OTIMIZAÇÃO DA OPERAÇÃO DE CAPTAÇÃO E RECALQUE DE ÁGUA NA ETA FRAGOSO POR MEIO DE MONITORAMENTO REMOTO E AUTOMAÇÃO INTELIGENTE

Marcelo Ramos [(1)]
Engenheiro mecânico formado pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio), é socio fundador e diretor executivo da Above-Net. Membro da IEEE Robotics and Automation Society e da IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, possui mais de 25 anos de experiência liderando o desenvolvimento e a implementação de soluções tecnológicas voltadas ao monitoramento remoto, à Internet Industrial das Coisas (IIoT) e à eficiência operacional.
Rafael Pougy [(2)]
Formado pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio) e MBA em Gestão Empresarial pela Fundação Getúlio Vargas (FGV), atua há mais de 15 anos na Above-Net nas áreas de gestão de projetos, vendas, marketing e relacionamento com clientes. Possui ampla experiência em gestão comercial, planejamento de negócios e de mercado, estratégias de marketing e gerenciamento de projetos voltados ao setor de automação industrial.
Idavan Cunha [(3)]
Com formação em Engenharia Elétrica e Tecnologia em Redes de Computadores, possui pós-graduação em Automação Industrial pela PUC Minas e especializações internacionais em redes e dispositivos para automação industrial pela MOXA Technologies e em segurança da informação pelo InfoSec Institute. Com mais de 20 anos de experiência, atua como gerente de Tecnologia da Above-Net, aplicando seus conhecimentos em automação, elétrica, redes industriais e IIoT.
Thiago Rodrigues [(4)]
Formado em Engenharia Elétrica pela Universidade Estácio de Sá, possui sólida experiência em eletromecânica, eletrotécnica, instrumentação e automação industrial, com atuação em projetos para grandes empresas, como Petrobras, GE Oil & Gas e Clarent. Desde 2024, atua como supervisor de Instalações da Above-Net, coordenando equipes de campo em projetos de automação e telemetria, realizando levantamentos técnicos e prestando suporte direto aos clientes.

Endereço[(1)]: Rua Dalcidio Jurandir. 255/123- Barra da Tijuca – Rio de Janeiro - RJ - CEP: 22631-250 - Brasil - Tel: +55 (21) 2294-3931 - Tel: +55 (21) 98422-9600 - e-mail: mramos@abovenet.com.br

RESUMO

A busca por maior eficiência energética e operacional tem se tornado uma prioridade para os prestadores de serviços de saneamento, especialmente diante dos desafios impostos pelo Marco Legal do Saneamento e do aumento dos custos de energia elétrica. Este trabalho apresenta a implantação de uma solução de monitoramento remoto e automação inteligente na Estação de Tratamento de Água (ETA) Fragoso, localizada em Miguel Pereira (RJ), com o objetivo de otimizar a operação integrada dos sistemas de captação, recalque e reservação. A solução foi desenvolvida utilizando a plataforma Bridgemeter, associada a sensores de mercado, infraestrutura de comunicação celular gerenciada pelo Bridgemanager e rotinas de automação operacional. Os resultados obtidos demonstraram redução de 201.786 kWh no consumo energético durante sete meses de operação, equivalente a uma economia de aproximadamente 9%, além de uma redução financeira de R$ 270.213,00 no período analisado. O projeto evidenciou o potencial das tecnologias de Internet das Coisas Industrial (IIoT) para promover ganhos operacionais, redução de custos e aumento da confiabilidade dos sistemas de abastecimento de água.

PALAVRAS-CHAVE: Eficiência energética, Automação operacional, Saneamento.

INTRODUÇÃO

O setor de saneamento básico brasileiro enfrenta desafios relacionados à eficiência operacional, sustentabilidade financeira e redução das perdas de água e energia. Entre os custos operacionais mais relevantes das

concessionárias está o consumo de energia elétrica, especialmente nos sistemas de captação e recalque, responsáveis por grande parte da energia consumida em sistemas de abastecimento.

Com a expansão das exigências regulatórias e das metas de universalização previstas pelo Marco Legal do Saneamento, torna-se cada vez mais necessária a adoção de tecnologias que permitam maior controle operacional e melhor utilização dos recursos disponíveis.

Nesse contexto, soluções de monitoramento remoto, automação e análise de dados em tempo real surgem como ferramentas capazes de aumentar a eficiência operacional, reduzir desperdícios e apoiar a tomada de decisão baseada em dados.

