ESTUDO DE CASO: IMPACTOS DA ENGENHARIA APLICADA À AUTOMAÇÃO NA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA EM SANTA MARIA DA VITÓRIA – BA

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

Este estudo de caso avalia o impacto da implementação de sistemas de automação e modernização no sistema de abastecimento de água de Santa Maria da Vitória, Bahia. O objetivo foi comparar indicadores operacionais e energéticos nos períodos pré e pós-intervenção tecnológica. A metodologia consistiu em uma análise quantitativa de dados mensais de vazão, consumo de energia e custos operacionais entre junho de 2025 e março de 2026, comparados à média histórica anterior. Os resultados demonstraram um incremento médio de 22% na vazão operacional, que passou de 76,46 L/s para 92,24 L/s, aumentando a capacidade produtiva do sistema. Simultaneamente, observou-se uma redução global de 22% no consumo específico de energia (kWh/m³) e no custo energético unitário (R$/m³), com quedas de até 29,5% e 35% em meses de operação consolidada. Conclui-se que a automação otimizou significativamente o desempenho hidráulico e a eficiência energética das unidades, promovendo sustentabilidade econômica e fortalecendo a segurança hídrica do município. O estudo confirma que a transição para modelos controlados tecnicamente reduz desperdícios e amplia a resiliência operacional no saneamento.

PALAVRAS-CHAVE: Automação, segurança hídrica, eficiência energética

INTRODUÇÃO

Garantir a disponibilidade de água potável para todos os consumidores constitui condição essencial para a sustentabilidade global (Kumari; Ghosh; Pratap Singh, 2025). A escassez hídrica tem-se consolidado como um problema crítico e iminente, com impactos diretos sobre os setores comercial, residencial, industrial e agrícola em escala mundial (Raghuwanshi; Sharma; Kale, 2025).

Embora o acesso à água potável seja um dos objetivos centrais do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 6 (ODS 6) da Agenda 2030 das Nações Unidas (United Nations, 2015), o ritmo de esgotamento dos recursos hídricos tem se intensificado em decorrência das mudanças climáticas, do aumento da demanda, do rápido crescimento populacional e da gestão inadequada dos recursos (Mishra *et al*., 2021; Vollmer; Harrison, 2021).

Estima-se um aumento de aproximadamente 55% na demanda global por água nas próximas décadas, enquanto cerca de 25% das grandes cidades já enfrentam condições de estresse hídrico (Biswas *et al*., 2025). Adicionalmente, aproximadamente 4 bilhões de pessoas vivenciam escassez significativa de água por pelo menos um mês ao ano, e cerca de 2.2 bilhões ainda não dispõem de acesso seguro à água potável (Mekonnen; Hoekstra, 2016; UNICEF; OMS, 2019).

Tradicionalmente, a escassez de água tem sido avaliada sob uma perspectiva predominantemente quantitativa; entretanto, a qualidade da água disponível é igualmente determinante para a segurança hídrica. A ausência de medidas adequadas de controle e segurança pode comprometer significativamente essa qualidade água, sobretudo em regiões já afetadas por restrições hídricas (Liu *et al*., 2017). Além disso, secas associadas às mudanças climáticas e o aumento das temperaturas globais intensificam os riscos ao abastecimento, reforçando a necessidade de um gerenciamento eficiente e resiliente dos recursos hídricos (Raghuwanshi; Sharma; Kale, 2025; WHO, 2017).

Nesse contexto, medidas de modernização operacional, automação e aplicação de engenharia em Estações de Tratamento de Água (ETA) e sistemas de abastecimento têm sido apontadas como alternativas estratégicas para o aumento da segurança hídrica, da confiabilidade operacional e da eficiência energética, com potencial para redução do consumo de energia elétrica e dos custos associados (Beregula; Masceno; Mulinari Filho, 2025). Mais do que a simples inserção de tecnologias automatizadas, tais resultados dependem do adequado dimensionamento técnico, da parametrização operacional dos equipamentos e da integração entre os sistemas hidráulicos, elétricos e de controle. Além disso, sistemas operados manualmente podem demandar longos períodos de funcionamento dos equipamentos como estratégia operacional, o que pode comprometer sua vida útil, elevar o consumo energético e reduzir a eficiência global do sistema, contrariando princípios de eficiência energética e sustentabilidade operacional (Ning; Hong, 2022).

