



## 1494 – PLATAFORMA INTELIGENTE PARA OTIMIZAÇÃO E EFICIENTIZAÇÃO ENERGÉTICA DE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA – ESTUDO DE CASO EM COMPANHIA DE SANEAMENTO

### **Anderson Schamne<sup>(1)</sup>**

Analista de Sistemas da Sanepar. Engenheiro Civil, Especialista em Geotecnologias/Geoprocessamento e Mestrando em Engenharia Civil pela UTFPR.

### **Bruno Abreu**

Engenheiro Mecânico e Doutor em Sistemas de Energia e Mudanças Climáticas e Bacharel em Engenharia Mecânica pela Universidade de Aveiro, Founder e CEO da Scubic Portugal.

### **Cezar A. Bittencourt Jr**

Administrador e Doutor em Desenvolvimento Econômico e Turismo pela Universidade de Aveiro, Especialista em Gestão da Qualidade pela UFPR. Co-Founder e CEO da C3D Ecotech e da Scubic Brasil Tecnologia.

### **Gustavo Rafael Collere Possetti**

Doutor e Mestre em Ciências pela UTFPR. Engenheiro Ambiental pela UFPR e Engenheiro Eletricista pela UTFPR. Gerente de Pesquisa e Inovação da Sanepar. Coordenador da Câmara Temática de Tratamento de Esgoto da ABES e Diretor da ABES-PR.

### **Rodrigo Garcia**

Engenheiro Civil pela UFPR, Especialista em Perícia Ambiental, Engenheiro de Desenvolvimento Operacional pela Sanepar.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** R. Engenheiros Rebouças, 1376, Rebouças, Curitiba, Paraná, Brasil - CEP 80215-900 - Tel: +55 (41) 3330-3982- e-mail: andersons@sanepar.com.br

## **RESUMO**

O uso de sistemas dotados de ferramentas digitais com inteligência artificial para aprendizado de comportamentos e predição são tendências mundiais para o setor de água. Contudo, a aplicação dessa abordagem no Brasil ainda é incipiente. Este artigo apresenta os resultados da aplicação de uma plataforma de inteligência artificial capaz de otimizar o consumo, o percentual de consumo em horário de ponta e os custos com energia elétrica em um tramo de um sistema de abastecimento de água do município de Curitiba e região metropolitana, dotado de um sistema de monitoramento e controle operacional. O tramo avaliado é composto de seis reservatórios em fluxo de cascata, com capacidade de armazenamento de 42.470 m<sup>3</sup> e cinco elevatórias com potência instalada da ordem de 5.000 kW, das quais quatro elevatórias possuem inversor de frequência e apenas uma não possui. O uso da plataforma promoveu a diminuição do número de acionamentos dos motores, bem como a operação dentro da faixa de frequência mais adequada nas elevatórias dotadas de inversores. Com o uso de algoritmos computacionais, os dados históricos e em tempo real foram processados para se ter, dentre outros, previsões futuras inerentes ao abastecimento de água. Dessa forma, a plataforma estabeleceu ordens operacionais com as quais as elevatórias foram operadas, gerando eficiência energética. Verificou-se uma redução no consumo médio específico de energia elétrica do tramo de 20,61%, bem como uma diminuição do percentual de consumo de energia elétrica em horário de ponta de cerca de 28%. Além disso, estimou-se que o uso da plataforma proporcionaria uma redução dos custos anuais com energia elétrica no tramo de 19,47%, proporcionando uma economia de mais de R\$ 776 mil. O trabalho sugere que a plataforma de inteligência artificial pode ser replicada em outros tramos do sistema de abastecimento de água e destaca a importância do desenvolvimento de protocolos e interfaces para a automação do processo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Eficiência energética, inteligência artificial, sistema de abastecimento de água, digitalização e segurança operacional.

