

**I-1183 - ANÁLISE DE PERDAS DE ÁGUA EM SISTEMA DE ABASTECIMENTO PÚBLICO ATRAVÉS DO MÉTODO DAS VAZÕES MÍNIMAS NOTURNAS: ESTUDO DE CASO – APLICAÇÃO NO DMC-39 EM RECIFE-PE**

**Gilvandro Barbosa Tito<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Civil pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Engenheiro da Companhia de Saneamento de Pernambuco (COMPESA). Mestrando do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal de Pernambuco (PPGECAM/UFPE).

**Isabelle Sales Alves de Sousa**

Graduanda em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Bolsista de Iniciação Tecnológica e Industrial A do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (PIBIT/CNPq).

**Rebeca Thays Florencio Teodoro de Siqueira**

Graduanda em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Bolsista de Iniciação Tecnológica e Industrial A do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (PIBIT/CNPq).

**Eduarda Luciana Larissa de Lima**

Engenheira Civil pelo Centro Universitário Vale do Ipojuca (UNIFAVIP/Wyden). Mestranda do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal de Pernambuco (PPGECAM/UFPE).

**Saulo de Tarso Marque Bezerra**

Engenheiro Civil e Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Professor Associado da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE).

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua São Bento, 78 - São José - Garanhuns - PE - CEP: 55295-340 - Brasil - Tel: (87) 3764-2319 - e-mail: [gilvandro@compesa.com.br](mailto:gilvandro@compesa.com.br).

**RESUMO**

Com o crescimento populacional, a demanda de água nas cidades tem aumentado significativamente, forçando as companhias de saneamento a captar água de fontes cada vez mais distantes dos centros urbanos, tornando o custo operacional mais elevado. Por isso, não se admite mais “conviver” com elevados índices de perdas de água. É necessário que as empresas realizem diagnósticos de perdas de água mais acurados, a fim de aplicar ações mais assertivas no combate às perdas de água. O novo marco regulatório do saneamento básico, aprovado em dezembro de 2020, exige que as companhias de saneamento reduzam as perdas de água como forma de condicionante para captação de recursos financeiros junto aos órgãos Federais. Sendo assim, o presente trabalho vem relatar um estudo de perda reais de água, utilizando o método da Vazão Mínima Noturna, em um distrito de medição e controle da Região Metropolitana do Recife (DMC-39). Os estudos realizados estimaram as perdas reais em 4.109,39 m<sup>3</sup> por dia, considerando a produção diária de 5.356,37 m<sup>3</sup> por dia, o que significa que as perdas reais correspondem a 76,71% do volume produzido. Logo, existe um grande potencial de melhoria no combate às perdas reais de água no referido distrito.

**PALAVRAS-CHAVE:** Abastecimento de água, Distrito de Medição e Controle, Perdas de água, Vazão mínima noturna.

**INTRODUÇÃO**

O acesso à água, seguro e suficiente, é uma necessidade básica do ser humano e não pode ser tratado apenas sob os pontos de vista técnico e econômico. É um direito que deve ser reconhecido, promovido e protegido por autoridades públicas e privadas (BEZERRA & CHEUNG, 2013). Os prestadores de serviços de saneamento brasileiros têm o desafio de universalizar o acesso à água e esgotamento sanitário. As metas estabelecidas no novo Marco Legal do Saneamento Básico (Lei Federal nº 11.445/2007 com nova redação dada pela Lei

Federal nº 14.026/2020) definiram que o país deverá atender 99% da população com acesso ao abastecimento de água potável e 90% da população precisa ter atendimento à coleta e tratamento de esgoto até 2033, com possível extensão de prazo para 2040 para alguns casos. Uma meta ambiciosa, tendo em vista que atualmente cerca de 30 milhões de brasileiros não possuem acesso a água tratada, sendo o abastecimento feito por carros pipas, cisternas ou poços artesianos.

Com base nos dados da SNIS (SNIS, 2022), ano de referência 2020, o país perdeu 40,1% da água produzida pelos sistemas de abastecimento. As perdas de água na distribuição cresceram 1,8% nos últimos 5 anos, o que demonstra que a redução do uso não autorizado e vazamentos deve ser prioridade para as empresas de abastecimento. O desperdício diário no Brasil corresponde ao volume de cerca de 7.500 piscinas olímpicas. As perdas representaram um prejuízo estimado superior a R\$ 12 bilhões.