O presente estudo de caso avalia os efeitos da engenharia aplicada à automação, associada à modernização operacional e às intervenções processuais implementadas nas principais unidades do sistema de abastecimento de água do Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE) do município de Santa Maria da Vitória, no estado da Bahia, Brasil. A análise fundamenta-se na comparação entre indicadores operacionais e energéticos anteriores e posteriores à intervenção tecnológica realizada após a contratação de empresa especializada em serviços de engenharia, automação e controle operacional. A implementação contemplou adequações técnicas, estratégias de controle e parametrizações específicas para as características operacionais de cada unidade do sistema de abastecimento. A análise contempla dados mensais de vazão, volume produzido, consumo de energia elétrica e custos operacionais associados.

Com base nos dados adquiridos, são propostos indicadores de desempenho energético, partindo da hipótese de que a aplicação estruturada de engenharia à automação operacional contribui diretamente para a melhoria do desempenho hidráulico, operacional e energético das unidades do sistema de saneamento, além de possibilitar a quantificação de ganhos reais de eficiência e sua relevância no contexto da segurança hídrica e da sustentabilidade operacional.

MATERIAIS E MÉTODOS

Delineamento do estudo

O presente estudo caracteriza-se como um caso aplicado, de natureza quantitativa, conduzido no sistema de abastecimento (de outorga do SAAE) no 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 contratação de empresa terceira para implantação do sistema de automação e intervenções de melhorias nas operações das bombas nas principais unidades do sistema de saneamento da cidade, sendo elas nomeadas como: ETA Sede; Captação; Captação Mocambo; ETA Mocambo; Cuscuzeiro; Captação Angico Inhaumas; ETA Inhaumas; além de uma elevatória de esgoto.

A estratégia comparativa adotada permitiu avaliar os efeitos da automação sobre a eficiência energética e operacional, buscando abranger as variáveis associadas à segurança hídrica operacional, bem como a capacidade do sistema de assegurar um fornecimento contínuo, eficiente e tecnicamente controlado.

Tratamento dos dados

Foram utilizados dados mensais consolidados de consumo de energia elétrica (kWh), custo com energia elétrica (R$), volume de água tratada (m^3) e vazão operacional (L/s) das unidades analisadas do sistema de abastecimento de água do município de Santa Maria da Vitória, Bahia. Os dados contemplam o conjunto das unidades operacionais integradas ao sistema de abastecimento da cidade e foram obtidas a partir de registros

operacionais da estação, do sistema de automação e dos dados de faturamento da concessionária de energia elétrica.

A implementação da automação ocorreu a partir de junho de 2025, permanecendo em operação durante todo o período analisado. Contudo, foram considerados os dados compreendidos entre junho de 2025 e março de 2026, período definido como cenário pós-automação. Para fins comparativos, foi adotado um período anterior equivalente, de junho de 2024 a março 2025 como o cenário pré-automação. Essa abordagem permitiu minimizar interferências sazonais e possibilitou a comparação direta entre os cenários.

Na Tabela 1 são apresentados os dados de consumo total de energia e custo monetário total dos períodos pré e pós automação, obtidos nas faturas da concessionária distribuidora de energia. Já os dados de vazão e volume para o período anterior à automação, foram utilizados valores médios obtidos a partir dos registros operacionais das unidades do sistema, conforme mostra Tabela 2. Contudo, para o período pós-automação, foram utilizados os valores médios mensais obtidos pelo sistema de automação, permitindo a análise temporal do comportamento dos indicadores após a implantação do sistema automatizado.

Tabela 1 – Consumo total de energia elétrica e custo monetário durante os cenários pré e pós automação

