

403 - IMPORTÂNCIA DA OPERAÇÃO DE RESERVATÓRIOS DE DISTRIBUIÇÃO PARA MANUTENÇÃO DAS PRESSÕES E REDUÇÃO DE PERDAS NAS REDES DISTRIBUIDORAS DE ÁGUA.

Sérgio Ricardo dos Santos Silva⁽¹⁾

Mestre em Engenharia Ambiental pela Escola Politécnica da UFBA. Professor do curso de Engenharia Civil e Arquitetura e Urbanismo da Universidade Anhanguera Unime - Salvador. Engenheiro da EMBASA lotado na Divisão de Operação de Sistemas e Controle de Perdas Reais da Unidade Regional da Bolandeira.

Luciano Matos Queiroz⁽²⁾

Doutor em Engenharia Civil pela Escola Politécnica da USP (2009). Professor Associado do Departamento de Engenharia Ambiental da Escola Politécnica da UFBA. Líder do Grupo de Pesquisa em Resíduos Sólidos e Efluentes da UFBA (2010)

Sandra Maria Conceição Pinheiro⁽³⁾

Doutora em Engenharia industrial pela Universidade Federal da Bahia (UFBA). Professora associada do Centro de Ciências Exatas, da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB). Pesquisadora dos grupos de pesquisa GAMMA (UFBA) e Grupo de Recursos Hídricos - GRH (UFBA).

Karla Patrícia Santos Oliveira Rodríguez Esquerre⁽⁴⁾

Professora Titular da Universidade Federal da Bahia (UFBA). É fundadora e coordenadora do Grupo de Pesquisa Gamma (gamma.ufba.br) e integra os programas de Pós-Graduação em Engenharia Industrial (PEI) e em Energia e Ambiente (PGEnAm). É idealizadora e coordenadora do Programa Ciência de Dados e Inteligência Artificial na Educação Pública, uma iniciativa que expande o projeto original Meninas na Ciência de Dados.

Endereço⁽¹⁾: Rua Eugênio Sales, nº 50 – Parque Bolandeira – Módulo 15 - Salvador - BA - CEP: 41706-670 - Brasil - Tel: (71) 3373-7621 - e-mail: sergio.silva@embasa.ba.gov.br

RESUMO

Pelo aspecto hidráulico, sabe-se que a elevação do nível de água num reservatório acarretará aumento da pressão na tubulação (Teorema de Stevin). Contudo, com o uso da modelagem matemática confirma esse conceito físico, reiterado por Galileu Galilei com afirmação: “*A matemática é a linguagem da física*”. Partindo dessa premissa, a proposta deste trabalho consiste em apresentar os resultados de estudos estatísticos de correlação e análise de regressão linear que reflete sobre a operacionalização dos reservatórios de distribuição buscando atingir níveis de água mais próximo ao seu “limite alto”, correlacionando esse feito com as pressões dinâmicas obtidas nas redes distribuidoras de água. O estudo foi desenvolvido na área atendida pelo reservatório de distribuição denominado R20 componente do Sistema de Abastecimento de Água da cidade do Salvador, Bahia. A metodologia consistiu na realização do resumo exploratório dos dados, o teste de Kolmogorov-Smirnov para avaliar a normalidade dos dados, a análise de correlação linear e a análise de regressão linear. O nível de significância considerado nos testes foi de 5%. Os resultados apresentaram correlações positivas, e estatisticamente significativas (p -valor $< 0,001$), entre as pressões registradas nos quatro pontos de telemetria selecionados em relação aos níveis do R20, com coeficientes superiores a 0,75. Já as equações de regressão linear permitem a simulação da provável pressão dinâmica nos pontos críticos escolhidos quando o reservatório R20 atingir um determinado nível de água. A operacionalização do reservatório de distribuição utilizando o modelo apresentado contribui para a redução das perdas no Sistema R20, onde o IPD (Índice de Perdas na Distribuição) no ano de 2024 reduziu gradativamente nos meses do ano de 2024 e o IPL (Índice de Perdas por Ligação) nesse mesmo período reduziu em 37,5 litros por dia para cada ligação faturada, se mantendo em tendência decrescente. Espera-se que o avanço na utilização de modelos matemáticos, como os estudos estatísticos apresentados nesse trabalho, possa conduzir na melhoria operacional dos sistemas públicos de abastecimento de água com a busca do atendimento com qualidade e eficiência para a população.

PALAVRAS-CHAVE: *Reservatório de distribuição, Nível de água do reservatório, Pressão na rede distribuidora, Ponto de telemetria, Perdas de água.*

INTRODUÇÃO

O reservatório de distribuição é um componente relevante do Sistema de Abastecimento de Água (SAA), projetado para atender as variações de consumo e oferecer energia potencial gravitacional que, durante o escoamento nas tubulações, converte-se em energia cinética e resulta em uma pressão nas redes distribuidoras. Essa pressão possui valor nominal e depende da localização topográfica do reservatório, que cresce com a cota (energia potencial) e com o nível de água (energia piezométrica) que varia em função da demanda do sistema.

