



I CONGRESSO PERNAMBUCANO DE RECURSOS HÍDRICOS

Água para o Desenvolvimento
Recife, 24, 25 e 26 de Março de 2026

AValiação DO DESEMPENHO HIDRÁULICO E ENERGÉTICO DE ESTAÇÕES ELEVATÓRIAS NO PROJETO DE INTEGRAÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO

*Jéssica Álida Gomes de Abreu; Silvanete Severino da Silva; Marcella Vianna Cabral
Paiva; Saulo de Tarso Marques Bezerra*

Palavras-chave: Projeto de Integração do Rio São Francisco; Estações Elevatórias de Bombeamento; Eficiência energética; Bombeamento de água; Segurança hídrica.

INTRODUÇÃO

A segurança hídrica no Semiárido brasileiro constitui um dos principais desafios para a gestão de recursos hídricos, em razão da variabilidade climática, da irregularidade espacial e temporal das chuvas e da crescente demanda por água para abastecimento humano, atividades produtivas e usos múltiplos. Nesse contexto, grandes sistemas de transferência hídrica têm sido adotados como estratégia para ampliar a oferta de água e reduzir a vulnerabilidade das regiões historicamente afetadas pela escassez. O Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF) insere-se nesse cenário como uma das mais relevantes infraestruturas hídricas do país, concebido para promover a transferência de água para os estados de Pernambuco, Paraíba, Ceará e Rio Grande do Norte, contribuindo para o fortalecimento da segurança hídrica regional (ANA, 2020).

O funcionamento do PISF baseia-se em um sistema complexo de canais, reservatórios, adutoras e Estações Elevatórias de Bombeamento (EBVs), responsáveis pela condução das águas ao longo dos eixos Norte e Leste, superando extensos desníveis topográficos. No Eixo Leste e no Ramal do Agreste, as EBVs desempenham papel fundamental na garantia do fornecimento hídrico a municípios do Agreste pernambucano e do Cariri paraibano, regiões caracterizadas por elevada vulnerabilidade hídrica. Contudo, a dependência de sistemas de bombeamento implica significativo consumo de energia elétrica, tornando o desempenho hidráulico e energético dessas estações um elemento crítico para a sustentabilidade operacional do projeto e para a continuidade do abastecimento, especialmente em períodos de maior demanda ou restrição operacional (MIDR, 2021).

Diante desse contexto, a avaliação do desempenho hidráulico e energético das Estações Elevatórias de Bombeamento do PISF configura-se como ferramenta essencial de apoio à gestão operacional e à tomada de decisão. A análise integrada de indicadores operacionais, como volumes bombeados, tempos de operação e consumo de energia elétrica, associada à aplicação do indicador de eficiência energética (m^3/kWh), possibilita identificar diferenças de desempenho entre as estações, evidenciar perdas de eficiência e apontar oportunidades de otimização da operação e da manutenção. Além disso, o monitoramento sistemático desses indicadores contribui para o uso mais racional dos recursos energéticos, para a redução de custos operacionais e para o aumento da

confiabilidade do sistema, reforçando o papel do PISF como instrumento estratégico para a segurança hídrica no Semiárido brasileiro.

METODOLOGIA

ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi conduzido no âmbito do Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF), com ênfase no Eixo Leste (Trecho V) e no Ramal do Agreste (Trecho VII). O Eixo Leste possui extensão aproximada de 217 km, promovendo a transferência hídrica a partir do reservatório de Itaparica (PE) até o rio Paraíba, no município de Monteiro (PB), atendendo 161 municípios e uma população estimada em 3,9 milhões de habitantes.

O **Ramal do Agreste** foi concebido com o objetivo de reforçar o abastecimento hídrico de aproximadamente 2,2 milhões de pessoas, distribuídas em 68 municípios do Agreste Pernambucano, conforme informações do Ministério do Desenvolvimento Regional e da Operadora Federal do PISF.