Mês	Período			
	Pré-automação		Pós-automação	
	Consumo total de energia (kWh)	Custo monetário total	Consumo total de energia (kWh)	Custo monetário total
Junho	156.454,00	R$ 176.769,68	147.636,54	R$ 180.026,00
Julho	158.606,10	R$ 171.438,86	147.972,72	R$ 182.725,25
Agosto	151.185,30	R$ 176.934,72	134.601,42	R$ 165.167,18
Setembro	156.003,20	R$ 187.688,24	148.078,21	R$ 192.703,31
Outubro	163.240,60	R$ 207.142,00	150.805,34	R$ 186.429,64
Novembro	104.763,70	R$ 132.616,21	142.853,22	R$ 170.234,05
Dezembro	112.935,00	R$ 138.224,89	129.078,45	R$ 155.120,30
Janeiro	104.186,30	R$ 129.034,26	116.134,58	R$ 134.477,92
Fevereiro	102.786,60	R$ 157.808,67	104.258,01	R$ 118.967,78
Março	208.797,04	R$ 222.596,26	114.54,54	R$ 117.207,94
Média	141.895,78	R$ 170.025,38	135.713,17	160.305,94
Total	1.418.957,84	R$ 1.700.253,79	1.221.418,49	R$ 1.603.059,37

Fonte: Adaptado de Neoenergia Coelba, 2026.

Tabela 2 – Médias do volume e da vazão durante o período anterior a implantação do sistema de automatização

Médias do período pré-automação	
Volume (m³)	Vazão (L/s)
198.184,32	76,46

Fonte: Adaptado de Neoenergia Coelba, 2026.

As análises estatísticas foram conduzidas no ambiente de programação R, utilizando o software RStudio. Os dados foram organizados em séries temporais mensais e os resultados foram apresentados por meio de gráficos.

Indicadores de desempenho

Com o objetivo de mensurar os impactos da engenharia aplicada à automação, foram definidos indicadores normalizados de desempenho energético e operacional do sistema de abastecimento de água do município de Santa Maria da Vitória. A adoção desses indicadores possibilita avaliar, de forma técnica e comparativa, os efeitos das estratégias de controle, parametrizações operacionais e intervenções de engenharia implementadas nas unidades do sistema, permitindo quantificar ganhos de eficiência relacionados ao consumo energético, à produtividade operacional e à otimização do processo de abastecimento.

A vazão média do sistema (L/s) foi utilizada como indicador operacional da capacidade de produção e distribuição de água, permitindo avaliar possíveis alterações no desempenho hidráulico do sistema após a implantação da automação.

O consumo total de energia elétrica (kWh) foi analisado com o objetivo de verificar o comportamento da demanda energética do sistema ao longo do período pós-automação, possibilitando a comparação com o padrão médio observado anteriormente à intervenção tecnológica.

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.

$$CEE = \frac{E}{V} \qquad \text{equação (1)}$$

O custo energético (CE) unitário, 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.

$$CE = \frac{C}{V} \qquad \text{equação (2)}$$

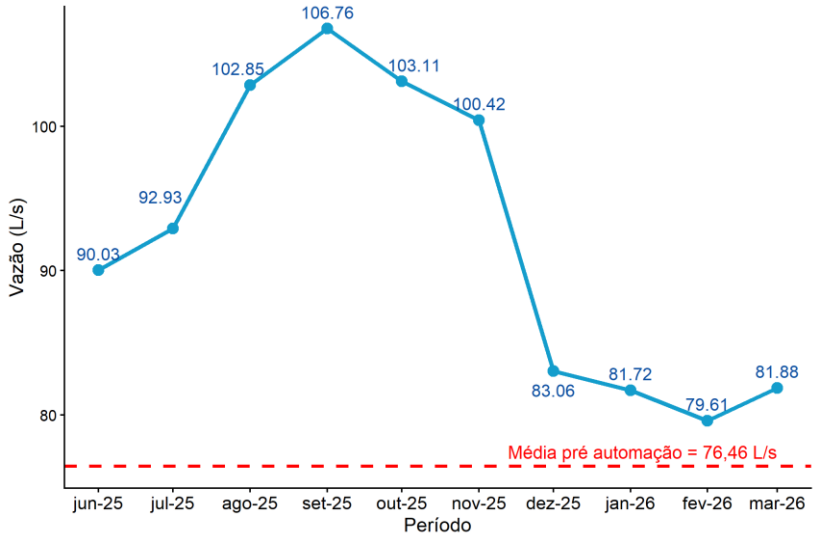
A utilização de indicadores normalizados pelo volume produzido reduz a influência de fatores externos, como reajustes tarifários e oscilações na demanda, possibilitando uma análise mais precisa dos impactos decorrentes da automação. Dessa forma, a abordagem metodológica adotada permite quantificar, sob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

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Vazão das unidades de abastecimento

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, todos os valores de vazão foram superiores à média operacional estimada para o período pré-automação.