Segundo Tsutiya (2005), os reservatórios são delimitados em quatro níveis operacionais: nível mínimo (limite baixo) para evitar a formação de vórtice na água e a entrada de ar na tubulação; nível máximo (limite alto), cuja diferença com nível mínimo resulta no volume útil para atender o sistema de abastecimento; nível com mecanismo boia para acionamento do recurso de segurança (limite da boia) e nível de extravasamento que ocasiona perda d'água no sistema (limite de extravasamento).

A operação dos reservatórios de distribuição abaixo do nível mínimo permite o surgimento de bolsões de ar nas redes distribuidoras que são obstáculos no escoamento de água. Já quando operados com nível acima do limite alto, elevam-se as pressões de serviço do subsistema de distribuição aumentando os riscos de rupturas das tubulações e, consequente, as perdas reais. A Norma Técnica NBR nº 12.218/1994, recomenda que a pressão estática máxima nas tubulações distribuidoras deve ser de 50 m.c.a. (metro de coluna d'água) e a pressão dinâmica mínima, de 10 m.c.a.

Segundo Tardelli Filho (2015), a determinação das perdas e seu controle são a melhor forma de avaliar se as atividades de operação e manutenção do sistema de água estão bem conduzidas. A operação do sistema de distribuição consiste principalmente em medir as vazões na entrada (ou saída) de reservatórios setoriais, bem como monitorar as pressões em pontos notáveis da rede e níveis em reservatórios. A pressão de serviço é o principal fator que leva ao aumento dos vazamentos. Ainda segundo o autor, os indicadores de perdas são uma medida da eficiência operacional do sistema de abastecimento de água.

O controle efetivo das vazões de entrada do reservatório permite atingir níveis de água entre os limites mínimo e máximo, que mantém equilíbrio das pressões nas redes distribuidoras. A utilização de modelagem matemática contribui para esse fim e pode auxiliar na redução das perdas no sistema distribuidor de água, aliada as outras ações operacionais de combate às perdas.

OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é avaliar a relação entre níveis de operação do reservatório de distribuição e as pressões de serviço registradas na rede de distribuidoras de água nas horas de menor consumo. O estudo foi desenvolvido na área atendida pelo reservatório de distribuição denominado “R20 – Cajazeiras”, componente do Sistema de Abastecimento de Água da cidade do Salvador, Bahia.

Objetivos específicos:

- Identificar o comportamento das variáveis (nível máximo do reservatório x pressão em pontos selecionados na rede distribuidora) analisadas por meio do gráfico de dispersão.
- Obter o grau de relacionamento entre os níveis máximos diários do R20 e as pressões dinâmicas em pontos selecionados da rede distribuidora da área de abrangência do reservatório.
- Determinar o modelo de regressão linear simples que melhor se ajusta aos pontos selecionados da rede distribuidora da área de abrangência do reservatório R20.
- Comparar as **vazões médias distribuídas** de água na área de atendimento do Sistema R20 no ano 2023, quando o reservatório operou com uso de tubulação de *by pass* em alguns meses do ano com os volumes distribuídos do Sistema R20 no ano 2024 em que o reservatório operou de forma plena.

METODOLOGIA UTILIZADA

A metodologia proposta foi aplicada na área de atendimento do R20 ($NA_{\min} = 69,0\text{ m}$ e $NA_{\max} = 77,0\text{ m}$) que trata-se de um reservatório de montante, apoiado, de formato cilíndrico de concreto armado (Figura 1) com capacidade de armazenamento de 8.700m^3 de água tratada com a altura máxima de 8,0 m (extravasamento). Está localizado na Estrada do Coqueiro Grande, bairro de Fazenda Grande III – Cajazeiras em Salvador, Bahia, Brasil.

Conforme mostra a Figura 1, o Reservatório R20 abastece as Zonas de Abastecimento: ZA's 43, 46, 47, 49, 50 e 51 do SAA (Sistema de Abastecimento de Água) de Salvador que juntas atendem 59.858 ligações de água

faturadas e 102.785 economias faturadas (até março de 2025) com vazão média de 860 l/s.



Figura 1 - Vista do Reservatório Apoiado R20 / Mapa de Salvador com área de atendimento do R20.
Fontes: Própria / QGis com Google satélites

A Figura 2 mostra a planta baixa do reservatório apoiado R20 que é “alimentado” a partir da ETA Principal através de uma adutora de DN (Diâmetro Nominal) 800 mm com VRP (Válvula Redutora de Pressão) DN 600 mm e tubulação de saída DN 1000 mm que fornece água à rede de distribuição. Entre a adutora e a saída do R20 existe uma tubulação de *by pass* DN 600 mm.

