) e das pressões médias horárias através do modelo EPANET calibrado (tabela 5), aplicou-se o método do Fator Noite-Dia.

Tabela 5 - Pressão Média Horária, modelo EPANET.

| Hora | Agosto/01 | Fevereiro/02 |
|---------------|------------------|------------------|
| | Pressão (m.c.a.) | Pressão (m.c.a.) |
| 00:00 - 01:00 | 34,04 | 31,96 |
| 01:00 - 02:00 | 35,30 | 33,41 |
| 02:00 - 03:00 | 36,25 | 34,58 |
| 03:00 - 04:00 | 36,62 | 35,51 |
| 04:00 - 05:00 | 37,01 | 35,88 |
| 05:00 - 06:00 | 37,13 | 36,00 |
| 06:00 - 07:00 | 36,54 | 34,84 |
| 07:00 - 08:00 | 37,76 | 36,18 |
| 08:00 - 09:00 | 38,72 | 37,33 |
| 09:00 - 10:00 | 36,78 | 35,12 |
| 10:00 - 11:00 | 35,42 | 33,5 |
| 11:00 - 12:00 | 34,67 | 33,22 |
| 12:00 - 13:00 | 33,78 | 32,77 |
| 13:00 - 14:00 | 32,12 | 32,00 |
| 14:00 - 15:00 | 32,18 | 32,81 |
| 15:00 - 16:00 | 34,60 | 33,89 |
| 16:00 - 17:00 | 37,06 | 34,95 |
| 17:00 - 18:00 | 38,51 | 35,92 |
| 18:00 - 19:00 | 39,27 | 35,93 |
| 19:00 - 20:00 | 40,09 | 35,98 |
| 20:00 - 21:00 | 34,51 | 31,36 |
| 21:00 - 22:00 | 30,37 | 28,69 |
| 22:00 - 23:00 | 31,77 | 31,07 |
| 23:00 - 24:00 | 32,05 | 31,07 |
| Média | 35,52 | 33,92 |

O valor do Fator Noite-Dia, obtido pela equação (6), foi de 23,39 h para agosto/01 e 23,18 h para fevereiro/02; indicando que a variação de pressão na rede é pequena e que a vazão de vazamentos é praticamente constante.

A vazão de perda diária, equação (7), foi de 12,40 L/s para agosto/01 e 12,15 L/s para fevereiro/02. Seus resultados apresentaram boa precisão, mostrando ser um importante instrumento de cálculo de perdas físicas devido sua simplicidade no cálculo.

Modelo EPANET

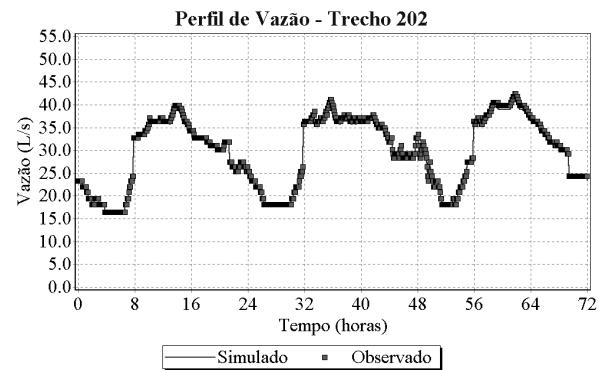
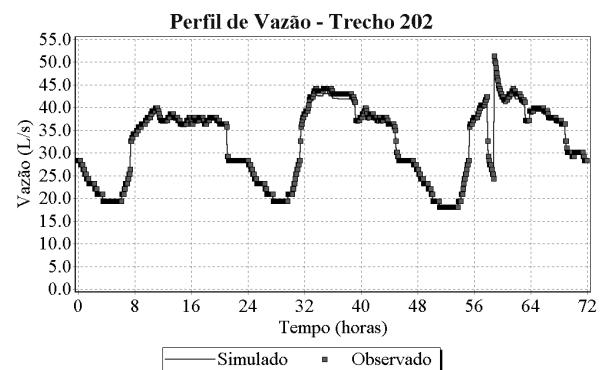
Este estudo demonstra a aplicabilidade do modelo EPANET na determinação das perdas físicas de água em setores de abastecimento. O modelo foi simulado em um setor selecionado como área piloto e os seus resultados confrontados com outros méto-

dos de cálculo (F_{ND} - Fator Noite-Dia e Balanço Anual de Água), na mesma base de dados.