Um ponto que agravou esse índice foram as paralisações mediante a pandemia do Covid-19. Sendo assim, faz-se necessário potencializar o monitoramento e manutenções, além de aumentar a área de distribuição de água. Em 2021, a Compesa apresentou um plano de investimentos para melhor desempenho, a receita aumentou cerca de 10,34% para abastecimento de água e esgoto, um valor de 2,017 bilhões de reais, com um lucro líquido de 234,6 milhões de reais. Dentro dos investimentos planejados pela Compesa, inclui-se a instalação de 71 mil hidrômetros, eles garantem maior precisão do consumo de água, o que é um benefício para a empresa que receberá o volume consumido e para o consumidor que pagará um valor mais justo, além de identificar vazamentos com maior precisão, diminuindo o índice de perdas.

As perdas de água são definidas como a diferença entre o volume total de água que entra em um sistema de abastecimento de água, em um determinado período, e o consumo autorizado. Estas são divididas em perdas aparentes e perdas reais. As perdas aparentes ocorrem devido ao consumo não autorizado por conexões ilegais, erros de medição e estimativas incorretas dos consumos dos usuários. As perdas reais correspondem às perdas de água devido aos vazamentos nas redes de distribuição e transbordamentos em reservatórios (LAMBERT & HIRNER, 2000; BEZERRA & CHEUNG, 2013; LAMBERT et al., 2014; SERAFEIM et al., 2022).

Os três métodos mais comuns para estimativa das perdas de água são: o balanço hídrico (LAMBERT & HIRNER, 2000), a abordagem BABE (*Bursts and Background Estimates*) (LAMBERT, 1994) e a vazão mínima noturna (VMN) (FARLEY & TROW, 2003). A VMN, que é a abordagem mais popular para estimativa de perdas reais, é comumente aplicada em distritos de medição e controle sob a suposição de que o consumo autorizado durante a madrugada é mínimo. Portanto, as estimativas de VMN podem ser consideradas representativas das perdas reais, definidas como a soma de vazamentos pequenos e possivelmente indetectáveis, cuja localização e reparo são considerados economicamente não lucrativos.

Neste contexto, o presente trabalho, desenvolvido na Universidade Federal de Pernambuco, objetiva estimar as perdas reais, por meio da análise de vazão mínima noturna, de um distrito de medição e controle localizado na Região Metropolitana de Recife (DMC-39). O desenvolvimento do mesmo contou com o apoio e o fornecimento de dados da Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA).

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Estudo de caso

O estudo de caso adotado é a rede de distribuição de água DMC-39, situada na zona sul do município de Recife, capital do Estado de Pernambuco, Nordeste do Brasil. Capital esta que é a quarto maior aglomerado urbano do Brasil, possui 218,84 km<sup>2</sup> de área, com uma população estimada em 2021 de 1.661.017 habitantes. O abastecimento de água dessa região se enquadra no regime intermitente, segundo a COMPESA, sendo a disponibilidade para área metropolitana cerca de 80% com água todos os dias, e os demais, 20%, em regime de rodízio, em detrimento da rede de distribuição subdimensionada. Composto, em sua maioria, por uma área residencial, o distrito DMC-39 é alimentado diretamente pelo grande anel (DN 1500 mm) da região metropolitana, e possui um medidor eletromagnético de inserção e uma válvula redutora de pressão na entrada do distrito.



**Figura 1: Visão aérea (delimitação) do DMC-39.**  
Fonte: COMPESA (2022)

### Estimativa da VMN baseada em média temporal

O método de Vazão mínima noturna foi inicialmente prescrito pela “*Report 26 Leakage Control Policy & Practice*” (1980), por utilizar de pesquisas e monitoramento real do setor abastecido, tendo o intuito de quantificar as perdas reais neste. Vale ressaltar a importância da delimitação dos setores de distribuição, pois é o que possibilita a identificação dos vazamentos de forma mais específica.

O método da Vazão Mínima Noturna baseia-se no volume de consumo em diferentes horários do dia, sendo entre 3 e 4 horas o consumo mínimo, e entre 12 e 14 horas o consumo máximo. De modo geral, é por meio do consumo mínimo que se quantifica os vazamentos, pois é neste momento que as pessoas estão dormindo, os reservatórios estão cheios, e a pressão é maior. Há limitações no método, não sendo indicado em sistemas com intermitência no fornecimento. Além disso, alguns dados são baseados em estudos europeus, sendo necessários estudos específicos para o Brasil (BEZERRA & CHEUNG, 2013).