OBJETIVOS

Objetivo Geral
Demonstrar os ganhos operacionais, energéticos e financeiros obtidos por meio da implantação de uma solução de monitoramento remoto e automação inteligente na operação de captação e recalque da ETA Fragoso.

Objetivos Específicos

- Apresentar o modelo de monitoramento e automação implantado na ETA Fragoso;
- Avaliar os impactos da integração operacional entre os sistemas de captação, reservação e recalque;
- Quantificar a redução do consumo de energia elétrica obtida após a implantação da solução;
- Mensurar os benefícios econômicos decorrentes da otimização da operação;
- Analisar os efeitos da digitalização da operação sobre a confiabilidade e a eficiência do sistema;
- Evidenciar o potencial de replicação da solução em outros sistemas de abastecimento de água.

METODOLOGIA

O estudo foi realizado na Estação de Tratamento de Água (ETA) Fragoso, localizada no município de Miguel Pereira (RJ), responsável pelo tratamento e distribuição de água para a população atendida pela concessionária local. O sistema analisado é composto por três unidades operacionais principais, interligadas ao processo de captação, tratamento e distribuição de água:

- Captação de água bruta no leito do rio;
- Reservatório da ETA;
- Caixa de passagem intermediária utilizada para controle hidráulico e operacional do sistema.

A operação dessas unidades depende diretamente do funcionamento coordenado de conjuntos motobomba responsáveis pelo recalque da água entre os diferentes pontos do sistema.

A ETA Fragoso possui capacidade operacional para tratamento de água bruta entre 300 e 400 L/s. Para garantir a transferência da água entre as diferentes etapas do processo, o sistema conta com três conjuntos motobomba instalados na captação, três conjuntos motobomba localizados na ETA e unidades adicionais de recalque associadas aos sistemas de *booster*, responsáveis pela manutenção das condições operacionais de distribuição.

Com o objetivo de integrar os processos de captação, reservação e recalque, foi implantada uma solução de monitoramento remoto e automação baseada na plataforma Bridgemeter, permitindo o acompanhamento contínuo das variáveis operacionais e a execução de lógicas de controle em tempo real.

O sistema passou a monitorar o estado operacional dos conjuntos motobomba, identificando condições de funcionamento ligado ou desligado, bem como o modo de operação remoto ou manual. Também foram incorporados ao monitoramento dois equipamentos Hydroflex, utilizados para acompanhamento do comportamento operacional do sistema, incluindo a detecção de possíveis congelamentos de leitura.

Além do monitoramento dos equipamentos, foram acompanhados continuamente os níveis da cisterna e da caixa de transição, medidos em percentual, bem como os estados das proteções operacionais associadas aos limites mínimos e máximos de funcionamento do sistema. A automação utilizou parâmetros configuráveis de operação, incluindo o limite mínimo de proteção da cisterna, ajustável entre 30% e 70%, o limite de religamento da caixa

de transição, configurável entre 50% e 80%, e o *setpoint* operacional da caixa de transição, ajustável entre 10% e 90%, de acordo com as necessidades operacionais da concessionária.

A lógica de controle implementada passou a correlacionar os níveis dos reservatórios, o estado dos equipamentos e os parâmetros operacionais previamente definidos, permitindo o acionamento automático das proteções de nível máximo da caixa de transição e de nível mínimo da cisterna. O sistema também incorporou estratégias de redução de rotação dos equipamentos em situações de baixo nível da cisterna, contribuindo para a proteção dos ativos e para a otimização do consumo energético.

A centralização dessas informações em uma única plataforma permitiu uma visão integrada da operação, possibilitando ajustes remotos, geração de alarmes, acompanhamento em tempo real dos ativos e maior eficiência no gerenciamento dos processos de captação e recalque.

Diagnóstico Operacional Inicial

Antes da implantação da solução, os processos de captação, reservação e recalque operavam de forma independente, com baixo nível de integração entre os ativos e limitada disponibilidade de informações em tempo real. A ausência de monitoramento contínuo dificultava a visualização do comportamento hidráulico do sistema como um todo, restringindo a tomada de decisão operacional e reduzindo a capacidade de otimização energética. As decisões operacionais eram baseadas principalmente em informações locais e na atuação das equipes de campo, o que resultava em:

- Menor previsibilidade operacional;
- Dificuldade de sincronização entre os pontos do sistema;
- Limitações para identificação antecipada de falhas;
- Operação das bombas sem análise integrada dos níveis dos reservatórios;
- Baixa disponibilidade de indicadores para avaliação de desempenho.

A partir desse cenário, foi identificada a necessidade de implantação de uma solução capaz de integrar dados operacionais, monitoramento remoto e automação dos processos.