## INTRODUÇÃO

A sociedade vive grandes desafios no contexto de recursos naturais, em específico, de água e energia. Dentre esses desafios se destaca o suprimento de água potável de forma sustentável para mais de 748 milhões de pessoas (ONU, 2015). O entendimento do nexos água-energia pode colaborar diretamente para o atingimento da universalização dos serviços de saneamento. Em geral, o consumo de energia elétrica para o fornecimento de água está na média de 7% do consumo global, e dentro de uma perspectiva comum os custos de produção e distribuição de águas chegam a cerca 80% decorrentes de energia elétrica (TRIPATHI, 2007).

Segundo dados do Balanço Energético Nacional - BEN (BRASIL, 2022a), a demanda energética no Brasil no ano de 2021 foi de 570 TWh. Já dados do Diagnóstico Temático de Serviços de Água e Esgoto revelam que o setor de saneamento é responsável pelo consumo anual de energia elétrica de 14,2 TWh (BRASIL, 2022b), o que representa 2,4% de toda eletricidade consumida no país.

A busca da excelência na prestação dos serviços de saneamento traz também estudos de eficiência energética, que visam maximizar e otimizar os usos das fontes de energia. Com o objetivo de garantir a eficiência dos serviços e cumprimento das legislações, os prestadores de serviços de saneamento possuem, dentre outros, o desafio de minimizar o consumo de energia elétrica (SCARATTI; MICHELON; SCARATI, 2013).

Com o aumento constante das demandas de água nos centros urbanos, e por ser um bem escasso, é necessário um controle minucioso. As corretas tomadas de decisões operacionais dependem do conhecimento prévio do perfil de demanda ao longo do dia das regiões de consumo de água. É comum na operação de transferência de água entre reservatórios buscar manter o máximo nível de reserva no reservatório de jusante. Mesmo em sistemas automatizados, que disponibilizam informações em tempo real, além da atuação automática sobre os elementos dos sistemas, onde se tem o liga e desliga das bombas realizado em função de nível máximo e mínimo, pode-se constatar o acionamento de elevatórias ocorrendo em um número maior que o necessário. O número de acionamentos de uma bomba é relevante quando se analisa os custos operacionais, pois diminuindo o número de partidas, pode-se aumentar o ciclo de vida útil dos equipamentos, reduzindo assim os custos de manutenção.

Logo, estudar a aplicabilidade de sistema que opere o desligamento total ou parcial no período de horário de ponta/fora de ponta dos conjuntos eletrobombas nas elevatórias, exige o conhecimento do volume útil dos reservatórios, da dinâmica do consumo, das características hidráulicas das bombas e da forma de operação e do controle (TSUTIYA, 2005).

Essa abordagem pode ser otimizada, notadamente com a utilização de conceitos de digitalização da água (GRIEVSON et al., 2022). Devido à complexidade da operação dos sistemas de abastecimento de água, a busca da regra operacional otimizada e preditiva pode ser feita com o auxílio de inteligência computacional (CARVALHO et al., 2011). Adicionalmente, à medida que há ampliação dos sistemas de monitoramento, a quantidade de dados cresce exponencialmente, tornando o processo de avaliação e tratamento desses dados extremamente difícil e trabalhoso, comprometendo a otimização da operação e a geração de valor agregado (MONARD; BARANAUSKAS, 2003). Assim, a previsão de demanda de água baseada em dados históricos e em tempo real é uma ferramenta importante a ser usada no planejamento, na estimativa do consumo e no direcionamento da gestão do saneamento.

Nesse contexto, o uso de sistemas digitais contendo, sobretudo, ferramentas de inteligência artificial para aprendizado de comportamentos e predição são tendências mundiais para a otimização do abastecimento de água (GRIEVSON et al., 2022). Contudo, a aplicação dessa abordagem no Brasil ainda é incipiente.

## OBJETIVO

Este trabalho tem o objetivo de apresentar os resultados da aplicação de uma plataforma de inteligência artificial capaz de otimizar o consumo, o percentual do consumo em horário de ponta e os custos com energia elétrica em um tramo do sistema de abastecimento de água de Curitiba e região metropolitana, dotado de um sistema de monitoramento e controle operacional.

