OTIMIZAÇÃO ENERGÉTICA DO CONJUNTO CAPTAÇÃO-ETA POR MEIO DE AUTOMAÇÃO E PROTOCOLOS OPERACIONAIS

Vilson Fernando Beregula [1]
Engenheiro Sanitarista, especialista em Gestão Ambiental e Sócio fundador da SBR.
Ramon Barros de Oliveira
Advogado, Diretor Geral do SAAE de Santa Maria da Vitória.
Guilherme Alves dos Santos [1]
Engenheiro Ambiental e Sanitário - UFMA, Mestre em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental - UFPR, Analista Ambiental - SBR
Gabriella Paini Masceno [1]
Engenheira Ambiental e Sanitária – UTFPR e Coordenadora de Operações – SBR.
Ana Carolina Lopes de Azevedo [1]
Bacharel em Serviços Sociais, MBA em Environmental, Social & Governance e Diretora Administrativa Financeira – SBR.

Endereço[1]**:** Rua Deputador Heitor Alencar, n° 3350, sala 609, andar 6, Condomínio Opus One Ecoville, Campo Comprido – Curitiba, Paraná - CEP: 81.200-528 - Brasil - Cel: +55 (66) 99988-9119 - e-mail: saneamentobr@gmail.com.

RESUMO

A crescente demanda por água e os desafios associados à segurança hídrica tornam necessária a adoção de tecnologias capazes de aumentar a eficiência operacional dos sistemas de abastecimento. Nesse contexto, este estudo avaliou os impactos da automação e da modernização tecnológica implementadas no conjunto Captação–Estação de Tratamento de Água (ETA) do município de Santa Maria da Vitória, Bahia. A metodologia consistiu na comparação de indicadores operacionais, energéticos e econômicos em períodos equivalentes anteriores e posteriores à intervenção, utilizando dados de vazão, consumo de energia elétrica e custos tarifários. Foram calculados indicadores de consumo específico de energia (kWh/m³), custo energético (R$/m³) e produtividade energética (m³/kWh). Os resultados demonstraram aumento médio de 22% na vazão operacional, elevando a capacidade produtiva do sistema. Paralelamente, observou-se redução de 21,5% no consumo específico de energia e de 23,5% no custo energético por volume produzido. A produtividade energética apresentou incremento de 27,5%, evidenciando melhor aproveitamento da energia consumida. Os resultados indicam que a automação associada à aplicação de protocolos de engenharia contribuiu significativamente para a otimização hidroenergética do sistema, ampliando sua eficiência operacional e fortalecendo a segurança hídrica local.

PALAVRAS-CHAVE: Automação; Eficiência Energética; Segurança Hídrica.

INTRODUÇÃO

Assegurar o acesso contínuo à água potável converge como um dos pilares fundamentais para a sustentabilidade socioeconômica global (Kumari; Pratap Singh, 2025). Contudo, a iminência da escassez hídrica se impõe como um desafio crítico contemporâneo, reverberando de forma direta nas atividades residenciais, agrícolas e industriais em escala planetária (Raghuwanshi et al., 2025).

Embora o provimento de água segura integre as metas prioritárias do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 6 (ODS 6) da Agenda 2030 (Nações Unidas, 2015), a degradação e o esgotamento das reservas hídricas têm sido acelerados pelas mudanças climáticas, pressões demográficas e lacunas na gestão dos recursos (Mishra et al., 2021; Vollmer & Harrison, 2021). Projeções apontam uma elevação de 55% na demanda global por água nas próximas décadas, cenário agravado pelo fato de que 25% dos grandes centros urbanos já operam sob estresse hídrico (Biswas et al., 2025). Estima-se ainda que 4 bilhões de pessoas enfrentem escassez severa por ao menos um mês anual, enquanto 2,2 bilhões carecem de serviços de abastecimento geridos de forma segura (Mekonnen & Hoekstra, 2016; UNICEF & OMS, 2019).