A operação da captação e da ETA era realizada predominantemente de forma manual, contando apenas com automações locais destinadas à proteção dos equipamentos. O reservatório superior, por sua vez, não possuía qualquer sistema de monitoramento ou telemetria, impossibilitando o acompanhamento de seus níveis em tempo real e a adoção de estratégias automatizadas de controle entre a produção de água tratada e a capacidade de armazenamento disponível.

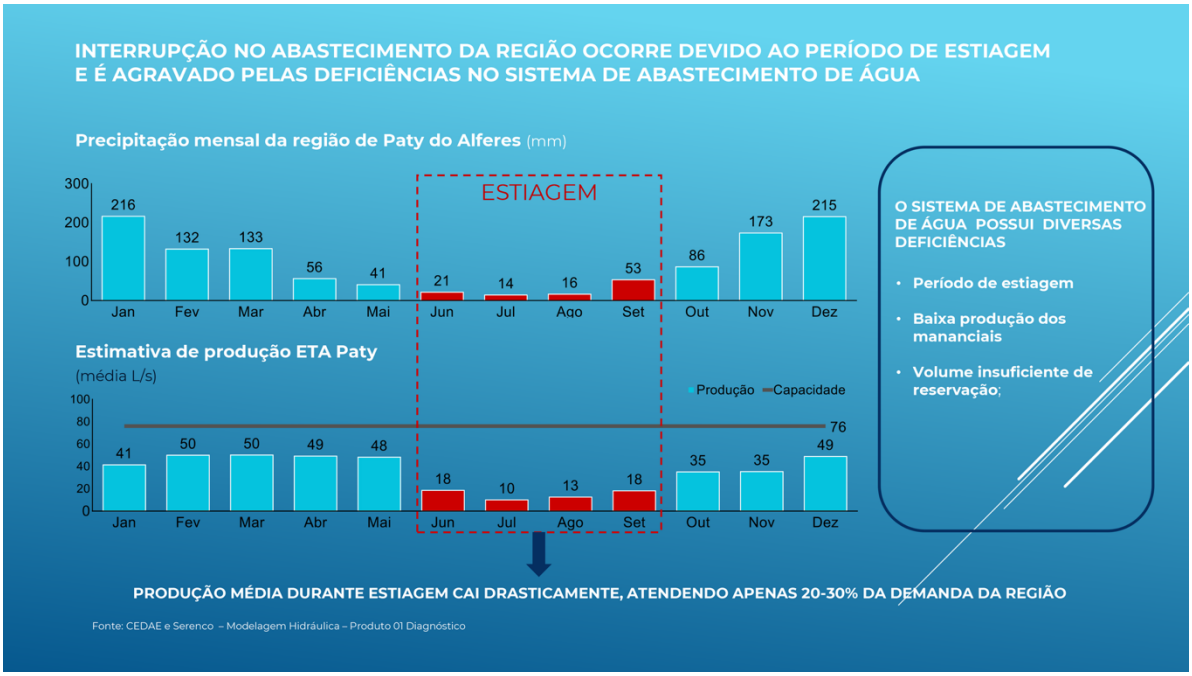
Como consequência, a operação dos conjuntos motobomba da ETA ocorria de forma reativa, dependente da comunicação entre operadores e equipes de campo para informar as condições dos reservatórios. O desligamento das bombas era realizado manualmente após a identificação de níveis elevados ou do enchimento completo do reservatório, sem que houvesse uma lógica automatizada capaz de correlacionar a produção da estação com a demanda efetiva do sistema de distribuição.

Essa limitação operacional resultava em frequentes situações de bombeamento além da necessidade real do sistema, especialmente durante períodos de menor consumo, como no período noturno. Além do aumento do consumo energético, esse cenário contribuía para desperdícios associados ao excesso de produção de água tratada e ao consumo adicional de produtos químicos utilizados no processo de tratamento, reduzindo a eficiência global da operação.

O contexto operacional da ETA Fragoso é agravado também pelas condições hidrológicas da região de Paty do Alferes e Miguel Pereira, caracterizadas por períodos sazonais de estiagem que impactam diretamente a disponibilidade hídrica dos mananciais. Dados de precipitação regional demonstram uma redução significativa dos índices pluviométricos entre os meses de junho e setembro, período em que a produção média da ETA Paty apresenta queda acentuada. Durante esse intervalo, a produção média da estação reduz-se de aproximadamente 48 a 50 L/s para valores entre 10 e 18 L/s, correspondendo a apenas 20% a 30% da capacidade nominal do sistema. Esse cenário evidencia a necessidade de maximizar a eficiência operacional dos ativos existentes,

especialmente nos processos de captação, recalque e reservação, uma vez que limitações operacionais e desperdícios tornam-se ainda mais críticos em períodos de baixa disponibilidade hídrica.