## METODOLOGIA UTILIZADA

A plataforma de inteligência artificial foi empregada para otimizar a operação das elevatórias de transferência de água entre os reservatórios do Sistema de Abastecimento de Água Passaúna, tramo norte, na cidade de Curitiba e região metropolitana. O tramo avaliado é composto de seis reservatórios em fluxo de cascata, com capacidade de armazenamento de 42.470 m<sup>3</sup> e cinco elevatórias com potência instalada da ordem de 5.000 kW, das quais quatro elevatórias possuem inversor de frequência e apenas uma não possui.

Esse sistema atende uma população de 560 mil habitantes, cerca de 28% da população total de Curitiba, abastecendo também as regiões vizinhas do município. Na Figura 1 a área na cor verde ilustra a área do município, enquanto a cor azul representa a área de abrangência do estudo.

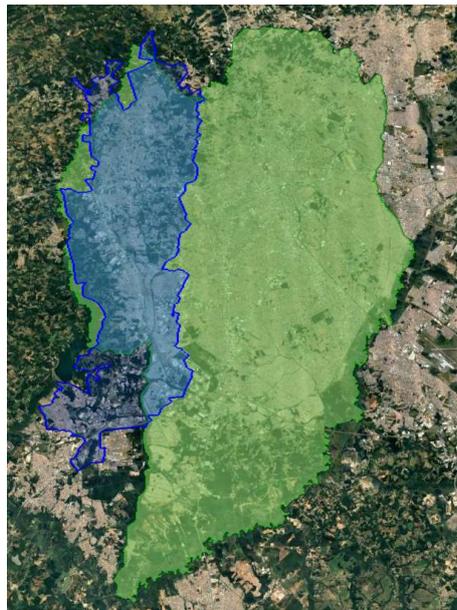


Figura 1 - Ilustração das áreas do município de Curitiba-PR em investigação (verde) e de abrangência do estudo (azul)  
Fonte: Google Earth, 2023.

A plataforma de inteligência artificial realiza a integração de diferentes bases de dados em um único *dashboard*, replicando os dados provenientes do sistema SCADA do prestador de serviços e agregando, dentre outros: a funcionalidade de prever os consumos de água em diferentes pontos da rede por meio de técnicas de *machine learning*; o modelo hidráulico da rede calibrado com dados reais de modo a simular seu comportamento real (gêmeo digital); algoritmos de otimização capazes de, com base no preço da energia elétrica e sua disponibilidade, encontrar a operação mais econômica para captar, tratar e distribuir água; visualização dos níveis reais e futuros dos reservatórios, assim como de todas as regras de operação de bombas e válvulas; cálculo, em tempo real, de relações unitárias, tais como R\$/m<sup>3</sup>; R\$/kWh e kWh/m<sup>3</sup>, para todo o tramo do sistema de abastecimento onde foi aplicado e para cada equipamento nele inserido.

A plataforma é composta, basicamente, por três grandes módulos:

- I) Simulação: cria um módulo de simulação virtual (gêmeos digitais), que permite a análise de diferentes parâmetros de funcionamento.
- II) Previsão: com base em dados históricos de operação e meteorológicos e com base em técnicas de *machine learning* (algoritmos de aprendizado de máquina), realiza a previsão de consumos de água e energia, bem como o comportamento de sistemas complexos.
- III) Otimização: esse módulo possibilita encontrar os melhores parâmetros de controle para cada fase do processo, buscando maximizar sua eficiência e reduzir custos de processo.