Para além da dimensão estritamente quantitativa, a manutenção da qualidade da água e a eficiência física nas infraestruturas de saneamento são determinantes para a segurança hídrica. Vulnerabilidades no controle operacional e na segurança dos sistemas de distribuição tendem a comprometer o produto final, sobretudo em localidades com restrições de disponibilidade (Liu et al., 2017). Diante de eventos climáticos extremos e do aumento das temperaturas, a resiliência dos sistemas de abastecimento exige mecanismos robustos de gerenciamento e otimização processual (Raghuwanshi et al., 2025; Liu et al., 2017; WHO, 2017).

Nessa perspectiva, a incorporação de tecnologias de automação e modernização nas etapas que ligam a captação do manancial à Estação de Tratamento de Água (ETA), aliada ao desenvolvimento de estratégias de engenharia para a execução de protocolos operacionais, desponta como uma abordagem crucial. Tais intervenções visam não apenas mitigar perdas e assegurar a potabilidade, mas também otimizar a eficiência hidroenergética e reduzir custos operacionais nestas unidades-chave (Beregula; Masceno, Mulinari Filho, 2025).

Sob essa ótica, o presente trabalho desenvolve um estudo de caso focado na avaliação dos impactos decorrentes da automação e modernização tecnológica implementadas especificamente nas unidades de Captação Sede e na ETA Sede do município de Santa Maria da Vitória, Bahia, Brasil. A investigação baseia-se na análise comparativa de indicadores operacionais obtidos antes e após as intervenções de engenharia. A partir de dados mensais de vazão, de consumo energético e de custos tarifários estruturam-se indicadores de desempenho energético, aplicando-se procedimentos analíticos para mensurar os ganhos reais de eficiência e a relevância das melhorias implementadas frente ao panorama da segurança hídrica local.

MATERIAIS E MÉTODOS

Delineamento do estudo

O presente estudo caracteriza-se como um caso aplicado, de natureza quantitativa, conduzido na Estação de Tratamento de Água (ETA) Sede do município de Santa Maria da Vitória, localizado no estado da Bahia. O delineamento metodológico fundamenta-se na comparação de indicadores operacionais e energéticos em dois períodos distintos: anterior e posterior à implantação do sistema de automação e intervenções de melhorias nas operações das bombas da ETA.

A estratégia comparativa adotada permitiu avaliar, de forma objetiva, os efeitos da automação sobre a eficiência energética da unidade e sobre variáveis associadas à segurança hídrica operacional, entendida como a capacidade do sistema de assegurar fornecimento contínuo, eficiente e tecnicamente controlado.

Protocolos Operacionais e Intervenções de Engenharia

Implantou-se protocolos operacionais padronizados com foco na segurança operacional, eficiência energética, confiabilidade do abastecimento e monitoramento contínuo dos ativos. As rotinas incluem acompanhamento em tempo real dos níveis dos reservatórios, vazões, pressões, corrente elétrica, tensão, potência e estado de funcionamento dos conjuntos motobomba por meio do sistema supervisório. Também foram realizados protocolos de inspeção preventiva, registro de ocorrências, análises de tendências operacionais, acionamento remoto de equipamentos, alarmes automáticos para condições anormais e procedimentos padronizados para resposta a falhas.

As intervenções de engenharia contemplaram a modernização do sistema de automação das unidades de captação e tratamento de água, incluindo a instalação dos painéis elétricos automatizados, controladores lógicos programáveis, inversores de frequência para controle da velocidade dos motores, sensores de nível, pressão e vazão, além da implantação de telemetria e supervisão remota 24 horas. Também foram realizados ajustes hidráulicos e elétricos para otimizar a operação dos equipamentos, parametrização dos sistemas de controle, calibração de instrumentos, adequação dos comandos de bombeamento e implementação de lógicas de operação voltadas à redução do consumo de energia e à melhoria da continuidade do abastecimento.

Como resultado, os protocolos operacionais passaram a ser baseados em dados em tempo real, permitindo decisões mais rápidas e assertivas, redução de intervenções emergenciais, aumento da confiabilidade operacional, melhoria do desempenho hidráulico e maior eficiência energética do sistema de abastecimento de água de Santa Maria da Vitória.