A primeira etapa foi à configuração do modelo com os componentes físicos e não físicos da rede, parâmetros hidráulicos ("a" e "N") e dados comerciais, para os períodos de simulação entre agosto/01 e fevereiro/02.

Na segunda etapa, foram realizadas as simulações de maneira simultânea entre as vazões de demanda e de vazamentos.

A calibração definitiva na seção de entrada do setor (trecho 202), nas figuras 3 e 4, mostra a conformidade dos perfis de vazão calculada e observada com erros médios absolutos de 0,501 % e 0,599 % para os períodos de agosto/01 e fevereiro/02, respectivamente.

**Figura 3 – Perfil de vazão calibrada (Agosto/01).****Figura 4 – Perfil de vazão calibrada (Fevereiro/02).**

Os resultados produzidos pelo modelo, após a calibração das vazões, apresentaram os valores das pressões simuladas e observadas para cada nó com o erro médio absoluto, descrito na tabela 6.

As calibrações de pressões nos 15 nós representativos do setor apresentaram somente 4 com erro superior a 5,0 %, sendo que os restantes ficaram dentro da faixa tolerável. Os relatórios obtidos do modelo mostram a calibração do perfil das pressões nos nós representativos, conforme figuras 5 a 19.

A calibração da vazão e de pressão permitiu a determinação das vazões de vazamentos (perdas físicas) pelo modelo EPANET. As vazões foram obtidas pela diferença entre as simulações das demandas com vazamentos e das demandas isoladamente (vazão de vazamentos = 0). Estas vazões foram calibradas e o perfil das vazões é mostrado nas figuras 20 e 21.

Tabela 6 - Estatística de calibração, modelo EPANET.

| Nº | Pressão média Obs. (m.c.a.) | Pressão média Sim. (m.c.a.) | Erro Médio (%) |
|-----|-----------------------------|-----------------------------|----------------|
| 29 | 48,70 | 49,00 | 1,070 |
| 48 | 39,31 | 37,28 | 2,836 |
| 55 | 25,94 | 29,41 | 3,914 |
| 72 | 27,34 | 30,92 | 3,677 |
| 95 | 32,97 | 31,53 | 3,166 |
| 136 | 45,92 | 43,20 | 3,115 |
| 143 | 54,92 | 51,23 | 5,611* |
| 154 | 37,16 | 34,35 | 4,398 |
| 158 | 43,63 | 51,29 | 7,793* |
| 162 | 46,32 | 54,00 | 7,899* |
| 169 | 27,76 | 29,43 | 1,863 |
| 190 | 24,89 | 19,99 | 5,061* |
| 164 | 19,56 | 20,69 | 1,364 |
| 20 | 58,03 | 55,78 | 2,509 |
| 73 | 56,29 | 55,46 | 2,092 |

* Erros superiores a 5%

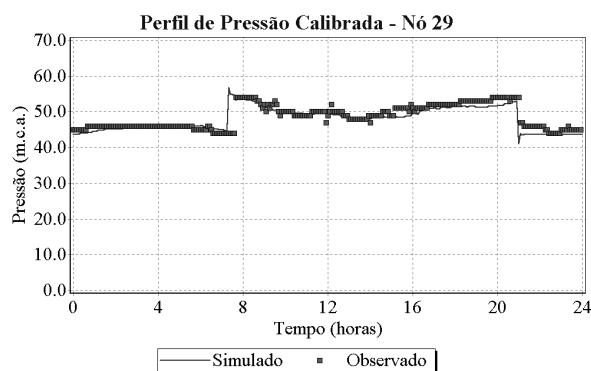


Figura 5 – Perfil de pressão nó 29.