Figura 1 - Vazão das unidades de saneamento de Santa Maria durante o período pós automação e o valor médio histórico equivalente do período pré-automação.



Fonte: Os autores, 2026.

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 92,24 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.

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 evidencia que a automação, associada às intervenções de engenharia e modernização operacional, contribuiu 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 Total de Energia

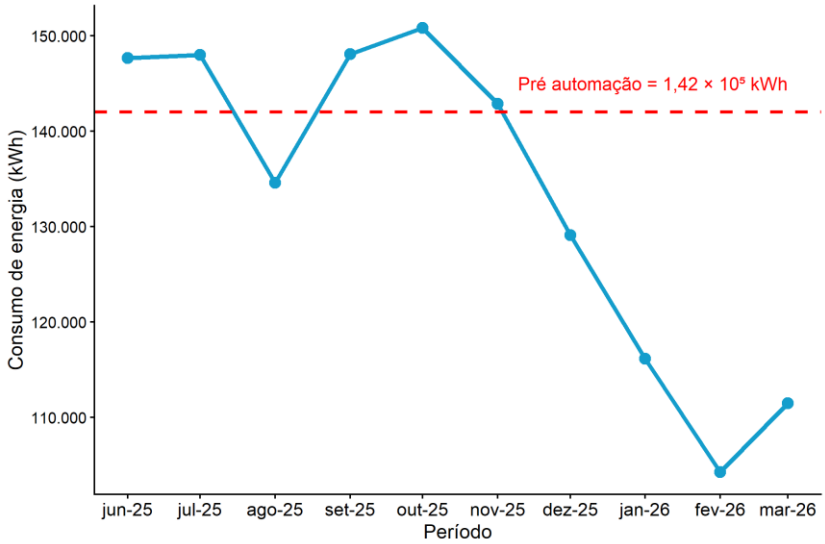
A Figura 2 apresenta o comportamento do consumo total de energia elétrica do sistema de abastecimento de água de Santa Maria da Vitória no período posterior à implantação da automação, em comparação com a média geral observada no cenário pré-automação.

No período anterior à automação, o consumo médio de energia elétrica foi de aproximadamente 142 mil kWh. Após a implantação do sistema automatizado, observou-se comportamento variável ao longo dos meses analisados, com valores inicialmente próximos à média histórica, seguidos de redução progressiva do consumo energético a partir do final de 2025.

Os maiores consumos de energia elétrica foram registrados entre junho e outubro de 2025, período correspondente à estiagem mais severa na região. A ampliação da vazão e o consequente aumento do volume de água distribuído à população resultaram em uma maior demanda energética. Esse comportamento é evidenciado pelos registros de faturamento do SAAE e está diretamente correlacionado às melhorias na regularidade do abastecimento público no município. Desse modo, mesmo durante os meses críticos de seca, o gerenciamento operacional otimizado pela automação contribuiu diretamente para a manutenção da qualidade e da continuidade do serviço de abastecimento.

Nos meses subsequentes, entre dezembro de 2025 e março de 2026, foram observadas reduções em comparação com a média histórica equivalente. Destaque para fevereiro de 2026, que apresentou consumo aproximado de 104 mil kWh, caracterizando uma redução de 26,8% no consumo de energia elétrica. Esse resultado demonstra ganhos de eficiência operacional após a consolidação das estratégias de automação e otimização do sistema, que se assemelha aos resultados obtidos por Abdykenov *et al*. (2026), que identificou quedas expressivas na demanda energética entre 15% e 25% após a implementação de sistemas automatizados de controle operacional.

Figura 2 – Consumo total de energia das unidades de abastecimento de Santa Maria da Vitória durante o período pós automação e o valor médio histórico equivalente do período pré-automação



Fonte: Os autores, 2026.

De maneira geral, os resultados indicam que, após a consolidação operacional da automação e das intervenções de engenharia aplicadas ao sistema, houve redução do consumo energético das unidades, mesmo diante da ampliação da capacidade operacional observada nos resultados de vazão. Esse comportamento evidencia maior eficiência no acionamento, controle e gerenciamento operacional dos conjuntos motobomba, permitindo que o sistema operasse com maior desempenho hidráulico sem aumento proporcional da demanda energética (Ćwikła; Paprocka, 2023). Os resultados também demonstram que a correta parametrização dos equipamentos e a adequação das estratégias operacionais contribuíram para otimizar o funcionamento das unidades de bombeamento.