Tratamento dos dados

Foram utilizados dados mensais consolidados de consumo de energia elétrica (kWh), gastos de energia elétrica (R$) e volume de água tratada na ETA (m³). As informações foram obtidas a partir de registros operacionais da estação, do sistema de automação de empresa terceira contratada e dos dados de faturamento da concessionária de energia elétrica da região.

A produção mensal de água tratada foi considerada como o volume total registrado na ETA, permitindo a comparação direta com os indicadores energéticos e financeiros avaliados. E os dados de vazão e volume foram obtidos em dois períodos.

Para o período anterior à automação, foi utilizado um valor médio contante de 76,45 L/s, obtido a partir de dados de vazão e volume provenientes de registros operacionais manuais realizados pelos operadores da ETA, sendo posteriormente tratados por meio do cálculo de médias mensais, a fim de reduzir variações pontuais e garantir maior representatividade dos valores analisados.

Já no período posterior à automação, os dados passaram a ser registrados de forma contínua pelo sistema automatizado, permitindo maior precisão e variabilidade temporal das medições. Essa diferença na forma de aquisição dos dados foi considerada na interpretação dos resultados.

Para assegurar consistência analítica, os dados foram organizados em séries temporais mensais e os períodos comparados possuem duração equivalente, reduzindo a influência de efeitos sazonais ou variações na demanda.

Indicadores de desempenho

Com o objetivo de mensurar o impacto da automação, foram definidos indicadores normalizados de desempenho energético. O consumo específico de energia (CEE), expresso em kWh/m³, foi calculado conforme a equação 1, em que E representa o consumo mensal de energia elétrica (kWh) e V o volume mensal de água tratada (m³). Esse indicador permite avaliar a eficiência energética do processo de forma independente de variações tarifárias.

$$CEE = \frac{E}{V}$$ equação (1)

O custo energético (CE) por metro cúbico produzido, expresso em R$/m³, foi determinado conforme a equação 2, em que C corresponde ao custo mensal de energia elétrica (R$) e V o volume mensal de água tratada (m³). Esse indicador expressa o impacto financeiro da energia sobre o custo unitário de produção de água tratada.

$$CE = \frac{C}{V}$$ equação (2)

A produtividade energética (PE), expressa em m³/kWh, foi calculada conforme a equação 3. Em que V corresponde ao volume mensal de água tratada (m³) e E ao consumo mensal de energia elétrica (kWh). Esse indicador representa o volume de água produzido por unidade de energia consumida, permitindo uma análise complementar da eficiência operacional.

$$PE = \frac{V}{E}$$ equação (3)

A utilização de indicadores normalizados pelo volume produzido reduz a influência de fatores externos, como reajustes tarifários e oscilações na demanda, possibilitando uma análise mais precisa dos impactos decorrentes da automação. Dessa forma, a abordagem metodológica adotada permite quantificar, sob uma perspectiva técnica e operacional, os ganhos de eficiência energética e seus reflexos na segurança hídrica do sistema de abastecimento analisado.

Para cada indicador, foram calculadas médias mensais por período e as variações percentuais entre os cenários pré e pós-automação, conforme a equação 4.

$$\Delta(\%) = \frac{X_{pós} - X_{pré}}{X_{pré}} \times 100 \qquad \text{equação (4)}$$

As análises estatísticas foram conduzidas no ambiente de programação R (R Core Team, 2025), utilizando o software RStudio, empregando estatística descritiva – média aritmética, desvio padrão e variação percentual – para caracterizar e comparar o comportamento dos indicadores nos períodos pré e pós-automação. Os resultados foram sintetizados por meio de gráficos e tabelas comparativas, visando facilitar a interpretação dos padrões operacionais e energéticos observados nos dois períodos analisados.