A infraestrutura avaliada compreende seis Estações Elevatórias de Bombeamento (EBVs), denominadas EBV1 a EBV6, responsáveis pela condução da água ao longo dos sistemas adutores analisados, incluindo a Saída para Monteiro, o Ramal do Agreste e a Adutora de Custódia, conforme especificações técnicas do sistema.

Base de Dados e Fontes de Informação

A análise fundamentou-se na integração de dados operacionais, hidrológicos e energéticos, oriundos de diferentes bases institucionais, em razão da inexistência de séries históricas completas e consolidadas em um único banco de dados.

Dados Operacionais das Estações Elevatórias

Os dados operacionais das motobombas das EBVs foram obtidos junto ao Sistema de Gestão da Operação Federal (SGOF), abrangendo o período de 01 de setembro de 2020 a 06 de janeiro de 2026. As informações utilizadas incluem:

- volumes bombeados por estação;
- tempos de operação das motobombas;
- consumo de energia elétrica;
- registro de operação simultânea dos conjuntos motobomba.

Ressalta-se que não foi identificado histórico operacional consolidado que permita a distinção explícita entre anos hidrollogicamente secos e chuvosos, o que constitui uma limitação do estudo. Tal limitação foi parcialmente mitigada por meio da análise integrada de múltiplos indicadores operacionais.

Estimativa de Vazões e Volumes Transferidos

Diante de lacunas nos registros de medição direta, foram adotados procedimentos específicos para a estimativa de vazões e volumes transferidos, conforme o trecho analisado.

Saída para Monteiro

No período compreendido entre 2017 e 2020, as vazões transferidas foram obtidas a partir de dados do medidor da Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESA). A partir de 2021, os dados passaram a ser extraídos do Sistema Integrado de Operação (SIOP), assegurando maior continuidade e confiabilidade das informações.

Ramal do Agreste

No Ramal do Agreste, o medidor de vazão encontrava-se indisponível durante parte do período analisado. Assim, as vazões foram estimadas indiretamente com base na relação cota–volume, utilizando:

- dados de cota fornecidos pela empresa Ferreira Guedes;
- curvas cota $\times$ volume dos reservatórios associados.

Esse procedimento permitiu a reconstrução das séries de vazão com consistência hidrológica e operacional, em consonância com metodologias aplicadas em estudos de sistemas adutores de grande porte.

Adutora de Custódia

A operação da Adutora de Custódia teve início estimado em janeiro de 2022. Para o intervalo entre janeiro e maio de 2022, as vazões foram calculadas a partir de dados de plaquetas técnicas dos equipamentos, considerando as características nominais das motobombas e os respectivos tempos de operação. A partir de 01 de junho de 2022, os dados de vazão passaram a ser fornecidos diretamente pela Compesa, sendo utilizados sem necessidade de estimativas adicionais.

Em relação à avaliação do desempenho das EBVs foi realizada por meio de indicadores amplamente utilizados na literatura técnica, destacando-se:

- volume total bombeado (m^3);
- consumo total de energia elétrica (kWh);
- eficiência energética, expressa pelo indicador m^3/kWh , obtido pela razão entre o volume bombeado e o consumo de energia no mesmo período.

O indicador de eficiência energética foi adotado por possibilitar a comparação direta entre estações com diferentes capacidades, regimes operacionais e níveis de demanda, constituindo ferramenta essencial para o diagnóstico energético de sistemas de bombeamento de água.

A análise integrada da operação das motobombas foi realizada com base em: acionamento individual e simultâneo dos conjuntos motobomba; períodos de maior demanda hídrica; relação entre volume bombeado, consumo energético e eficiência operacional.

A operação simultânea das motobombas foi interpretada como estratégia de redundância operacional e atendimento a picos de demanda, sendo avaliada quanto aos seus impactos sobre o consumo específico de energia.