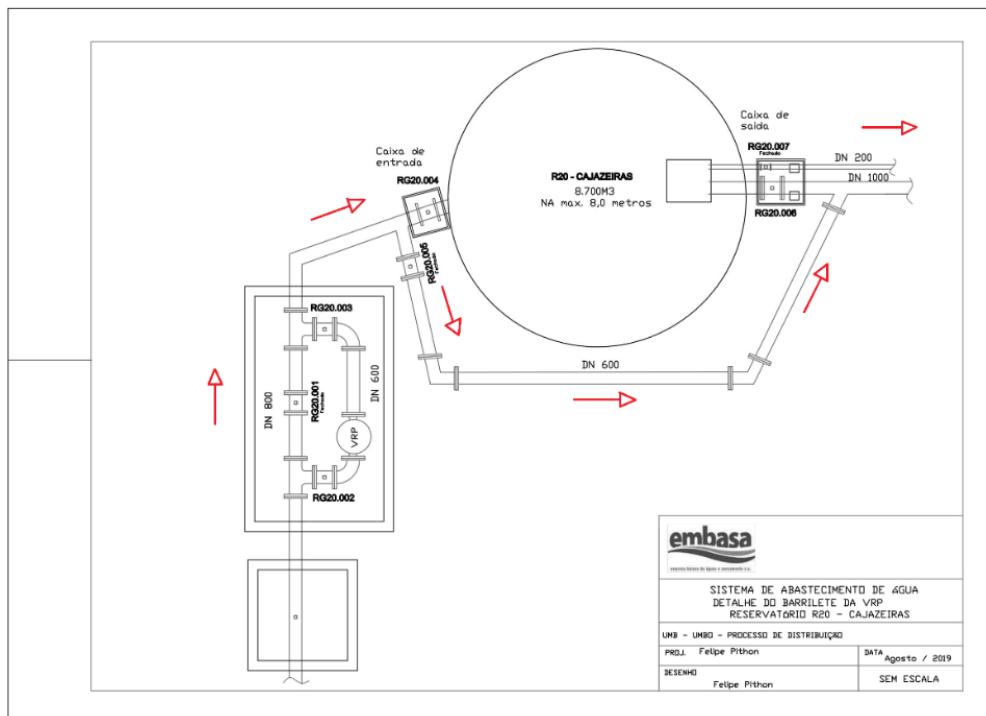


Figura 2 - Planta baixa do Reservatório R20 com VRP DN 600 mm e tubulação *by pass* DN 600 mm.

A operação desse reservatório ocorreu de forma diferente no ano de 2023 e no ano 2024. Enquanto em 2023 a operação do reservatório R20 utilizou em um período do ano a tubulação de *by pass* com pressão controlada pela VRP a montante do reservatório. Já no ano de 2024, a operação ocorreu com a utilização plena do reservatório R20 (sem uso da tubulação de *by pass*), resultando na obtenção dos níveis de água considerados nesse estudo.

As vazões de entrada e níveis operacionais do R20 são controladas de maneira remota por meio de uma Plataforma digital, denominado PIPPE, desenvolvida pela Empresa Baiana de águas e Saneamento (EMBASA) que permite monitorar os níveis dos reservatórios em tempo real, cujos valores podem ser copilados por meio de exportação em planilha Excel®. Foram considerados os níveis máximos diários do R20 registrados pela PIPPE no período de 01/08/2024 até 30/11/2024.

As pressões dinâmicas nas redes distribuidoras são monitoradas remotamente pelo Sistema de Telemetria e gerenciamento remoto do SAA de Salvador do Centro de Controle Operacional (CCO) da Unidade Regional da Bolandeira - EMBASA.

A Figura 3 mostra a tela desse Sistema, com filtro nas ZA's atendidas pelo R20, onde existem 91 pontos de medição remota da pressão na rede distribuidora, dos quais foram selecionados para este estudo, quatro pontos de telemetria: UMB098, UMB104, UMB123 e UMB148.