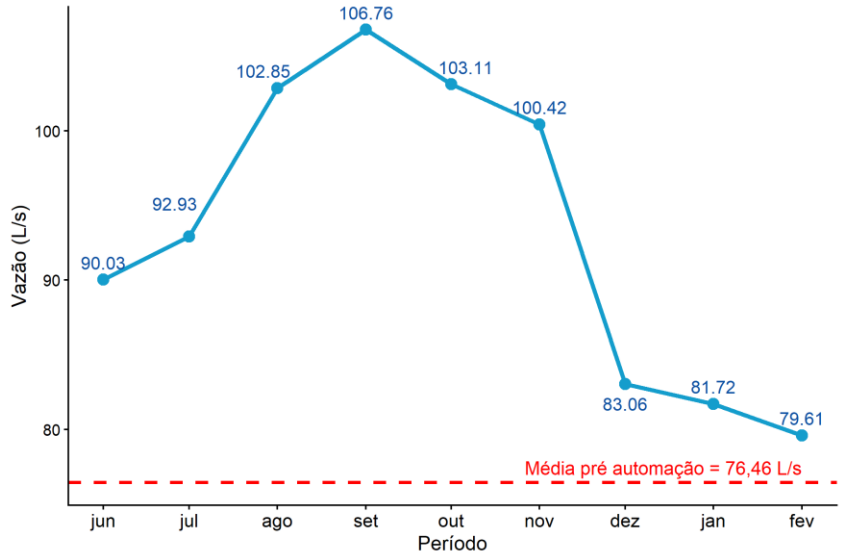
RESULTADOS E DISCURSSÕES

Vazão

A Figura 1 apresenta o comportamento da vazão de água tratada ao longo do período analisado na ETA de Santa Maria da Vitória. Observa-se que, no período posterior à implementação da automação e das estratégias de operação, os valores de vazão foram superiores à média operacional estimada para o período pré-automação.

Durante o período anterior à automação, a vazão média operacional foi de aproximadamente 76,46 L/s. Após a implantação do sistema automatizado, a média passou para cerca de 93,39 L/s, representando incremento aproximado de 22% na capacidade operacional do sistema de abastecimento durante os meses analisados. Além disso, foram observados valores mensais superiores a 100 L/s, evidenciando aumento da capacidade produtiva do sistema após a implantação da automação. Destaca-se o mês de setembro de 2025, no qual foi registrada vazão de 106,76 L/s, correspondendo a incremento de aproximadamente 39% em relação à média operacional observada no período pré-automação.

Figura 1 - Vazão da ETA Sede durante os períodos pré e pós automação (jun 2025 a fev 2026)



Fonte: Os autores, 2026.

Estes maiores registros nos valores de vazão observados no período pós-automação indicam aumento da capacidade de produção de água tratada do sistema frente a um período de estiagem severa caracterizado por menor ocorrência de precipitação e maior demanda por abastecimento de água (Heller; Pádua, 2010). Esse comportamento sugere que os protocolos executados contribuíram para a melhoria do controle operacional dos conjuntos motobomba, possibilitando operação mais eficiente e maior estabilidade do sistema de

bombeamento, conforme observações encontradas por Palkin e Suvorov (2021), que identificaram ganhos de eficiência técnica em sistemas automatizados, e por Ning e Hong (2022), que verificaram melhorias operacionais decorrentes da tecnologia de automação aliada a intervenções de modernização de processos.

Do ponto de vista técnico, o incremento da vazão foi viabilizado pela implantação de inversores de frequência em unidades estratégicas do sistema de abastecimento, incluindo a Captação Sede e a ETA Sede que resultou em aumento de aproximadamente 29% na potência total instalada dos conjuntos motobomba, com a corrente elétrica nominal passando de 80,1A para 103,3A. Essa potência adicional, combinada com o controle preciso baseado na demanda em tempo real que o sistema de automatização propicia, viabilizou ajustes finos no tempo de funcionamento dos equipamentos.