Figura 1 – Precipitação e produção média ao longo do ano



Arquitetura da Solução Implantada

Para promover a integração operacional dos ativos e viabilizar a automação inteligente do sistema, foi implantada uma arquitetura baseada em tecnologias de Internet das Coisas Industrial (IIoT), utilizando a plataforma Bridgemeter para aquisição, processamento e análise de dados operacionais em tempo real. A solução foi estruturada em três camadas principais:

a) Camada de Campo

Responsável pela aquisição das variáveis operacionais por meio da instrumentação instalada nos pontos monitorados. Foram utilizados:

- Sensores de nível;
- Sensores elétricos de tensão e corrente;
- Monitoramento de status operacional dos conjuntos motobomba;
- Instrumentação de mercado compatível com sinais digitais e analógicos.

b) Camada de Comunicação

Responsável pela transmissão dos dados coletados em campo para a plataforma de gestão. A comunicação foi realizada por meio de infraestrutura celular industrial associada à plataforma Bridgemanager, permitindo:

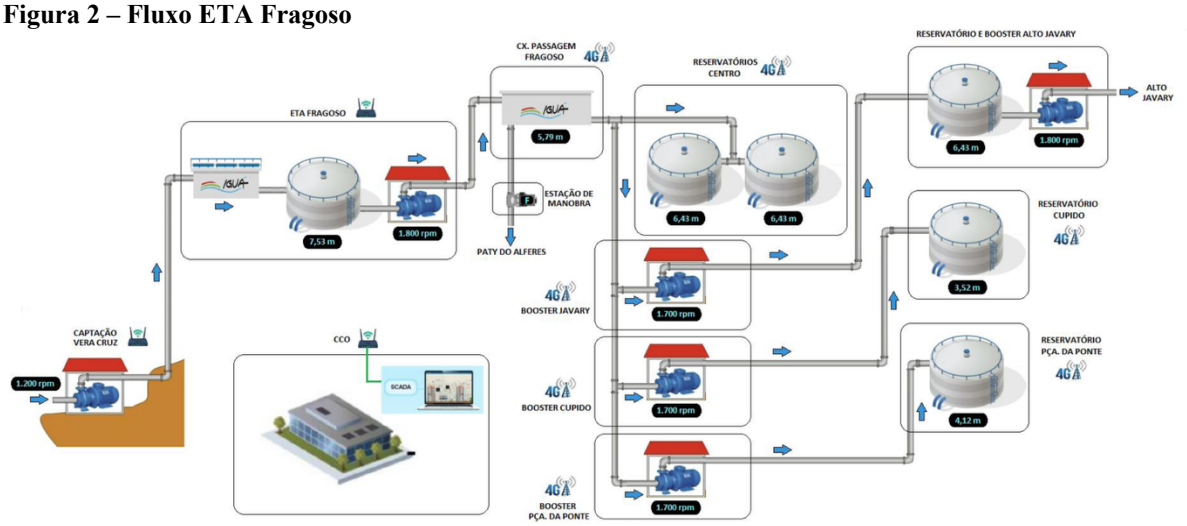
- Monitoramento contínuo da conectividade;
- Recuperação automática de falhas de comunicação;
- Gestão remota dos dispositivos instalados;
- Aumento da disponibilidade operacional do sistema.

c) Camada de Aplicação

A plataforma Bridgemeter foi utilizada para:

- Consolidação das informações operacionais;
- Monitoramento remoto dos ativos;
- Visualização gráfica dos indicadores;
- Geração de alarmes e notificações;
- Execução das rotinas de automação;
- Armazenamento histórico dos dados operacionais.