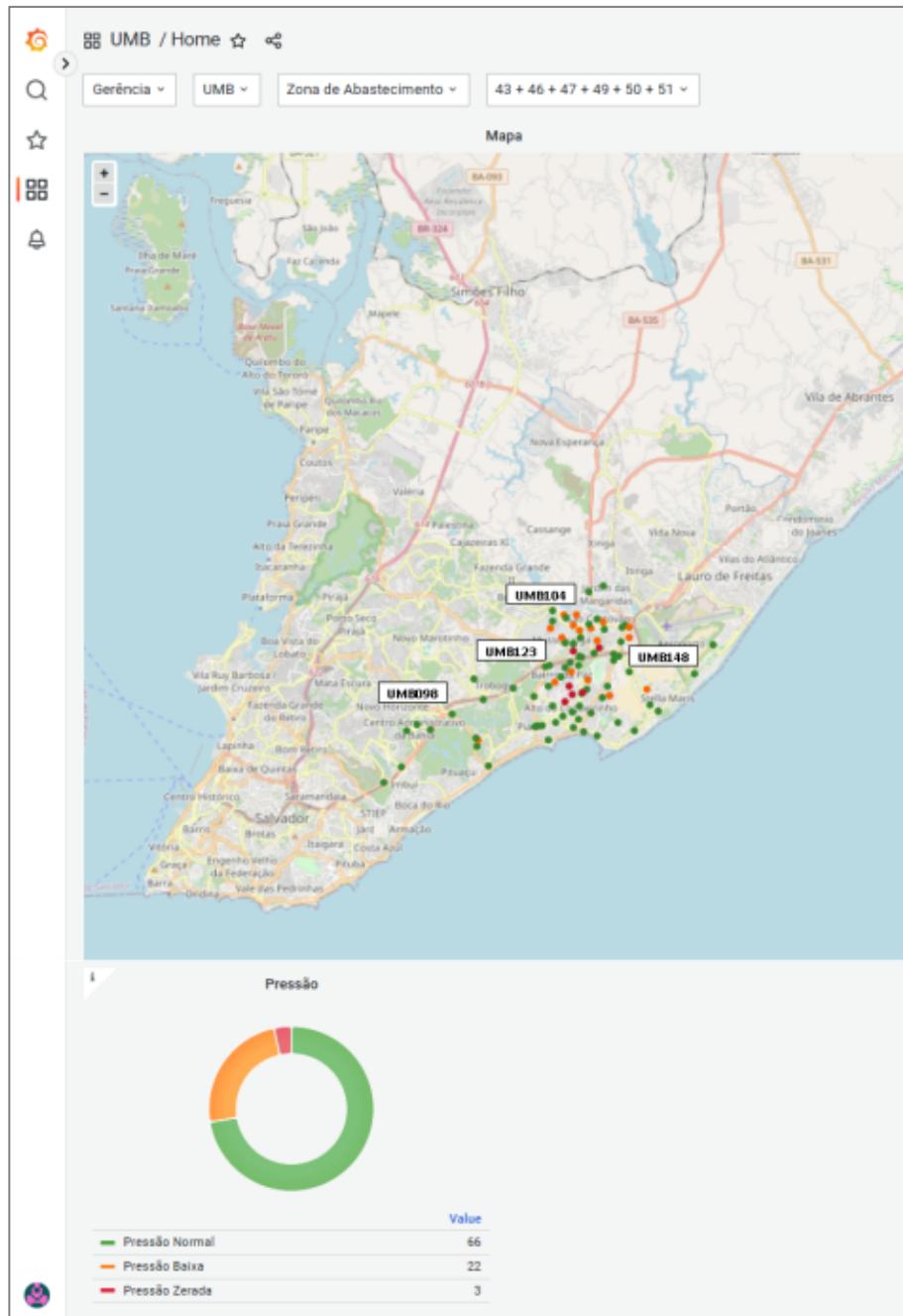


Figura 3 – Interface do Sistema de monitoramento remoto do SAA de Salvador somente com os pontos de Telemetria da área atendida pelo R20 – Cajazeiras.

O Sistema de Telemetria também permite a exportação em planilha Excel@ para a compilação dos valores históricos de pressão, sendo consideradas àquelas registradas nas horas de menor consumo (em torno das 2 horas) do dia 01/08/2024 até 30/11/2024.

3.1 – Análises estatísticas

Foram realizados neste trabalho o resumo exploratório dos dados, o teste de Kolmogorov-Smirnov para avaliar a normalidade dos dados, a análise de correlação linear e a análise de regressão linear. O nível de significância considerado nos testes foi de 5%.

A análise de correlação possibilita avaliar o grau de relacionamento entre o nível máximo diários do R20 e a pressão diária registrada nos pontos de telemetria selecionados. A medida desse grau de relacionamento foi obtida pelo coeficiente de correlação linear de Pearson definido pela Equação 1:

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{\sqrt{[n(\sum_{i=1}^n x_i^2) - (\sum_{i=1}^n x_i)^2][n(\sum_{i=1}^n y_i^2) - (\sum_{i=1}^n y_i)^2]}} \quad \text{Equação (1)}$$

Onde:

r = Coeficiente de Pearson

x_i = Valor do nível máximo do reservatório num determinado dia

y_i = Valor da pressão dinâmica no ponto crítico no mesmo dia

n = tamanho da amostra

A relação matemática entre o nível máximo do R20 e as respectivas pressões de serviço obtidas nos pontos telemetria é definida pelo modelo de regressão linear simples, dado pela Equação 2:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \varepsilon_i \quad \text{Equação (2)}$$

Onde:

Y_i é o valor médio da pressão no dia i ;

X_i é o valor de X para a indicação do nível do reservatório;

β_0 e β_1 são parâmetros do modelo;

ε_i é o termo de erro dos fatores não observados no modelo.

3.2 – Análise da influência da operação do reservatório nas perdas de água do Sistema R20.