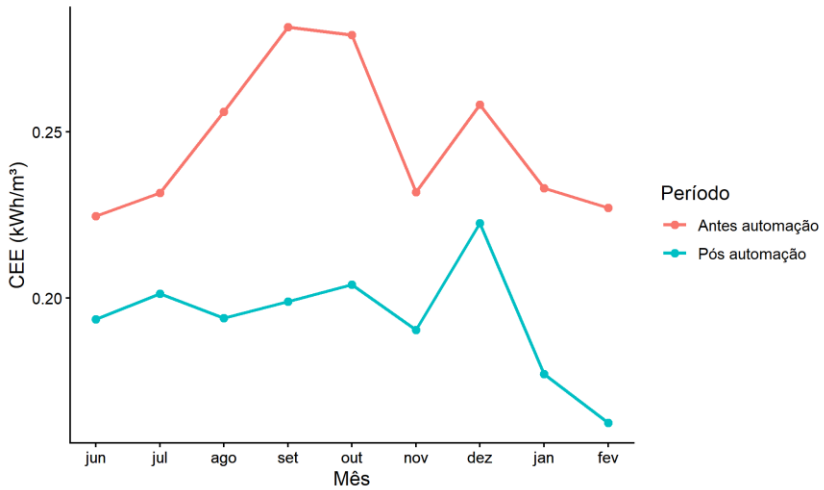
Após esse período mais crítico, com início do período chuvoso, observa-se a redução gradual da vazão operacional necessária ao sistema, em razão da diminuição do consumo, da melhor recuperação dos aquíferos e da maior disponibilidade hídrica. Nesse cenário, uma vazão reduzida passa a ser suficiente para garantir o abastecimento adequado da população, permitindo ainda maior otimização operacional e redução do consumo energético das unidades.

Mesmo considerando possíveis diferenças metodológicas na obtenção dos dados de vazão entre os períodos analisados, os resultados demonstram tendência consistente de aumento da produção hídrica após a implementação da automação. Esse comportamento reforça a hipótese de que a modernização do sistema operacional contribuiu diretamente para melhoria do desempenho hidráulico e operacional das unidades de abastecimento.

Consumo Específico de Energia

A Figura 2 apresenta os resultados do consumo específico de energia elétrica (kWh/m³) para os meses espelhados antes e após a implementação da automação na ETA de Santa Maria da Vitória. Observa-se que o período pós-automação apresentou valores inferiores aos registrados anteriormente, indicando redução da quantidade de energia elétrica necessária para a produção de um metro cúbico de água tratada.

Figura 2 – Consumo Específico de Energia entre os períodos pré (jun/2024 a fev/2025) e pós automação (jun/2025 a fev/2026)



Fonte: Os autores, 2026.

Os valores médios do consumo específico de energia passaram de aproximadamente 0,247 kWh·m⁻³ no período anterior à automação para cerca de 0,194 kWh·m⁻³ no período posterior, representando uma redução da ordem de 21%. Os valores detalhados encontram-se apresentados na Tabela 1.

A diminuição do consumo específico de energia indica que o sistema passou a demandar menor quantidade de energia elétrica para produzir o mesmo volume unitário de água tratada, evidenciando ganho direto de eficiência energética operacional. Esse comportamento estar associado à operação dos conjuntos motobomba em faixas mais eficientes de funcionamento, à redução de perdas hidráulicas e ao melhor controle operacional proporcionado pelo sistema de automação.

Tabela 1 – Comparação do indicador de Consumo Específico de Energia durante os períodos

Período	Média (kWh/m³)	Desvio padrão	Variação (%)
Antes da automação	0,247	0,022	-
Pós-automação	0,194	0,016	-21,5%

Fonte: Os autores (2026)