Dessa forma, a automação associada à engenharia operacional demonstrou potencial para otimizar simultaneamente a produção de água tratada e a eficiência energética do sistema de abastecimento, contribuindo para maior segurança hídrica, confiabilidade operacional e sustentabilidade do sistema. Os ganhos observados indicam que a aplicação técnica da automação, aliada ao conhecimento hidráulico, elétrico e operacional das unidades, foi determinante para a melhoria do desempenho energético global do sistema. Resultados semelhantes foram reportados por Ning e Hong (2022) e Palkin e Suvorov (2021), que observaram redução do consumo energético em sistemas submetidos à automação operacional.

Consumo Específico de Energia

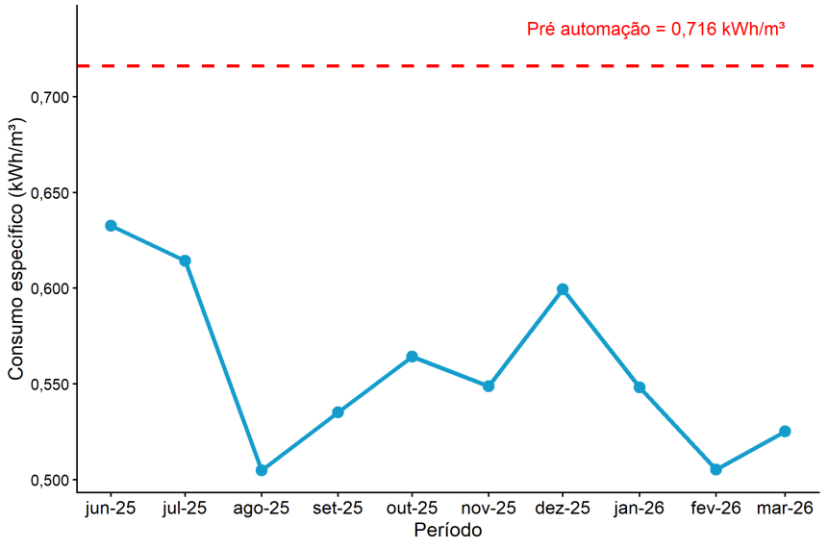
A Figura 3 apresenta o comportamento do consumo específico de energia elétrica (kWh/m³) do sistema de abastecimento de água de Santa Maria da Vitória após implantação da automação, em comparação com a média geral observada no período pré-automação.

No cenário anterior à automação, o consumo específico médio foi de aproximadamente 0,716 kWh/m³, indicando que, para cada metro cúbico de água produzido, eram consumidos cerca de 0,716 kWh de energia elétrica. Após a implantação da automação, todos os valores mensais registrados permaneceram inferiores à

média histórica do período pré-automação, evidenciando melhora consistente da eficiência energética do sistema.

De maneira geral, a média do consumo específico no período pós-automação foi de aproximadamente 0,558 kWh/m³, representando redução global da ordem de 22% após a implantação do sistema automatizado. Os menores valores foram observados nos meses de agosto de 2025 e fevereiro de 2026, com consumo específico de aproximadamente 0,505 kWh/m³. Esse valor representa redução aproximada de 29,5% em relação à média observada no período pré-automação.

Figura 3 – Consumo Específico de Energia das unidades de abastecimento de Santa Maria da Vitória durante o período pós-automação e o valor médio histórico equivalente do período pré-automação.



Fonte: Os autores, 2026.

Os resultados demonstram que a automação aliada as estratégias operacionais contribuíram para reduzir a quantidade de energia necessária para a produção de água tratada, indicando maior eficiência operacional das unidades de bombeamento e melhor controle do funcionamento do sistema. Quando analisados em conjunto com os resultados de vazão, observa-se que o sistema passou a operar com maior capacidade produtiva e menor demanda energética por volume produzido, evidenciando ganhos simultâneos de desempenho hidráulico e eficiência energética.