A avaliação da influência da operação do reservatório foi realizada com a comparação das vazões médias mensais de água da área de atendimento do Sistema R20 no ano 2023 com as vazões médias mensais de água do R20 no ano 2024, considerando que nesse ano o controle dos níveis de água do reservatório R20 foi mais efetivo do que no ano de 2023, quando o reservatório operou com abastecimento da rede distribuidora utilizando também a tubulação *by pass* em alguns meses do ano.

Atualmente, a operação do reservatório R20 ocorre com abastecimento pleno pelo Sistema adutor, de modo que a tubulação de *by pass* só é utilizada em situações específicas, como por exemplo, execução de limpeza do reservatório. Desta forma, o controle das vazões do R20 torna-se mais eficiente para redução do volume distribuído sem impacto no atendimento aos usuários do sistema, contribuindo para a minimização das perdas reais.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta as medidas resumo dos pontos de telemetria analisados. O menor valor de pressão dos dados analisados foi observado no ponto UMB148 (22,5 m.c.a) e o maior valor foi observado no ponto UMB123 (38,2 m.c.a), que apresentou também a maior pressão média dos pontos de telemetria avaliados (35,9 m.c.a).

Tabela 1 – Medidas descritivas dos pontos de telemetria (em m.c.a)

Pontos de telemetria	Mínimo	Média	Desvio-padrão	Mediana	Máximo
UMB098	28,1	32,8	1,5	32,8	35,8
UMB104	26,7	32,1	1,8	32,2	35,9
UMB123	32,8	35,9	1,1	35,9	38,2
UMB148	22,5	27,0	1,4	27,1	29,4

Fonte: Própria

A Figura 4 apresenta os gráficos de dispersão e os gráficos de probabilidade normal dos níveis do R20 e os valores de pressão registrados nos pontos de telemetria: UMB098, UMB104, UMB123 e UMB148.