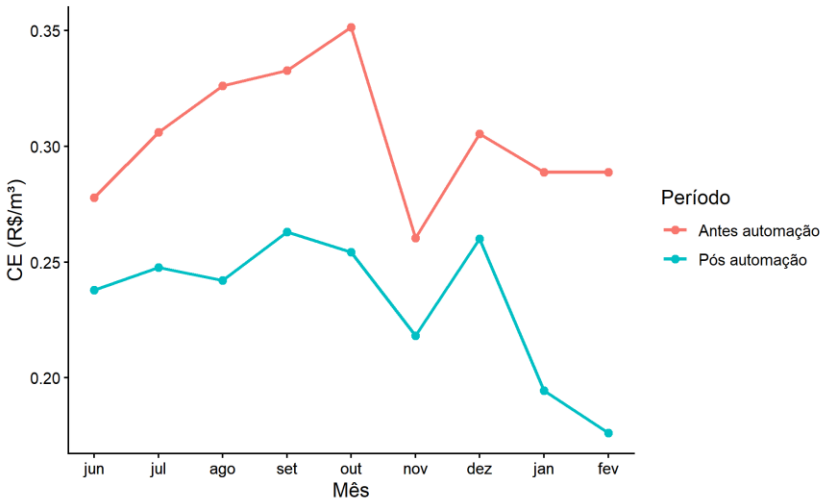
Além da redução do consumo específico de energia, observou-se também o aumento da vazão média operacional da ETA ao longo do período analisado. A vazão média passou de aproximadamente 76,46 L/s no período pré-automação para cerca de 93,39 L/s no período pós-automação, representando incremento aproximado de 22% na capacidade operacional do sistema. Esse resultado reforça a efetividade da prestação de serviços de engenharia especializada e a automação, uma vez que o sistema passou a operar com maiores volumes de produção hídrica e, simultaneamente, com menor demanda energética unitária.

Dessa forma, os resultados sugerem que a automação, viabilizada pela aplicação de diretrizes de engenharia e pela consolidação de protocolos operacionais customizados à realidade de cada unidade, contribuiu tanto para a ampliação da capacidade operacional quanto para a melhoria da eficiência energética nos processos de captação, bombeamento e tratamento de água. Além disso, verifica-se uma menor variabilidade dos indicadores no período posterior à intervenção. Essa maior estabilidade operacional reflete a efetividade da integração entre a tecnologia de automação e o conhecimento técnico especializado, cuja sinergia foi determinante para a otimização do desempenho hidroenergético do sistema.

Consumo Energético

A Figura 3 apresenta os resultados do custo energético por volume produzido (R$/m³) para os períodos anterior e posterior à implementação da automação na ETA – Estação de Tratamento de Água de Santa Maria da Vitória. Esse indicador representa o custo de energia elétrica necessário para a produção de cada metro cúbico de água tratada, permitindo avaliar o impacto financeiro do consumo energético sobre a operação do sistema.

Figura 3 – Consumo Energético durante os períodos pré (jun/2024 a fev/2025) e pós automação (jun/2025 a fev/2026)



Fonte: Os autores, 2026.

Os resultados demonstraram redução do custo energético médio após a implantação da automação. No período anterior, a média observada foi de aproximadamente 0,304 R$/m³, enquanto no período posterior a média passou para cerca de 0,233 R$/m³, correspondendo a uma redução da ordem de 23%. Os dados resumidos encontram-se apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Comparação do indicador de Consumo Energético durante os períodos

Período	Média (R$/m³)	Desvio padrão	Variação (%)
Antes da automação	0,304	0,029	
Pós-automação	0,233	0,030	- 23,5%

Fonte: Os autores (2026)

A diminuição do custo energético por volume produzido indica que o sistema passou a demandar menor custo de energia elétrica para produzir cada metro cúbico de água tratada, evidenciando melhoria do desempenho econômico-operacional da ETA após a implementação da automação.

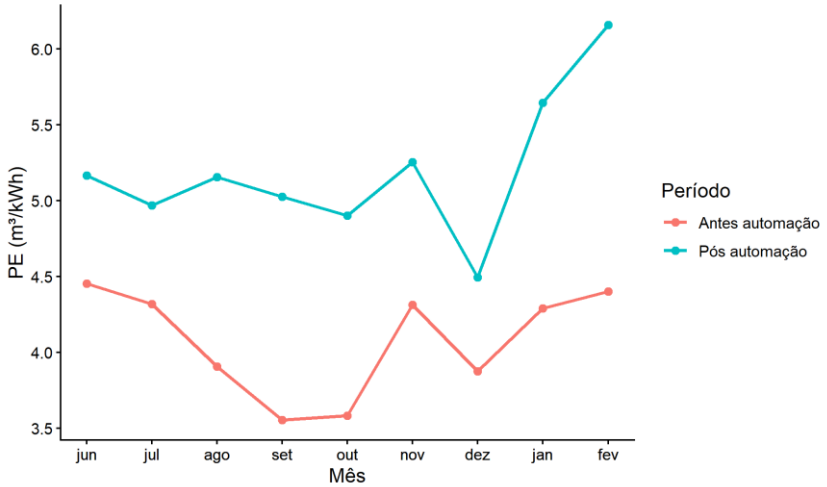
Além da redução do custo energético unitário, observou-se um incremento na vazão média operacional do sistema ao longo do período pós-intervenção. A interpretação conjunta desses indicadores evidencia que os ganhos operacionais transcenderam a mera automação física, sendo reflexo da implementação de regras de controle e protocolos de engenharia que alinharam a capacidade hidráulica à demanda real da Captação Sede e da ETA Sede. Dessa forma, a redução observada no custo energético por volume produzido adquire maior relevância, visto que o sistema passou a operar com vazões elevadas e, simultaneamente, sob menor custo unitário.