Figura 2 – Fluxo ETA Fragoso



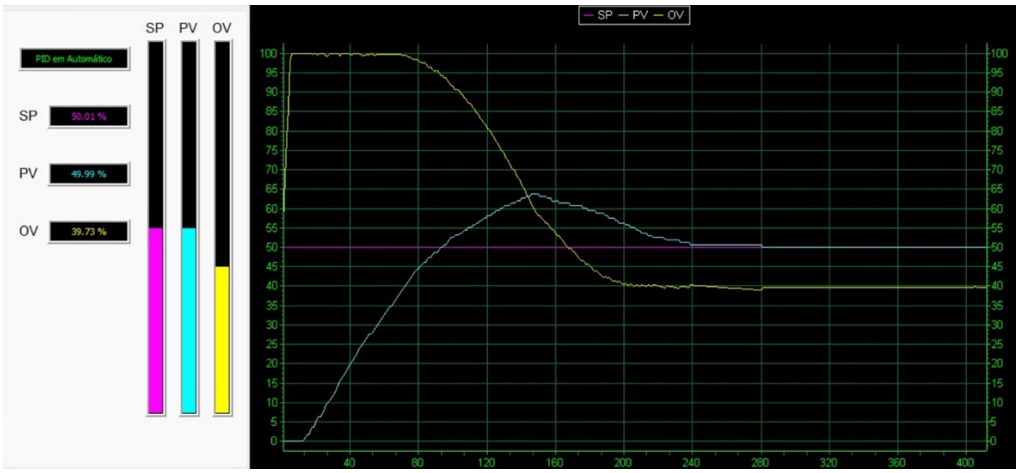
Estratégia de Monitoramento e Automação

A estratégia de automação foi desenvolvida com o objetivo de coordenar o funcionamento integrado dos sistemas de captação, transferência e recalque a partir das condições operacionais observadas em tempo real. A lógica implementada passou a considerar simultaneamente os níveis dos reservatórios, as condições operacionais dos conjuntos motobomba, a disponibilidade dos ativos, as necessidades de abastecimento e as regras operacionais previamente definidas pela concessionária.

Para viabilizar essa estratégia, a solução passou a monitorar continuamente variáveis operacionais distribuídas entre a Captação Vera Cruz, a Caixa de Transição e a ETA Fragoso. Entre as principais variáveis monitoradas estavam os níveis dos reservatórios, os estados operacionais dos conjuntos motobomba, o modo de operação remoto ou manual dos painéis, os status de comunicação dos equipamentos e os parâmetros de controle utilizados pelas rotinas de automação

A lógica operacional foi baseada principalmente no comportamento dos níveis da cisterna da ETA e da caixa de transição. Foram estabelecidos parâmetros configuráveis para proteção e controle do sistema, incluindo o limite mínimo de proteção da cisterna, ajustável entre 30% e 70%, o limite de religamento da caixa de transição, configurável entre 50% e 80%, e o setpoint operacional da caixa de transição, ajustável entre 10% e 90%, de acordo com as condições operacionais definidas pela concessionária.

Figura 3 – Gráfico do PID calibrado e em execução desde a partida do grupo de bombas até atingir o nível desejado/setpoint. (Legenda: OV = Potência da bomba | PV = Nível do reservatório | SP = Ajuste do nível informado pela operação).



Além dos níveis dos reservatórios, a automação considerava o estado das proteções operacionais, incluindo a proteção por nível máximo da caixa de transição e a proteção por nível mínimo da cisterna. O sistema também monitorava continuamente os três conjuntos motobomba da ETA, identificando condições de funcionamento ligado ou desligado e disponibilidade para operação remota, bem como os equipamentos Hydroflex, utilizados para validação das leituras e identificação de eventuais condições de congelamento dos valores monitorados.

A partir da correlação dessas variáveis, o sistema passou a executar ajustes automáticos no funcionamento das bombas, buscando maximizar a eficiência operacional e reduzir o consumo energético. Para isso, foi empregada uma estratégia de controle em malha fechada baseada em controlador PID (Proporcional, Integral e Derivativo), devidamente calibrado para garantir elevada precisão no controle do processo, rápida resposta às variações operacionais e estabilidade do sistema, minimizando oscilações e desvios dos parâmetros de operação.

Como medida complementar de proteção e otimização energética, foi implementada uma lógica de redução de rotação (RPM) dos equipamentos em condições de baixo nível da cisterna, permitindo adequar o funcionamento dos conjuntos motobomba à disponibilidade hídrica do sistema e reduzir esforços desnecessários dos equipamentos.

Toda a lógica operacional foi centralizada na plataforma Bridgemeter, permitindo monitoramento contínuo dos ativos, configuração remota dos parâmetros operacionais, emissão automática de alarmes em condições anormais, registro histórico dos eventos operacionais e suporte à tomada de decisão baseada em dados. Dessa forma, a operação passou a atuar de maneira integrada e preditiva, reduzindo a dependência de intervenções manuais e aumentando a eficiência dos processos de captação, transferência e reservação de água.