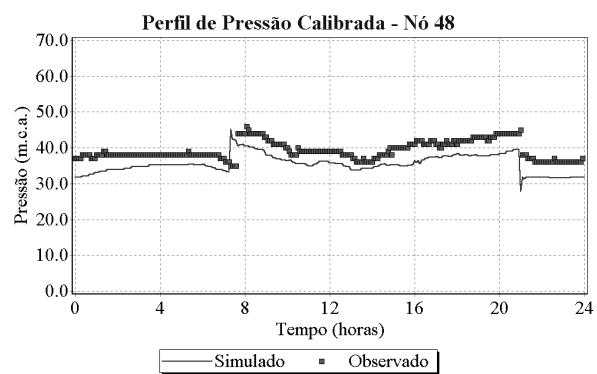


Figura 6 – Perfil de pressão nó 48.

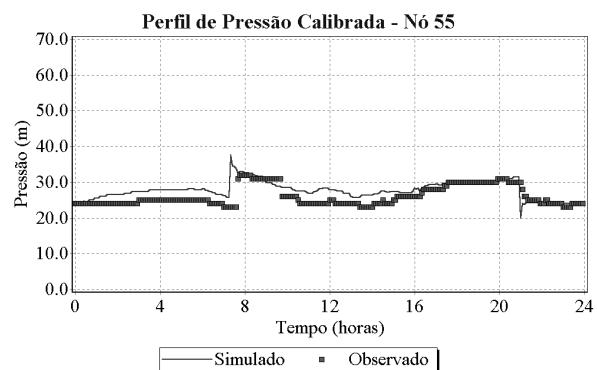


Figura 7 – Perfil de pressão nó 55.

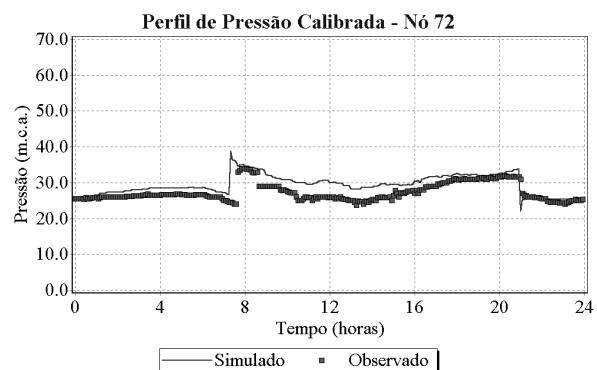


Figura 8 – Perfil de pressão nó 72.

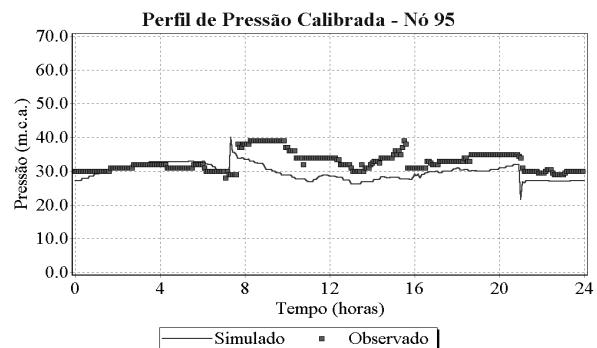


Figura 9 – Perfil de pressão nó 95.

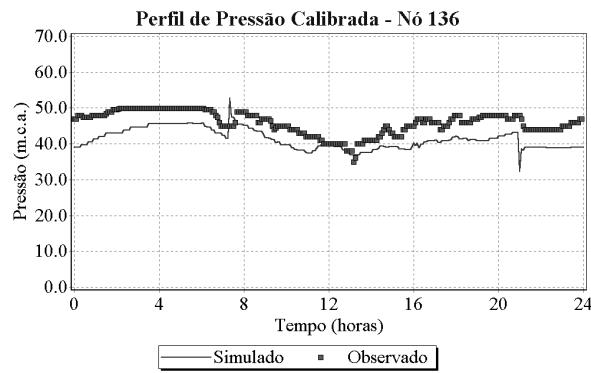


Figura 10 – Perfil de pressão nó 136.