Dentre as vantagens desse método incluem-se uma maior representatividade do valor numérico das Perdas Reais para o setor, retratando a realidade física e operacional das áreas, além de propiciar conhecimento das condições operacionais da área às equipes técnicas da companhia de saneamento” (TSUTIYA, 2006; VIEIRA & CAROZZI, 2006).

A média estatística tem sido usada há muito tempo como um método eficaz para remover flutuações aleatórias dos dados. Nesse contexto, a vazão mínima noturna foi estimada como a média do conjunto das vazões mínimas, diárias, estimadas no período de entre 01 e 28 de maio de 2022, Equação (1):

$$VMN = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n Q_{min}^{(j)} \quad (1)$$

onde  $Q_{min}$  é a vazão mínima do dia  $j$ ;  $n$  é o número de dias do período avaliado.

Depois de estimar a VMN do DMC, foi necessário decompô-lo em consumo noturno dos usuários (CON) e as perdas reais por vazamentos (PR\*), Equação (2). O componente doméstico do consumo noturno foi estimado com base na suposição de que aproximadamente 6% da população é ativa durante a noite (HAMILTON & MCKENZIE, 2014), enquanto o consumo não doméstico foi estimado em 5% do VMN, por haver pouca atividade comercial na região durante a madrugada.

$$PR * = (VMN - CON) \quad (2)$$

Como a VMN corresponde à taxa de vazamento durante a madrugada, quando as pressões na rede são geralmente mais baixas (devido ao gerenciamento de pressão), para obter as perdas reais que ocorrem durante todo o dia, o VMN deve ser multiplicado pelo FND, Equação (3). O FND pode ser definido como a relação entre a pressão média nas 24 horas do dia e a pressão no período entre 3 e 4 horas (P3-4), Equação (4).

$$PR = PR^* \times FND \quad (3)$$

$$FND = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n FND^{(j)}, FND = \frac{\sum_{i=0}^{24} \left[ \frac{P_i}{P_{3-4}} \right]^{N1}}{24} \quad (4)$$

Onde PR é perda real em m<sup>3</sup>, PR\* em m<sup>3</sup>/h, é o Fator Noite-Dia do dia j, Pi é a pressão média de cada hora i do dia; e N1 é o expoente de vazamento que varia de 0,5 para tubos rígidos (por exemplo, aço e ferro dúctil) a 1,5 para tubos flexíveis (PEAD, PVC, etc.), com valor médio da ordem de 1,15 (MORRISON et al., 2007; OERTLÉ & KNOBLOCH, 2010; WYATT & ALSHAFFEY, 2012; BEZERRA & CHEUNG, 2013).

## RESULTADOS

Os dados monitorados utilizados na análise foram as vazões e pressões medidas na entrada do distrito a cada 15 minutos, durante o período de 1 a 28 de maio de 2022. Este período foi escolhido porque não ocorreu interrupção no abastecimento de água do distrito, seja para reparos e manutenções ou por falta de água. Considera-se que a série temporal de vazão-pressão utilizada no trabalho é de boa qualidade.

Para fins de sintetizar o grande volume de informações, foram calculadas as médias das vazões e pressões a cada 60 minutos, obtendo-se 24 vazões em cada dia, e gerados gráficos (Figuras 2 e 3), sendo possível visualizar as vazões máximas e mínimas. A seguir, são apresentados os resultados do trabalho. Conforme se observa na Figura 2, tem-se que a vazão máxima foi 88,48 L/s e ocorreu no horário de 14 às 15 horas, enquanto a vazão mínima foi 30,17 L/s e ocorreu no horário de 3 às 4 horas. A pressão média foi 5,33 mca (Figura 3).

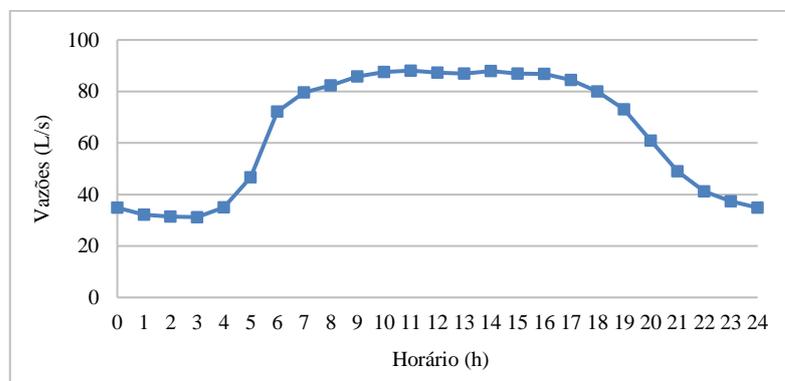


Figura 2: Vazão horária média de alimentação do DMC-39 (Recife-PE).