Procedimento de Avaliação dos Resultados

A avaliação dos resultados foi realizada por meio da comparação entre os indicadores operacionais obtidos após a implantação da solução e os dados históricos de operação referentes aos mesmos períodos de anos anteriores. Foram analisados os seguintes indicadores:

- Consumo de energia elétrica (kWh);
- Custos operacionais associados à energia;
- Economia financeira acumulada;
- Projeção de retorno sobre investimento;
- Indicadores operacionais relacionados à confiabilidade do sistema.

Os resultados foram consolidados ao longo dos sete primeiros meses de operação da solução, permitindo avaliar os impactos decorrentes da integração entre monitoramento remoto e automação inteligente.

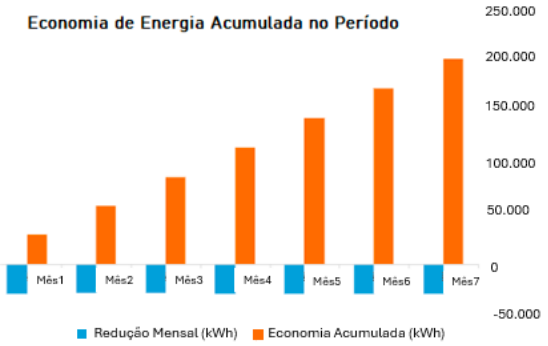
RESULTADOS OBTIDOS

A implantação da solução de monitoramento remoto e automação inteligente na ETA Fragoso permitiu uma mudança significativa na forma de operação do sistema de captação e recalque, proporcionando maior integração entre os ativos, visibilidade operacional em tempo real e capacidade de tomada de decisão baseada em dados.

Após a entrada em operação da solução, observou-se uma melhora substancial na eficiência energética do sistema, resultado diretamente associado à coordenação automatizada dos conjuntos motobomba e ao monitoramento contínuo das variáveis operacionais. A automação passou a considerar simultaneamente as condições dos reservatórios, a disponibilidade dos equipamentos e as necessidades de abastecimento, reduzindo acionamentos desnecessários e promovendo uma utilização mais eficiente da infraestrutura existente.

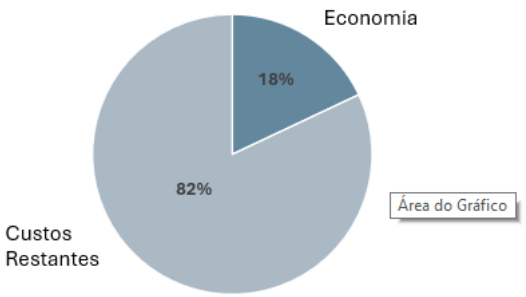
Ao longo dos sete primeiros meses de operação, foi registrada uma economia acumulada de 201.786 kWh em comparação com os mesmos períodos de anos anteriores, representando uma redução aproximada de 9% no consumo de energia elétrica associado às unidades envolvidas no projeto. Esse resultado demonstra o potencial da automação inteligente para reduzir um dos principais componentes do custo operacional dos sistemas de abastecimento de água.

Figura 4 – Evolução da economia acumulada de energia (kWh) ao longo dos sete meses de operação.



Além da redução no consumo energético, a solução produziu impactos financeiros relevantes. Durante o período analisado, a economia operacional acumulada atingiu R$ 270.213,00, representando uma redução aproximada de 18% nos custos operacionais diretamente relacionados às instalações contempladas pelo projeto. Considerando a representatividade dos gastos com energia elétrica nas operações de saneamento, os resultados obtidos reforçam a importância da adoção de tecnologias voltadas à eficiência energética como ferramenta para aumento da sustentabilidade financeira dos serviços.

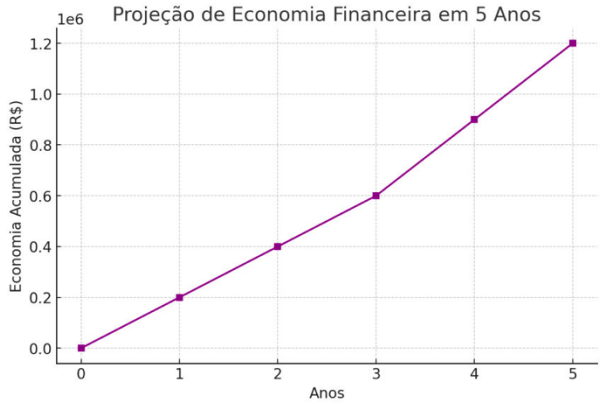
Figura 5 – Economia financeira acumulada no período de avaliação.