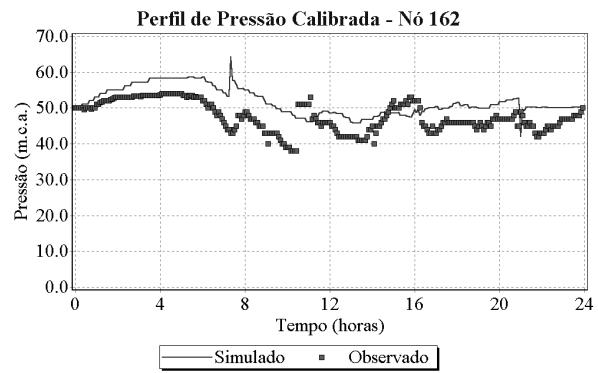


Figura 14 – Perfil de pressão nó 162.

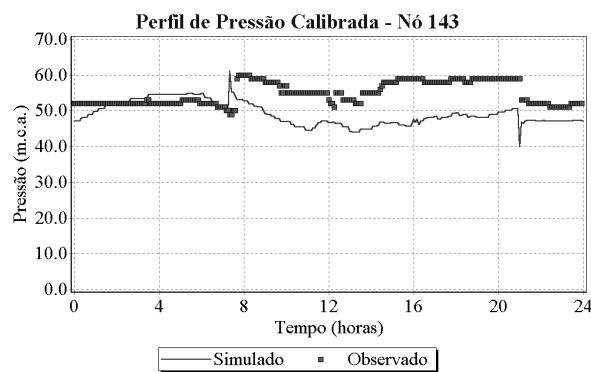


Figura 11 – Perfil de pressão nó 143

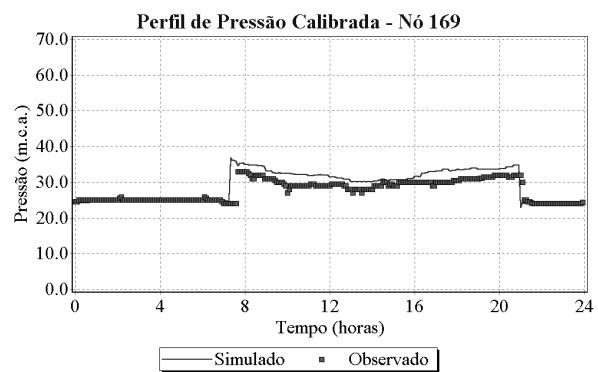


Figura 15 – Perfil de pressão nó 169.

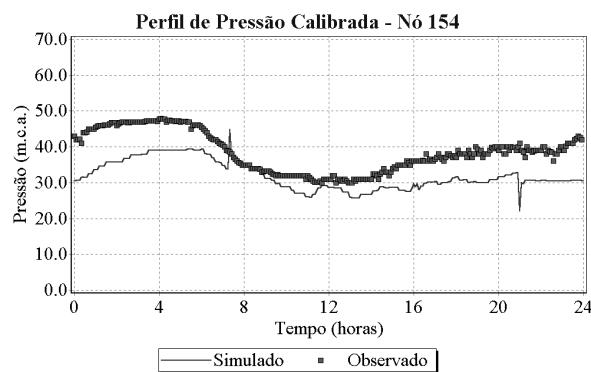


Figura 12 – Perfil de pressão nó 154.

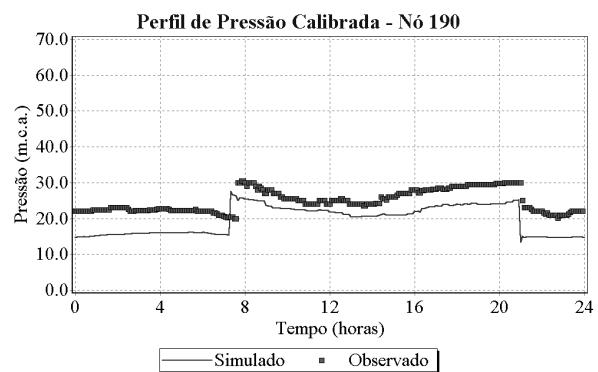


Figura 16 – Perfil de pressão nó 190.