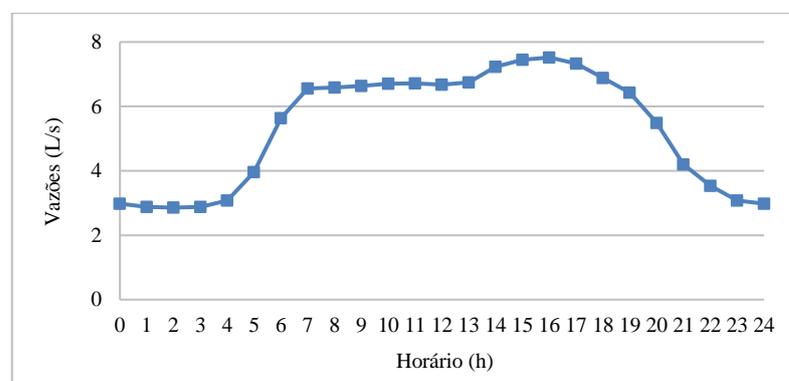
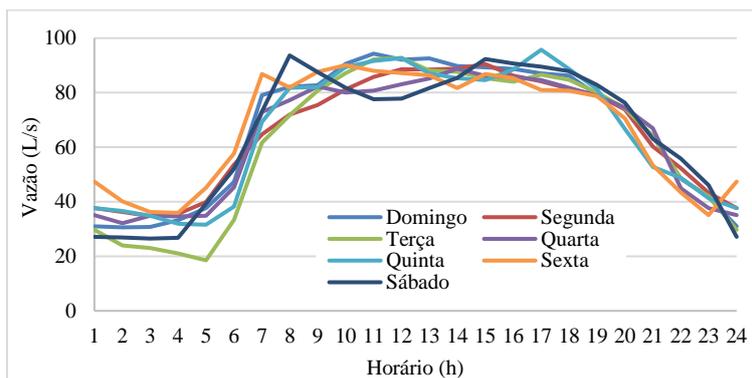


Figura 3: Pressão horária média na entrada do DMC-39 (Recife-PE).

Aplicando a Equação (4) para  $N1 = 1,15$ , usando as médias horárias dos pontos de ajuste de pressão adquiridos da série temporal de resolução de 15 minutos durante o período de 28 dias, foi obtido um FND de 43,14. Com isto, a perda real estimada foi 4.109,39 m<sup>3</sup> por dia.

Na Figura 4 é apresentado o gráfico com as vazões médias do mês de maio de 2022, sendo considerado as vazões em 24 horas em cada dia da semana, observa-se que o comportamento dos valores dos dias da semana apresentou uma variação nas vazões, apesar disso são equivalentes. Na Tabela 1, é demonstrado os valores das vazões mínimas noturnas de cada dia da semana.



**Figura 4: Vazões médias semanais na entrada do DMC-39 (Recife-PE).**

**Tabela 1: Vazão mínima noturna do dia da semana.**

Semana	VMN (L/s)	Horário
Domingo	30,62	2h00
Segunda	37,66	24h00
Terça	18,53	5h00
Quarta	32,14	2h00
Quinta	31,59	5h00
Sexta	47,36	24h00
Sábado	26,51	3h00

## ANÁLISE DE RESULTADOS

Embora a quantificação das perdas reais em redes de distribuição de água e a avaliação de sua condição geral geralmente sejam baseadas em estimativas de vazão noturna mínima, atualmente não existe metodologia estatística rigorosa que produza estimativas robustas com base nas condições médias de vazão noturna. Nesse contexto, o presente estudo obteve uma vazão mínima noturna de 108,612 m<sup>3</sup>/h e uma perda real de 4.109,39 m<sup>3</sup>/dia.