A análise da evolução mensal dos indicadores demonstra que os benefícios não ocorreram de forma pontual, mas apresentaram comportamento consistente ao longo de todo o período monitorado. Esse aspecto é

particularmente relevante, pois evidencia que os ganhos observados decorrem de mudanças estruturais na operação e não de condições sazonais ou eventos isolados. Mantidas as condições operacionais observadas durante os primeiros meses de funcionamento da solução, a projeção realizada indica uma economia financeira superior a R$ 1,2 milhão ao longo de cinco anos apenas em custos diretos de energia elétrica. Quando considerados fatores adicionais, como redução de deslocamentos de equipes, aumento da vida útil dos equipamentos, diminuição das perdas operacionais e maior eficiência na manutenção, o potencial de retorno tende a ser ainda mais significativo.

Figura 6 – Projeção de economia financeira acumulada para cinco anos.



Outro aspecto relevante foi o aumento da confiabilidade operacional do sistema. A disponibilidade contínua das informações permitiu maior controle sobre o comportamento hidráulico da operação, reduzindo a dependência de verificações presenciais e possibilitando respostas mais rápidas a eventos operacionais. O monitoramento remoto também ampliou a capacidade de identificação precoce de desvios de desempenho, favorecendo ações preventivas e reduzindo riscos de interrupções não planejadas. A implementação do projeto foi concluída em aproximadamente quinze dias, abrangendo a instalação dos dispositivos de campo, a configuração da infraestrutura de comunicação, a parametrização das regras de automação e os testes operacionais. O curto prazo de implantação demonstrou a viabilidade de aplicação da solução em sistemas existentes sem necessidade de intervenções complexas ou alterações significativas na infraestrutura instalada.

Os resultados obtidos indicam que a combinação entre monitoramento remoto, conectividade gerenciada e automação inteligente constitui uma estratégia eficaz para aumentar a eficiência operacional de sistemas de abastecimento de água, proporcionando benefícios mensuráveis tanto do ponto de vista técnico quanto econômico.

ANÁLISE

Os resultados obtidos após a implantação da solução demonstram que a integração entre monitoramento remoto, conectividade gerenciada e automação inteligente foi capaz de produzir ganhos operacionais significativos no sistema de captação e recalque da ETA Fragoso. A economia acumulada de 201.786 kWh em sete meses evidencia que a estratégia adotada contribuiu diretamente para a otimização do consumo energético da operação, reduzindo desperdícios e promovendo maior eficiência na utilização dos conjuntos motobomba.

A redução observada está associada principalmente à capacidade do sistema de correlacionar informações provenientes dos diferentes pontos operacionais monitorados. A partir dessa visão integrada, as decisões de acionamento e desligamento dos equipamentos passaram a considerar simultaneamente os níveis dos reservatórios, as condições operacionais dos ativos e as necessidades do sistema, permitindo uma operação mais equilibrada e eficiente. Os resultados financeiros acompanham o comportamento dos indicadores energéticos. A economia acumulada de R$ 270.213,00 no período analisado demonstra que a redução do consumo de energia produziu impactos diretos nos custos operacionais da estação. Considerando que os sistemas de bombeamento representam uma das principais parcelas do consumo energético em operações de abastecimento de água, os resultados obtidos indicam que melhorias relativamente simples na lógica operacional podem gerar benefícios financeiros expressivos.

Outro aspecto observado foi o aumento da visibilidade operacional. A disponibilidade contínua das informações permitiu o acompanhamento em tempo real das condições do sistema, reduzindo a dependência de inspeções presenciais e proporcionando maior capacidade de resposta diante de desvios operacionais. Embora esse benefício não tenha sido mensurado diretamente por indicadores específicos neste estudo, sua contribuição para a gestão operacional é evidente. A projeção de economia superior a R$ 1,2 milhão ao longo de cinco anos reforça a sustentabilidade dos ganhos obtidos. Os resultados indicam que os benefícios gerados não estão associados a eventos pontuais, mas a uma mudança estrutural na forma de operação do sistema, permitindo que os ganhos energéticos e financeiros sejam mantidos ao longo do tempo.

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos na ETA Fragoso confirmam o potencial das tecnologias digitais para apoiar a modernização das operações de saneamento, especialmente em sistemas onde os custos energéticos possuem elevada representatividade no orçamento operacional. Em um cenário marcado pela necessidade de aumento da eficiência e pela busca de maior sustentabilidade financeira, soluções capazes de otimizar o uso da infraestrutura existente tornam-se cada vez mais relevantes.

A redução de aproximadamente 9% no consumo de energia observada neste estudo apresenta relevância significativa quando analisada sob a perspectiva do setor. De acordo com diversos estudos e levantamentos do segmento de saneamento, os gastos com energia elétrica podem representar uma parcela expressiva dos custos operacionais das concessionárias. Nesse contexto, iniciativas que promovam ganhos contínuos de eficiência energética contribuem diretamente para a melhoria dos indicadores econômicos das operações.