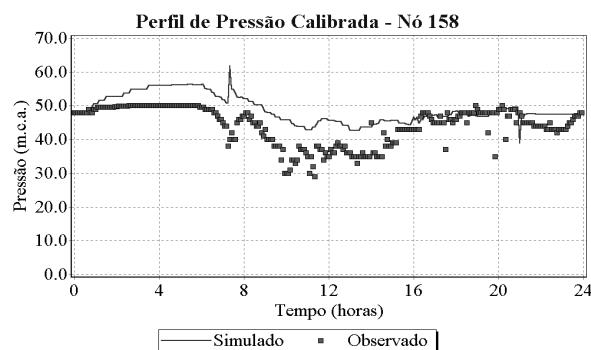


Figura 13 – Perfil de pressão nó 158.

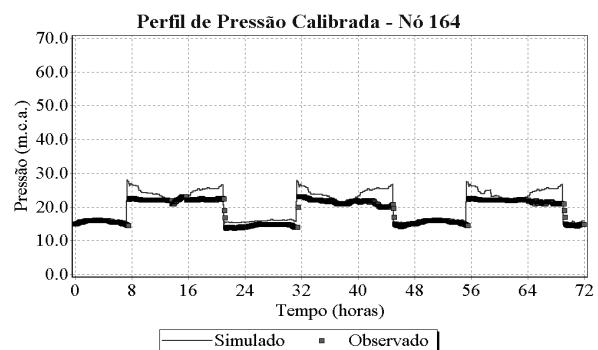


Figura 17 – Perfil de pressão nó 164.

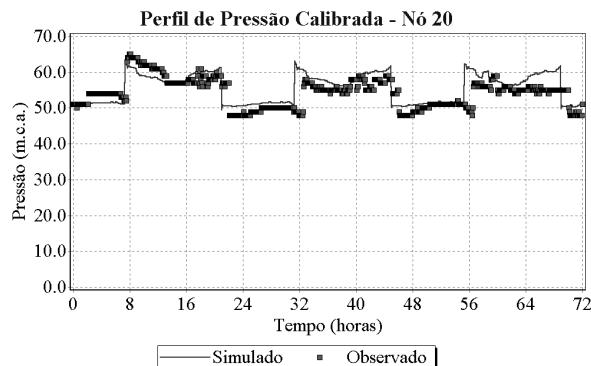


Figura 18 – Perfil de pressão nó 20.

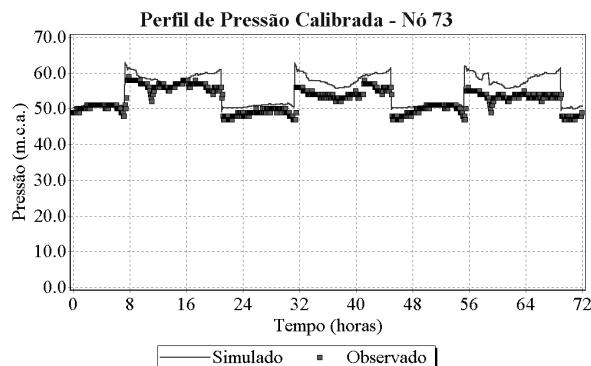


Figura 19 – Perfil de pressão nó 73.

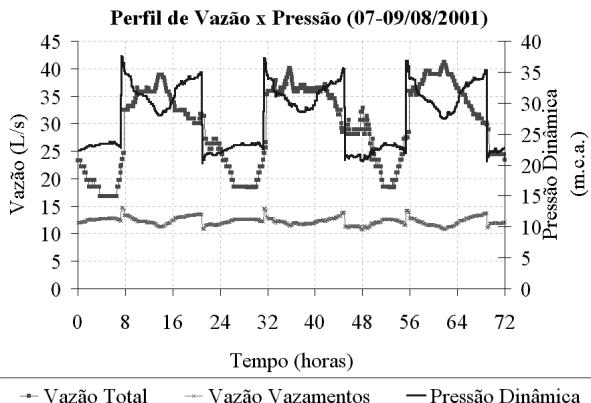


Figura 20 - Perfil de Vazão Total x Perdas (Agosto/01).