Os resultados apontam para uma perda real de 4.109,39 m<sup>3</sup> por dia, o que corresponde a um índice de perdas de 1.538,52 L/lig./dia. Vale ressaltar que não podemos comparar diretamente o valor da perda real do distrito com os valores fornecidos pelo SNIS, pois este último é composto pelas perdas reais e aparentes. Entretanto, considerando que as perdas reais correspondem a 50% das perdas totais no distrito, observamos que o índice do distrito é superior aos índices da cidade do Recife (832,99 L/lig./dia), Pernambuco (386,79 L/lig./dia), Nordeste (349,11 L/lig./dia) e Brasil (343,37 L/lig./dia) (SNIS, 2022).

Considerando os valores médios da vazão mínima noturna da semana, conforme consta na Tabela 1, obteve-se  $Q_{min} = 29,06$  L/s, inferior ao valor adotado para o cálculo das perdas reais, neste contexto as perdas poderão ser inferiores a que foi calculada, portanto para maior precisão no cálculo das perdas reais é necessário realizar um estudo estatísticos mais detalhado no cálculo da vazão mínima noturna.

## CONCLUSÕES

A estimativa das perdas de água é uma tarefa crucial para as companhias de saneamento, pois o conhecimento das condições dos sistemas é imprescindível para uma gestão eficiente. Um dos métodos de estimativa de perdas reais mais comuns é o método de Vazão Mínima Noturna (abordagem *bottom-up*).

Os resultados obtidos na análise do DMC-39, localizado em Recife-PE, para o período de 01 a 28 de maio, apontaram para uma vazão mínima noturna de 108,612 m<sup>3</sup>/h e uma perda real de 4.109,39 m<sup>3</sup>/dia. Como a análise foi realizada a partir de uma série temporal de vazão-pressão de boa qualidade, considera-se que os resultados são sólidos e representativos para o distrito avaliado.

O distrito possui um índice de perdas reais bastante alto, o que aponta para a necessidade de intervenções para a melhoria da rede de distribuição de água. As perdas elevadas influenciam diretamente o fornecimento de água à população, além de causar um impacto ambiental maior do que o necessário para o fornecimento da água.

Pesquisas futuras podem se concentrar no levantamento do balanço hídrico do distrito, com os cálculos subsequentes de indicadores de desempenho, que incluem as perdas reais inevitáveis, o índice de vazamentos na infraestrutura, e indicadores complementares econômicos e comportamentais do sistema.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), realizado por meio da concessão de bolsa de iniciação tecnológica e industrial (PIBIT) para Isabelle de Sousa, e da bolsa de produtividade para Saulo Bezerra.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BEZERRA, S. T. M., & CHEUNG, P. B. (2013). Perdas de água: tecnologias de controle. João Pessoa: Editora da UFPB.
2. FARLEY, M., & TROW, S. (2003). Losses in water distribution networks. IWA publishing.
3. HAMILTON, S., & MCKENZIE, R. (2014). Water management and water loss. IWA Publishing.
4. LAMBERT, A. (1994). Accounting for losses: The bursts and background concept. *Water and Environment Journal*, 8(2), 205-214.
5. LAMBERT, A., & HIRNER, W. (2000). Losses from Water Supply Systems: A standard Terminology and Recommended Performance Measures. IWA.
6. LAMBERT, A., CHARALAMBOUS, B., FANTOZZI, M., KOVAC, J., RIZZO, A., & ST JOHN, S. G. (2014). years' experience of using IWA best practice water balance and water loss performance indicators in Europe. In *Proceedings of IWA Specialized Conference: Water Loss*.
7. MORRISON, J., TOOMS, S., & ROGERS, D. (2007). DMA management guidance notes. IWA Publication, 100.
8. OERTLÉ, E., & KNOBLOCH, A. (2010). Guidelines for water loss reduction. In *Proceedings IWA International Specialised Conference Water Loss* (pp. 1-12).
9. SERAFEIM, A. V., KOKOSALAKIS, G., DEIDDA, R., KARATHANASI, I., & LANGOUSIS, A. (2022). Probabilistic minimum night flow estimation in water distribution networks and comparison with the water balance approach: large-scale application to the City Center of Patras in Western Greece. *Water*, 14(1), 98.
10. Secretaria Nacional de Saneamento – SNS. (2022). Diagnóstico Temático Serviços de Água e Esgoto – ano de referência 2020. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Brasília: Secretaria Nacional de Saneamento, Ministério do Desenvolvimento Regional, Brasil.
11. WYATT, A., & ALSHAFFEY, M. (2012). Non-revenue water: financial model for optimal management in developing countries—application in Aqaba, Jordan. *Water Science and Technology: Water Supply*, 12(4), 451-462.