RESULTADOS

A análise da operação das Estações Elevatórias de Bombeamento (EBVs) evidenciou diferenças significativas no desempenho hidráulico e energético ao longo do período avaliado. O volume total bombeado variou entre aproximadamente $6,28 \times 10^8 \text{ m}^3$ e $9,66 \times 10^8 \text{ m}^3$, refletindo a heterogeneidade das demandas atendidas e das funções hidráulicas exercidas por cada estação no sistema adutor.

O consumo de energia elétrica apresentou comportamento proporcional aos volumes bombeados; entretanto, a avaliação do desempenho energético global, expressa pelo indicador m^3/kWh , revelou diferenças relevantes entre as EBVs. As estações EBV5 e EBV2 apresentaram maiores valores desse indicador, associados às menores alturas manométricas totais (41,71 mca e 43,20 mca, respectivamente) e às menores potências instaladas dos conjuntos motobomba, resultando em menor exigência energética para o bombeamento.

Por outro lado, as estações EBV1, EBV3 e EBV6 apresentaram menores valores de m^3/kWh , operando sob alturas manométricas totais superiores a 60 mca e com maiores potências operacionais instaladas. Essas condições hidráulicas e energéticas implicam maior consumo específico de energia, não devendo os resultados ser interpretados como ineficiência intrínseca dos equipamentos, mas como reflexo das condições de projeto e operação do sistema.

A operação simultânea dos conjuntos motobomba, observada ao longo do período analisado, corresponde ao regime normal de operação do sistema, uma vez que os conjuntos foram projetados para operar em paralelo, de forma conjunta, visando atender às vazões requeridas ao longo do sistema adutor. Essa configuração operacional permite o atendimento à demanda hídrica imposta pelas condições hidráulicas do sistema, não caracterizando uma estratégia de redundância, mas sim a operação conforme o projeto e as necessidades de abastecimento. Nesse contexto, a análise integrada dos indicadores evidencia a importância da adequada gestão dos regimes de operação e da manutenção dos conjuntos motobomba, com vistas à otimização do desempenho energético e à confiabilidade operacional do sistema.

Esses resultados reforçam a importância do monitoramento contínuo e do uso de indicadores de desempenho como instrumentos de apoio à gestão operacional e à tomada de decisão em sistemas de bombeamento de água.

CONCLUSÕES

A análise evidenciou diferenças significativas entre as estações elevatórias avaliadas, tanto em termos de volumes bombeados quanto de desempenho energético global. Os volumes transferidos variaram entre $6,28 \times 10^8 \text{ m}^3$ e $9,66 \times 10^8 \text{ m}^3$, refletindo a heterogeneidade das demandas atendidas e das funções hidráulicas exercidas ao longo do sistema de bombeamento.

A aplicação do indicador m^3/kWh permitiu identificar distintos desempenhos energéticos globais entre as EBVs. As estações EBV5 e EBV2 apresentaram maiores valores desse indicador, associados às menores alturas manométricas totais e às menores potências instaladas dos conjuntos motobomba. Em contrapartida, as estações EBV1, EBV3 e EBV6 operam sob maiores alturas manométricas e com potências operacionais mais elevadas, resultando em maior consumo específico de energia e menores valores de m^3/kWh . Esses resultados refletem, portanto, as condições hidráulicas e energéticas de projeto e operação do sistema, não devendo ser interpretados como ineficiência intrínseca dos equipamentos.

A operação simultânea das motobombas mostrou-se relevante para garantir a continuidade do abastecimento em períodos de maior demanda; contudo, seus impactos energéticos devem ser continuamente avaliados. Dessa forma, a análise integrada de vazão, altura manométrica e potência instalada destaca-se como elemento fundamental para subsidiar estratégias de otimização da operação e da manutenção, contribuindo para uma gestão energética mais eficiente das estações elevatórias.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA).

Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2020. Brasília: ANA, 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA).

Projeto de Integração do Rio São Francisco com Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional: relatórios de monitoramento. Brasília: ANA, 2019–2022.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO E DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL (MIDR).

Projeto de Integração do Rio São Francisco: informações técnicas e operacionais. Brasília: MIDR, 2021.