As perdas de água do setor de distribuição em estudo foram calculadas pelo método balanço de Água, modelo EPANET e F_{ND} - Fator Noite-Dia em condições similares e apresentaram resultados com boa conformidade dos valores. Os valores das perdas calculadas nos dois períodos distintos (Agosto/01 e Fevereiro/02) para as metodologias de perdas físicas (EPANET e F_{ND}) estão na tabela 7 e o valor médio anual do método Balanço Anual de Água apresentou a vazão de 15,02 L/s.

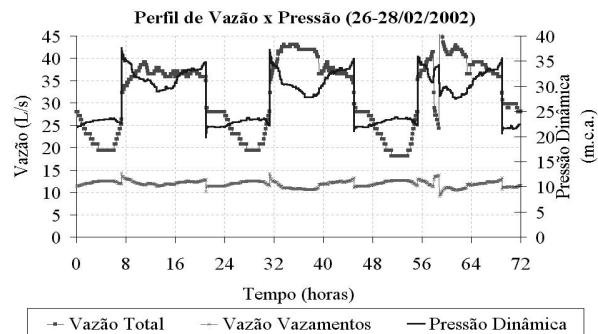


Figura 21 - Perfil de Vazão Total x Perdas (Fevereiro/02).

Tabela 7 - Valores comparativos de vazão de perdas.

| Método de Cálculo | Período de Testes (Q (L/s)) | | |
|-------------------|-----------------------------|--------------|-------|
| | Agosto/01 | Fevereiro/02 | Média |
| EPANET | 12,3 | 11,9 | 12,1 |
| F_{ND} | 12,4 | 12,1 | 12,2 |
| Balanço Anual | | | 15,02 |

Cabe lembrar que a vazão de perdas estimada pelo método Balanço Anual de Água é composta pelas perdas físicas e as aparentes. Os resultados mostram que deve existir em torno de 2,80 L/s de perdas aparentes.

CONCLUSÕES

Os estudos realizados permitem propor metodologias que visam determinar a composição das perdas de água. Dentre os métodos analisados considera-se o Balanço de Água, o modelo EPANET e o método empírico F_{ND} - Fator Noite-Dia, como apropriados para a estimativa de perdas. Estes métodos têm em comum a facilidade para o seu uso e apresentaram, nos testes realizados, uma boa concordância.

As observações dos resultados deste trabalho mostraram que, para garantir maior confiabilidade, é necessário determinar o expoente específico para o setor em estudo. Quanto à metodologia adotada, para determinação do expoente “N”, concluiu-se que o método, a partir de nós representativos, apresentou boa confiabilidade no resultado, sendo um procedimento indicado para este tipo de atividade.

O monitoramento da vazão mínima noturna é o melhor parâmetro de avaliação da evolução de perdas de água em um setor, pelo fato de apresentar a parcela de perdas muito maior do que o consumo noturno, sendo facilmente obtido por testes de pitotmetria.

A estimativa de perdas físicas diárias pelo método F_{ND} - Fator Noite-Dia apresenta boa precisão e conformidade na comparação com outros resultados, porém, é dependente das informações das pressões médias do setor e da vazão de perda noturna.

O modelo Balanço de Água mostrou boa conformidade de resultados em uma avaliação mais geral do problema, sendo importante associar os seus resultados com os que determinam as perdas físicas e as aparentes. A inconsistência da base de dados, provocada pela sazonalidade e períodos diferentes de leitura de consumo, torna necessário estimar perdas em períodos de 12 meses para corrigir estes fatores.

A determinação das perdas físicas através do modelo EPANET necessita, preliminarmente, que a configuração da rede, os componentes físicos e não-físicos, parâmetros hidráulicos ("a" e "N") simulem a situação mais realista possível. O modelo bem calibrado é uma excelente ferramenta para estimativa de perdas físicas, porém, é necessário a simulação de vários setores com valores diferentes de "N" e de alterações de pressão, para gerar perfis com maior variabilidade.