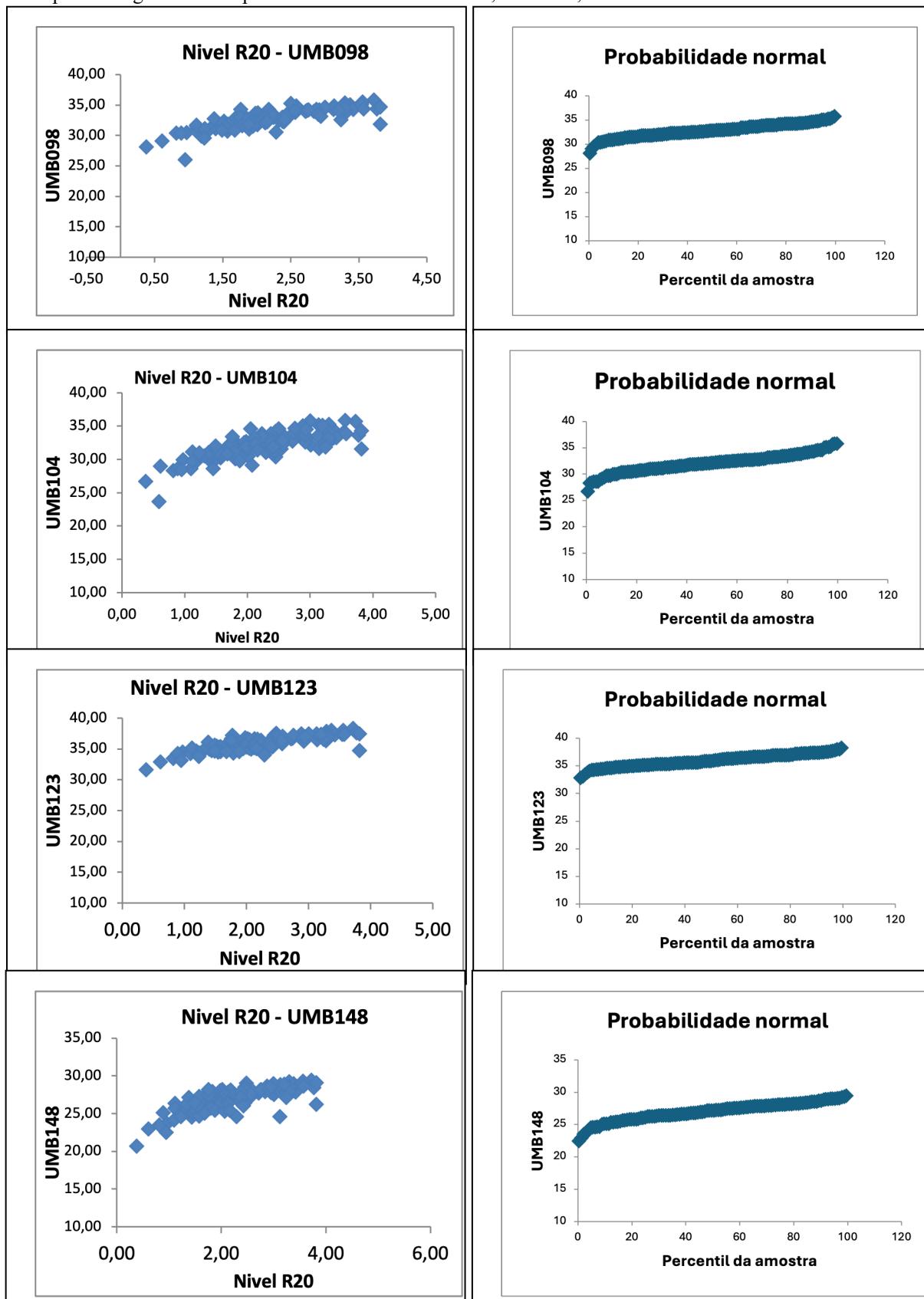


Figura 4 – Diagramas de dispersão da correlação do Nível do R20 x Pressão: UMB098, UMB104, UMB123 e UMB148.

O ajuste do modelo de regressão linear aos dados foi realizado após uso do teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov que apresentou significância estatística na adequação das amostras extraídas dos pontos de telemetria à distribuição normal. Isso foi confirmado através dos gráficos de probabilidade normal (Figura 4), que indicam a possibilidade de um ajuste linear entre as variáveis.

Na Tabela 2 são apresentados os resultados das correlações e dos modelos de regressão lineares ajustados aos dados. Verificam-se correlações positivas, e estatisticamente significativas ($p\text{-valor} < 0,001$), entre as pressões registradas nos quatro pontos de telemetria selecionados em relação aos níveis do R20, com coeficientes superiores a 0,75. As correlações positivas indicam que se aumentar o nível do reservatório, também aumentará a pressão nas quatro localidades.

Tabela 2 – Resultados estatísticos das correlações e dos modelos para os níveis de água do R20 e pressões de serviço dos pontos de telemetria: UMB098, UMB104, UMB123 e UMB148.

Ponto de telemetria	Coeficiente de Correlação “r”	p-valor do “r”	Equação de Regressão Linear	p-valor do modelo	Coeficiente de determinação “R ² ”
UMB098	0,84	< 0,001	$\hat{Y} = 29,23 + 1,60 x$	< 0,001	0,69
UMB104	0,76	< 0,001	$\hat{Y} = 28,21 + 1,75 x$	< 0,001	0,58
UMB123	0,81	< 0,001	$\hat{Y} = 33,18 + 1,22 x$	< 0,001	0,65
UMB148	0,75	< 0,001	$\hat{Y} = 23,76 + 1,43 x$	< 0,001	0,55

Fonte: Própria

Os modelos lineares ajustados aos dados hidráulicos foram estatisticamente significativos ($p\text{-valor} < 0,001$), com coeficientes de determinação ajustados (R^2) variando entre 0,55 e 0,69. O R20 ajustado expressa à proporção da variância na variável dependente (pressão na rede distribuidora) que é explicada pela variável independente (nível do R20). Por outro lado, o valor não explicado trata de uma variância residual não mensurada, como por exemplo, vazamentos na rede, obstruções do fluxo de água provocadas por registro ou válvula com defeito, entre outros.

Utilizando como exemplo a equação do ponto de telemetria UMB098 ($Y = 29,23 + 1,60 x$), se considerar um dia futuro qualquer em que o R20 alcance o nível máximo (X) de 5,0 m, a pressão dinâmica (Y) nesse local da rede distribuidora é estimada em 37,23 m.c.a. Para o ponto de telemetria UMB148 ($Y = 23,76 + 1,43 x$), para o mesmo nível máximo do R20, a pressão dinâmica (Y) nesse local da rede distribuidora é estimada em 30,91 m.c.a. Esses valores estão na faixa recomendada pela NBR nº 12.218/1994, inferior a 50 m.c.a (pressão estática máxima) e superiores a pressão dinâmica de 10 m.c.a.

A operação do R20 com o controle efetivo do nível do reservatório permite o equilíbrio entre as vazões disponibilizadas e as pressões na rede contribuindo que unida às outras ações operacionais contribui com redução das perdas no sistema distribuidor de água. A comparação da operação do reservatório no ano 2024 com o ano 2023 mostra que a vazão média do R20 no ano de 2024 foi 5,92 l/s menor que no ano anterior, que corresponde uma redução do volume de 186.700 m³ no ano (Figura 5).

A redução dos índices de perdas na área de abrangência do Sistema R20, por meio do gráfico do IPD (Índice de Perdas na Distribuição) mostrado na Figura 6 e do gráfico do IPL (Índice de Perdas por Ligação) mostrado na Figura 7, reforça a importância de operar reservatórios mantendo níveis operacionais que resultem em pressões nas redes suficientes para o abastecimento regular, sem atingir valores elevados que possam provocar vazamentos nas tubulações e elevar as perdas reais do sistema.