Esse comportamento ratifica que a automação, norteada por diretrizes técnicas de modelagem operacional, viabilizou a otimização dos conjuntos motobomba em seus pontos de maior rendimento, mitigando desperdícios e maximizando a eficiência econômica do sistema.

Produtividade Energética

A Figura 4 apresenta os resultados da produtividade energética (m³/kWh) da ETA de Santa Maria da Vitória para os períodos anterior e posterior à implementação da automação. Esse indicador representa o volume de água tratada produzido por unidade de energia elétrica consumida, permitindo avaliar o desempenho operacional do sistema sob a perspectiva da relação entre produção hídrica e consumo energético.

Figura 4 – Produtividade Energética durantes os períodos pré (jun/2024 a fev/2025) e pós automação (jun/2025 a fev/2026)



Fonte: Os autores, 2026.

Os resultados demonstraram aumento da produtividade energética média após a implantação da automação. No período anterior, a média observada foi de aproximadamente 4,076 m³/kWh, enquanto no período posterior a média passou para cerca de 5,196 m³/kWh, correspondendo a um incremento da ordem de 27%. Os dados resumidos encontram-se apresentados na Tabela 3.
O aumento da produtividade energética indica que o sistema passou a produzir maior volume de água tratada para cada unidade de energia elétrica consumida, evidenciando melhoria do desempenho energético-operacional da ETA após a implementação da automação.

Tabela 3 - Comparação do indicador de Produtividade Energética durante os períodos

Período	Média (m³/kWh)	Desvio padrão	Variação (%)
Antes da automação	4,076	0,353	-
Pós-automação	5,196	0,473	27,5%

Fonte: Os autores (2026)

Considerando o incremento aproximado de 22% na vazão operacional após a modernização tecnológica, constata-se que a intervenção viabilizou uma maior produção de água tratada e a expansão da capacidade nominal do sistema. Esses resultados indicam que o binômio Captação-ETA passou a operar sob regimes de vazões mais elevados, associados, simultaneamente, a um melhor aproveitamento energético nos processos de bombeamento e tratamento.

Esse avanço na produtividade energética reflete a eficácia da automação quando subordinada a protocolos de engenharia específicos, os quais permitiram a condução dos conjuntos motobomba em suas faixas de rendimento ideal. A consequente minimização de perdas hidráulicas e desperdícios eletroenergéticos culminou no aumento da eficiência global das unidades.

Em suma, os dados evidenciam que a automação aliada ao rigor técnico operacional promoveu ganhos concomitantes de desempenho produtivo e sustentabilidade energética no sistema de abastecimento.

CONCLUSÃO

Os resultados obtidos demonstram que a prestação de serviços de engenharia especializada aliada à modernização tecnológica e a automação implantadas no sistema de abastecimento de Santa Maria da Vitória promoveram melhorias significativas no desempenho operacional, energético e econômico do binômio Captação-ETA.

A análise da vazão operacional evidenciou uma expansão da capacidade produtiva do sistema, traduzida em um incremento aproximado de 22%. Esse panorama ratifica a eficácia da intervenção no aprimoramento do desempenho hidráulico global das unidades avaliadas. No âmbito energético, constatou-se uma redução de cerca de 21% no consumo específico de energia elétrica. Esse avanço comprova que o sistema passou a demandar menor aporte energético por metro cúbico de água captada e tratada, consolidando um ganho direto de eficiência processual.