Outro ponto importante refere-se à estratégia adotada para obtenção dos resultados. Diferentemente de projetos que dependem da substituição de equipamentos ou da ampliação da infraestrutura instalada, os ganhos observados foram alcançados principalmente por meio da utilização inteligente dos dados operacionais. Isso demonstra que a transformação digital no saneamento não está necessariamente associada a grandes investimentos em ativos físicos, mas à capacidade de utilizar informações em tempo real para otimizar processos já existentes.

A experiência da ETA Fragoso também evidencia a importância da integração entre monitoramento, comunicação e automação. Quando essas tecnologias atuam de forma coordenada, tornam-se capazes de transformar dados operacionais em ações automáticas de controle, reduzindo a intervenção manual e aumentando a previsibilidade da operação. Esse aspecto é particularmente relevante em sistemas distribuídos, onde a distância entre os ativos e a necessidade de resposta rápida representam desafios constantes para as equipes operacionais. Além dos benefícios energéticos e financeiros identificados, é razoável considerar que a solução implantada possa gerar impactos positivos adicionais, como redução do desgaste dos equipamentos, aumento da confiabilidade operacional e melhoria das estratégias de manutenção. Embora tais aspectos não tenham sido objeto de mensuração específica neste trabalho, eles representam oportunidades para estudos futuros e para o aprofundamento da avaliação dos benefícios proporcionados pela digitalização dos sistemas de abastecimento.

Por fim, os resultados obtidos demonstram que a adoção de soluções baseadas em IIoT e automação inteligente pode contribuir de forma efetiva para o atendimento das demandas atuais do setor de saneamento, apoiando operadores e concessionárias na busca por maior eficiência operacional, redução de custos e sustentabilidade dos serviços prestados à população.

CONCLUSÃO

A implantação da solução de monitoramento remoto e automação inteligente na ETA Fragoso demonstrou que a integração de tecnologias de Internet das Coisas Industrial (IIoT), comunicação remota e controle automatizado pode contribuir significativamente para a melhoria da eficiência operacional em sistemas de abastecimento de água.

Os resultados obtidos ao longo dos sete primeiros meses de operação evidenciaram ganhos concretos tanto sob a perspectiva energética quanto econômica. Além dos benefícios mensuráveis, a solução proporcionou maior

visibilidade operacional, integração entre ativos anteriormente operados de forma independente e ampliação da capacidade de monitoramento e tomada de decisão em tempo real. A centralização das informações operacionais permitiu uma gestão mais eficiente dos recursos disponíveis, contribuindo para aumentar a previsibilidade da operação e reduzir a dependência de intervenções presenciais.

Outro aspecto relevante observado foi a viabilidade da implementação em sistemas existentes, sem necessidade de intervenções estruturais significativas. O curto prazo de implantação e a utilização de uma arquitetura baseada em serviços demonstram que iniciativas de transformação digital podem ser adotadas de forma gradual e com reduzido impacto na rotina operacional. Os resultados alcançados indicam que a utilização integrada de monitoramento, conectividade e automação representa uma alternativa eficaz para apoiar operadores e concessionárias na busca por maior eficiência energética, redução de custos operacionais e melhoria da confiabilidade dos sistemas de abastecimento de água.

Por fim, a experiência da ETA Fragoso reforça o potencial das tecnologias digitais como instrumento de modernização do setor de saneamento, contribuindo para o enfrentamento dos desafios relacionados à sustentabilidade operacional, à eficiência dos serviços e ao cumprimento das metas de universalização estabelecidas pelo Marco Legal do Saneamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). *Atlas Abastecimento Urbano de Água.* Brasília: ANA, 2021.

2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL (ABES). *Perdas em Sistemas de Abastecimento de Água: diagnóstico, potencial de ganhos e recomendações de gestão.* Rio de Janeiro: ABES, 2021.

3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR ISO 50001: Sistemas de Gestão de Energia – Requisitos com orientações para uso*. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

4. BRASIL. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. *Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007*. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 16 jul. 2020.

5. BRASIL. Ministério das Cidades. *Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS. Diagnóstico Temático: Serviços de Água e Esgoto – Visão Geral*. Ano de Referência 2023. Brasília: Ministério das Cidades, 2024.

6. ELETROBRAS. *Eficiência Energética em Sistemas de Bombeamento*. Rio de Janeiro: Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – PROCEL, 2018.