Observa-se que o IPD no ano de 2024 reduziu gradativamente, partindo de 50,7% em janeiro de 2024 para 49,6% em dezembro de 2024 e o IPL nesse mesmo período reduziu em 37,5 litros por dia para cada ligação faturada na área do R20, se mantendo em tendência decrescente.

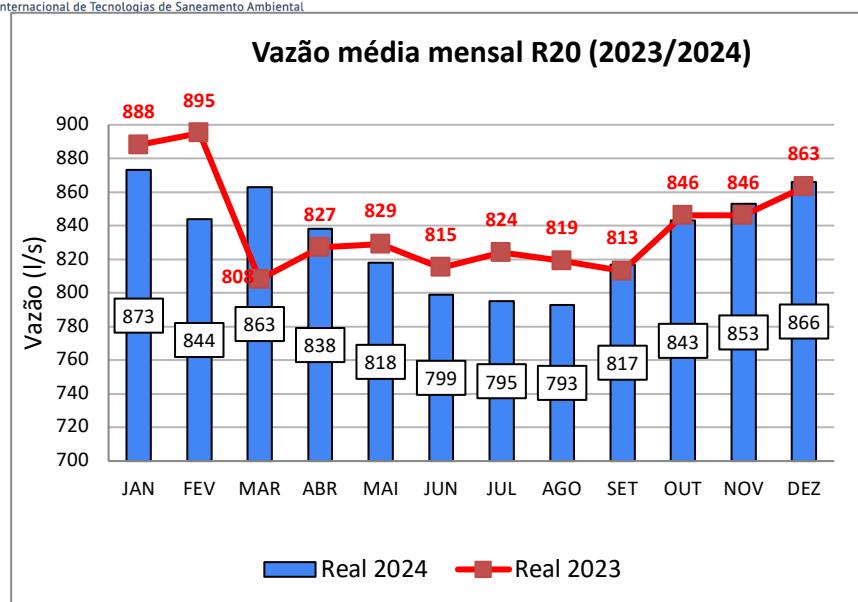


Figura 5 – Gráfico das vazões médias mensais do R20 em 2023 e 2024.

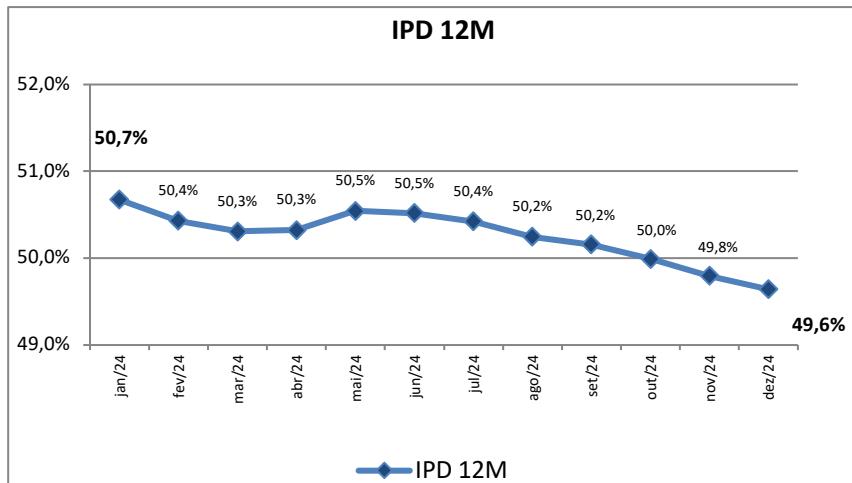


Figura 6 – Gráfico do IPD na área de abrangência do R20 - Ano de 2024.

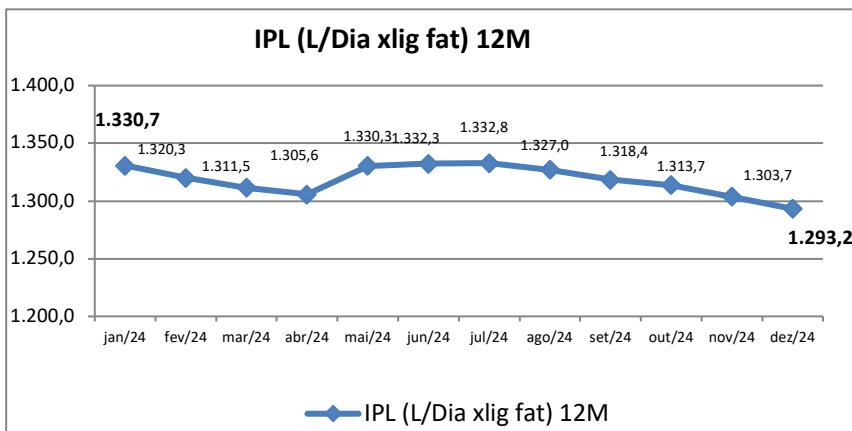


Figura 7 – Gráfico do IPL na área de abrangência do R20 - Ano de 2024.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Pelo aspecto hidráulico, sabe-se que a elevação do nível de água num reservatório acarretará aumento da pressão na tubulação (Teorema de Stevin). Contudo, com o uso da modelagem matemática confirma esse conceito físico, reiterado por Galileu Galilei com afirmação: “*A matemática é a linguagem da física*”.