Conclui-se, portanto, que as metodologias testadas para estimar perdas de água em setor de abastecimento apresentaram boa conformidade, e no caso especial, do modelo EPANET, que é muito pouco usado para este objetivo, devendo ser estimulado o seu uso.

Recomendações

As estimativas dos consumos noturnas devem ser estudadas com maior profundidade, adotando modelos estatísticos de amostragens, combinada com coleta de dados de medidores de alta precisão, para baixas vazões e ampliar os estudos com o uso do modelo EPANET.

O expoente "N" deve ser estimado com um maior número de pontos representativos, para conduzir a resultados mais precisos. Também recomenda-se a ampliação dos testes em outros setores, para avaliar a performance dos modelos com expoentes e variação de pressão diferentes.

Considera-se relevante que as empresas do setor aperfeiçoem seus métodos de enfrentamento do problema de perdas de água com a produção de diagnósticos com maior precisão e com eficiente técnica de abordagem das ações de redução e controle de perdas.

O resultado deste estudo permite recomendar que é possível a determinação de perdas físicas

com precisão, através do uso do modelador hidráulico EPANET e do F_{ND} - Fator Noite-Dia.

REFERÊNCIAS

- CORSAN (2002) *Cadastro da Rede de Distribuição*. Porto Alegre.
- LAMBERT, A. (2002) *IWA - Best Practice for Performance Indicators*. Salvador. Non-Revenue Water and Water Losses, p. 14 - 40.
- LAMBERT, A.; MYERS, S. & TROW, S. (1998) *Managing Water Leakage - Economical and technical issues*. London, Financial Times Business Limited, 162p.
- LAMBERT, A.; WIRNER, W. (2000) *Losses from Water Supply Systems: Standard Terminology and Recommended Performance Measures*. IWA - International Water Association. p 4 - 7.
- MAY, J. (1994) *Leakage, Pressure and Control*. BICS International Conference on Leakage Control Investigation in Underground Assets. London.
- ROSSMAN, L. A. (2000) EPANET User's Manual. U. S. Environmental Protection Agency. 200 p.
- SEDU/PR. (2002) *Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2001*. Programa de Modernização do Setor de Saneamento. Brasília.
- SILVA, F. G. B.; GRATÃO, U.; PORTO, R. M. & CHAUDHRY, F. H. (2000) *Avaliação de Parâmetros do Modelo Pressão - Vazamento para Sub-Setor da Cidade de São Carlos, SP*. In: Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Porto Seguro, Anais. ABES.
- TECHNICAL GROUP ON WASTE OF WATER (1980) *Leakage Control Policy and Practice – Report 26, National Water Council Standing Technical Committee, Water Research Center*.
- VIEGAS, J. V. (2003) *Estudo de Metodologias para Determinar Perdas Físicas em Redes de Distribuição de Água*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Maria. UFSM. 196 p.
- WALSKI, M. T.; CHASE, V. D. & SAVIC, A. D. (2001) *Calibration Hydraulic Network Models*. In: *Water Distribution Modeling*, Waterbury: Haested, Cap. 6.

Study of Methods for Determining Physical Losses from Water Distribution Networks

ABSTRACT

The control and reduction of losses from networks are complex activities. A major deficiency is the lack of necessary diagnostics on its causes, so that obtaining a good diagnostic method is of fundamental importance.

This study evaluates and compares three methodologies for estimating water losses from components of a supply sector, with particular attention to physical losses, using methods based on water balance, the model EPANET, and the empirical method “F_{ND} - Night-Day Factor”.

It was found that model EPANET performed well in estimating leakage losses and demands, and its results agreed with those obtained by the method F_{ND} and the Annual Water Balance method, showing that it is an important tool for making decisions concerning how to reduce water losses, particularly from active leakage and unauthorized use.

Keywords: *physical losses, model EPANET, F_{ND} - Factor Night-Day, Water Balance*