Esse comportamento reforça o potencial da automação associada à engenharia operacional como estratégia de otimização energética, aumento da eficiência operacional e fortalecimento da segurança hídrica do sistema de abastecimento. Os resultados obtidos indicam que os ganhos observados não decorrem exclusivamente da inserção de tecnologias automatizadas, mas também da aplicação de conhecimento técnico voltado à integração entre os sistemas hidráulicos, elétricos e de controle operacional. Resultados semelhantes foram observados por Ning e Hong (2022), que identificaram redução do consumo energético após a aplicação de sistemas automatizados de controle, e por Abdykenov et al. (2026), que, além da redução no consumo de energia, verificaram aumento da confiabilidade operacional do sistema após a automação, aspecto que também pode estar associado à maior estabilidade operacional observada no presente estudo.

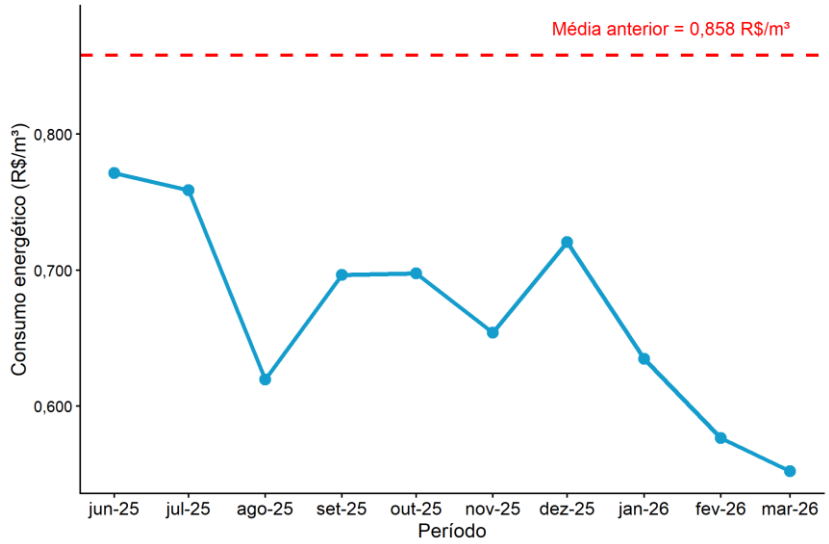
Custo Energético

A Figura 4 apresenta o comportamento do custo energético unitário do sistema de abastecimento de água de Santa Maria da Vitória no período posterior à implantação da automação, em comparação com a média geral observada no cenário pré-automação.

No período anterior à automação, o custo energético unitário médio foi de aproximadamente R$ 0,858/m³, demonstrando que a produção de cada metro cúbico de água tratada demandava cerca de R$ 0,86 em despesas com energia elétrica. Após a implantação da automação, observou-se redução desse indicador ao longo do

período analisado, de forma que o custo energético médio no cenário pós-automação foi de aproximadamente R$ 0,668/m³, correspondendo a redução global da ordem de 22% em relação ao período anterior à automação do sistema.

Figura 4 – Custo Energético das unidades de abastecimento de Santa Maria da Vitória durante o período pós-automação e o valor médio histórico equivalente do período pré-automação.



Fonte: Os autores, 2026.

Os menores custos energéticos unitários foram observados nos meses de fevereiro e março de 2026, com valores de aproximadamente R$ 0,577/m³ e 0,552 R$/m³, respectivamente, valores equivalentes a redução na ordem 35% do custo monetário da cidade com energia elétrica para esses respectivos meses.

Os resultados indicam que a engenharia aplicada à automação proporcionou maior eficiência econômica ao sistema de abastecimento, reduzindo o custo da energia elétrica por unidade de água produzida, corroborando os ganhos de eficiência econômica em sistemas automatizados apresentados por Palkin e Suvorov (2021). Quando analisados em conjunto com os resultados de vazão e consumo específico de energia, os dados evidenciam que o sistema passou a operar com maior produtividade hidráulica e menor impacto energético-financeiro. Esse desempenho demonstra que a otimização operacional não esteve associada apenas à inserção de tecnologias automatizadas, mas também à aplicação de estratégias de engenharia voltadas ao controle operacional, gerenciamento energético e adequação técnica das unidades de bombeamento.