Alinhado a esse cenário, o indicador de custo energético por volume produzido apresentou um decréscimo da ordem de 23% após a automação. Tal comportamento atesta a otimização econômico-operacional da infraestrutura, que passou a viabilizar maiores vazões concomitantemente a um menor custo tarifário unitário. Do mesmo modo, a produtividade energética registrou um aumento expressivo de aproximadamente 27%, confirmando que a inteligência de processo aplicada permitiu elevar o volume de água produzido para cada unidade de energia consumida.

Em termos gerais, os resultados evidenciam que a automação, quando fundamentada em protocolos de engenharia específicos para a realidade local, foi o vetor para a otimização dos conjuntos motobomba, o refinamento do controle operacional e o pleno aproveitamento da capacidade hidráulica disponível. Conclui-se, portanto, que a modernização tecnológica, associada a rotinas técnicas bem delineadas, constitui uma estratégia essencial para o fortalecimento da segurança hídrica e para a mitigação dos impactos da escassez, servindo como modelo de eficiência para sistemas de abastecimento congêneres.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BEREGULA, Vilson Fernando; MASCENO, Gabriella Paini; MULINARI FILHO, Manoel. Impacto da automação e monitoramento remoto de redes. Hydro, p. 40–44, nov. 2025.

2. BISWAS, Auindrila et al. Water scarcity: A global hindrance to sustainable development and agricultural production – A critical review of the impacts and adaptation strategies. Cambridge Prisms: Water, v. 3, p. e4, 13 jan. 2025.

3. HELLER, Léo; PÁDUA, Valter Lúcio de. Abastecimento de água para consumo humano. 2. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2010.

4. KUMARI, Alka; GHOSH, Mousumi; PRATAP SINGH, Manvendra. Deep Dive Into Sustainable Development Goals Through the Lens of Triple Bottom Line: Past, Present, and Future. Canadian Journal of Administrative Sciences / Revue Canadienne des Sciences de l'Administration, v. 42, n. 3, p. 352–376, 5 set. 2025.

5. LIU, Gang et al. Potential impacts of changing supply-water quality on drinking water distribution: A review. Water Research, v. 116, p. 135–148, jun. 2017.

6. MEKONNEN, Mesfin M.; HOEKSTRA, Arjen Y. Four billion people facing severe water scarcity. Science Advances, v. 2, n. 2, 5 fev. 2016.

7. MISHRA, Binaya et al. Water Security in a Changing Environment: Concept, Challenges and Solutions. Water, v. 13, n. 4, p. 490, 14 fev. 2021.

8. NAÇÕES UNIDAS (NU). Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development. New York: United Nations, 2015.

9. NING, Shunli; HONG, Siyuan. Programmable logic controller-based automatic control for municipal wastewater treatment plant optimization. Water Practice and Technology, v. 17, n. 1, p. 378–384, 1 jan. 2022.

10. PALKIN, George; SUVOROV, Ivan. Simulation Modeling of First Rise Section of Water Supply System with Installed Complex of Automatic Pump Performance Control. Machines, v. 9, n. 3, p. 63, 14 mar. 2021.

11. RAGHUWANSHI, Neha; SHARMA, Shagun; KALE, Chaitanya Vijay. Automation and Optimization in Water Treatment. In: The Handbook of AI for Clean Water. London: CRC Press, 2025. p. 177–190.

12. UNICEF; WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). Progress on Household Drinking Water, Sanitation and Hygiene 2000–2017: Special Focus on Inequalities. New York: United Nations Children's Fund (UNICEF) and World Health Organization, 2019.

13. VOLLMER, Derek; HARRISON, Ian J. H 2 O ≠ CO 2: framing and responding to the global water crisis. Environmental Research Letters, v. 16, n. 1, p. 011005, 1 jan. 2021.

14. WHO (WORLD HEALTH ORGANIZATION). Guidelines for drinking-water quality: first addendum. 4th ed. Geneva: WHO, 2017.