Portanto, o estudo apresentado nesse trabalho ratifica os princípios e Leis Dinâmicas com a confiabilidade dos cálculos estatísticos e determina o grau da intensidade da interação direta entre nível do reservatório e as pressões das redes distribuidoras, permitindo simular com base nas medições registradas pelos equipamentos de monitoramento remoto das variáveis hidráulicas, num determinado período, qual a provável pressão dinâmica na rede distribuidora quando o reservatório atingir um determinado nível de água.

São denominados reservatórios de distribuição setoriais àqueles que têm a função básica de manter as pressões adequadas nas respectiva zona piezometrica e regularizar as vazões de consumo do setor. A pressão de serviço na rede distribuidora de água é o parâmetro operacional mais importante na vazão dos vazamentos e na frequencia de sua ocorrência. A elevação da pressão de serviço nas redes distribuidoras tem efeito duplo na quantificação dos volumens perdidos, pois além de aumentar a frequencia de arrebenatamentos, aumenta a vazão dos vazamentos (TSUTIYA, 2005).

O controle das vazões do R20 para alcançar níveis operacionais no reservatório nas horas de menor consumo, visando obter pressões de serviço mais adequadas nas redes de distribuidoras também contribui para redução das perdas reais na distribuição. Desta forma, a operacionalização do reservatório de distribuição utilizando o modelo apresentado, aliado a outras ações operacionais obteve redução gradativa do IPD (Índice de Perdas na Distribuição) e do IPL (Índice de Perdas por Ligação) e quando comparada a operação do reservatório no ano 2024 com o ano 2023, houve uma economia do volume distribuído equivalente a 186.700 m³ no ano.

Espera-se que esse trabalho possa motivar novos estudos que buscam a melhoria na operação dos componentes que compõem os sistemas de abastecimento públicos de água, a exemplo dos estudos estatísticos aqui apresentados, para operar reservatórios de distribuição com eficiência, oferecendo qualidade na prestação do serviço para população e contribuindo para redução de perdas no sistema de distribuição.

AGRADECIMENTO:

Os autores agradecem à Empresa Baiana de Águas e Saneamento – EMBASA pelo fornecimento dos dados utilizados neste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR nº 12.218: *Projeto de Rede de Distribuição de Água para Abastecimento Público*. Rio de Janeiro, 1994.
- BRUNELLI JÚNIOR. J, SOUZA J. C. R., REZENDE. S. O. *A Contribuição da Telemetria em Empresas de Saneamento na Preservação dos Recursos Hídricos*. In: 2º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente, Bento Gonçalves – Rio Grande do Sul, Abril, 2010
- LOPES. E. J. B. *Gestão de Pressões em Redes de Distribuição de Água – Caso de Santa Maria da Feira*. Dissertação (Mestre em Engenharia e Gestão da Água) Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, Portugal, 2013.
- MONTGOMERY. D. C; RUGER. G. C. *Estatística Aplicada e Probabilidade para Engenheiros*. 7ª edição. Rio de Janeiro: LTC, 2023.417p.
- MOREIRA. T. J. R. V. SANTOS. M. R., MOREIRA A. L. *Estatística básica para cursos de graduação* – EdUESPI, Teresina. Piauí 2021.
- PORTO, R. M., *Hidráulica Básica* – 4ª edição –Escola Politécnica de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo, 2006. 540p
- SILVA, S.R.S; PEREIRA NETO. A. B.; *Correlação entre os níveis operacionais do reservatório de distribuição R1 e as pressões na rede distribuidora da ZA 41 do sistema de abastecimento de água da cidade do Salvador, Bahia*. In: SILUBESA. 21º Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária Ambiental, Recife/PE. I – 2007. Set 2024.
- TARDELLI FILHO. J.T.; *Aspectos relevantes do controle de perdas em sistemas públicos de abastecimento de água*. Site: http://revistadae.com.br/artigos/artigo_edicao_201_n_1622.pdf. DOI 10.4322/DAE. 2015 Acesso em 11/2024.
- TSUTIYA, M.T.; *Reservatório de Distribuição de água: Principais aspectos hidráulicos relacionados à Saída de água*. In: ABES. 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária Ambiental, Foz do Iguaçu/PR. II – 012.

Set 1997.

TSUTIYA, M.T.; *Abastecimento de água*. 2^a Edição. Departamento de Engenharia Hidráulica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2005. 643p.

VIANNA, M.R.; *Hidráulica para engenheiros sanitários e ambientais*. 1^a Edição. Fundação Mineira de Educação e Cultura (FUMEC), Belo Horizonte, MG, 2008. 372p.