Essa dinâmica reforça as observações de Kapanski et al. (2026) sobre a importância estratégica da otimização operacional em sistemas de abastecimento de água frente aos impactos dos regimes tarifários de consumo de energia elétrica. Desse modo, demonstra-se que a automação, aliada à aplicação de boas práticas de engenharia e à adequada parametrização operacional das unidades, contribuiu simultaneamente para a otimização do desempenho do sistema, redução de custos operacionais e fortalecimento da segurança hídrica.

CONCLUSÃO

A implementação da automação associada à aplicação de engenharia operacional e à modernização dos processos no sistema de abastecimento de água de Santa Maria da Vitória resultou em expressivos ganhos de eficiência operacional, energética e econômica, com impactos diretos sobre a confiabilidade do sistema e a qualidade do abastecimento prestado à população.

Aumento da capacidade produtiva e de atendimento: observou-se incremento médio de 22% na vazão operacional, que passou de 76,46 L/s para 92,24 L/s. Esse aumento da capacidade produtiva foi fundamental para minimizar os históricos problemas de desabastecimento enfrentados pelo município durante períodos de estiagem, demonstrando maior capacidade operacional e resiliência do sistema frente às variações de demanda.

Melhoria da eficiência energética: o consumo específico de energia (kWh/m³) apresentou redução global de 22%, evidenciando que o sistema passou a produzir maior volume de água tratada com menor demanda energética por unidade produzida. Em determinados períodos, essa redução atingiu 29,5%, indicando ganhos relevantes decorrentes da otimização operacional, do controle automatizado e da adequada parametrização das unidades de bombeamento.

Otimização econômica do sistema: o custo energético unitário (R$/m³) também apresentou redução média de 22%, com quedas de até 35% em períodos específicos, demonstrando maior viabilidade econômica da operação por meio da redução dos custos associados à produção de água tratada. Esses resultados evidenciam que a automação, quando associada a estratégias de engenharia e gerenciamento operacional, pode contribuir significativamente para a sustentabilidade financeira dos sistemas de abastecimento.

Fortalecimento da segurança hídrica e operacional: a maior estabilidade operacional, associada ao controle técnico proporcionado pela automação e pelas intervenções de engenharia aplicadas às unidades do sistema, resultou em melhorias significativas na regularidade do abastecimento de água no município de Santa Maria da Vitória. Essa transformação contribuiu para um fornecimento mais contínuo, eficiente e resiliente frente aos desafios associados às mudanças climáticas, aos períodos de estiagem e ao crescimento da demanda populacional.

Portanto, a hipótese inicial deste estudo foi confirmada, demonstrando que a transição de um sistema predominantemente operado manualmente para um modelo automatizado, tecnicamente parametrizado e fundamentado em práticas de engenharia operacional contribuiu diretamente para a modernização da infraestrutura de saneamento do município. Os resultados evidenciam que os ganhos observados não decorreram exclusivamente da inserção de tecnologias de automação, mas também da aplicação integrada de conhecimentos hidráulicos, elétricos, energéticos e operacionais voltados à otimização do sistema de abastecimento. Dessa forma, conclui-se que a engenharia aplicada à automação representa uma ferramenta estratégica para promoção da eficiência energética, sustentabilidade operacional e fortalecimento da segurança hídrica em sistemas públicos de abastecimento de água.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABDYKENOV, Yerzhan *et al. Effective Control and Management of Pump Station Electrical Equipment. Annals of Emerging Technologies in Computing*, v. 10, n. 2, 2026.

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

3. 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.

4. ĆWIKŁA, Grzegorz; PAPROCKA, *Iwona. Condition-Based Failure-Free Time Estimation of a Pump. Sensors*, v. 23, n. 4, p. 1785, 5 fev. 2023.

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

6. KAPANSKI, Aliaksey A. *et al*. Assessing the Potential for Intra-Day Load Redistribution in Water Intake Systems Under Different Electricity Tariff Models: A Comparative Case Study of Belarus and China. Water, v. 18, n. 9, p. 1028, 26 abr. 2026.

7. 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.

8. 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.

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

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

11. NEOENERGIA COELBA. Faturas de energia elétrica: Unidades de Captação e ETA Sede (Santa Maria da Vitória - BA). Período de junho de 2024 a março de 2026. Salvador, 2026. Faturamento comercial

12. 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.

13. 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.

14. 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.

15. 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.

16. UNITED NATIONS (UN). *Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development*. New York: United Nations, 2015.

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

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