Neste estudo, a referida plataforma foi utilizada para avaliar duas diferentes condições:

- a) Avaliação *ex-ante*, com valores de dados históricos, na fase de definição, quando se desenvolveu o mapa hidráulico e o balanço hídrico baseado em análises de campo, dados do sistema SCADA, e cálculos de engenharia;
- b) Avaliação *ex-post*, com valores mensurados, consideradas as economias de energia elétrica (em kWh), a redução do percentual de consumo de energia elétrica em horário de ponta (em %) e os custos efetivamente gastos (em R\$), baseados em faturas consolidadas da concessionária de energia elétrica e tendo como referência os dados dos mesmos meses do ano anterior (ano de 2021).

Para tanto, extrairam dados históricos do SCADA para alimentar a plataforma de inteligência artificial durante um período de 180 dias. Esses dados foram processados e modelados. Na sequência, a plataforma foi preparada para ler os dados em tempo real do SCADA, realizar as previsões e se autoajustar de acordo com a operação realizada pelo prestador de serviço. As comparações foram realizadas para os parâmetros mensurados entre maio e novembro dos anos de 2021 (sem uso da plataforma de inteligência artificial) e de 2022 (com uso da plataforma).

## RESULTADOS OBTIDOS

O uso da plataforma em questão se dá a partir da aquisição, do armazenamento e da análise de dados operacionais do processo e de sua respectiva modelagem hidráulica. Os algoritmos dinâmicos utilizados formam a inteligência artificial da plataforma, os quais permitem prever, dentre outros, os consumos diários de água, conforme ilustra a Figura 2.

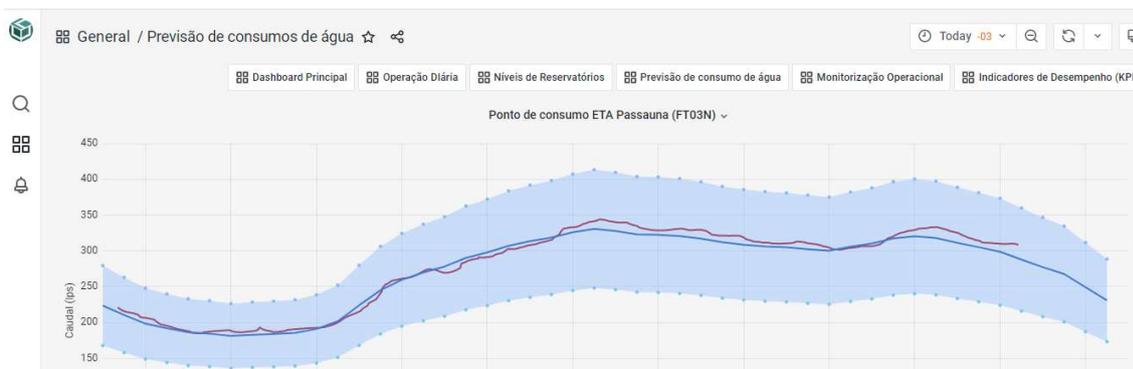


Figura 2 - Curvas de vazão de água provenientes de medições em tempo real (em vermelho) e das previsões estimadas com a plataforma de inteligência artificial (em azul) para a estação de tratamento que integra o tramo do sistema de abastecimento de água sob avaliação.

A plataforma fornece ordens operacionais como retorno das análises que executa, calculadas de maneira horária. Com as leituras dos dados operacionais e a previsão ocorrendo automaticamente, a plataforma fornece uma tela com as ordens que devem ser seguidas pelos operadores.

Como exemplo, pode-se observar na Figura 3 o comportamento do nível previsto e realizado do reservatório São Braz durante um dia de avaliação. A linha de cor preta é o nível previsto e as linhas de cor azul são os níveis realizados para as duas câmaras do reservatório. O comportamento do nível se deve às ordens de bombeamento determinadas pela plataforma de inteligência artificial e executadas pelo operador na elevatória à montante.



Figura 3 - Curvas de observação (dados reais) e previsão (via plataforma de inteligência artificial) para um reservatório em operação no tramo do sistema de abastecimento de água sob avaliação.

As Figuras 2 e 3 demonstram que os procedimentos operacionais foram seguidos e os resultados previstos com o auxílio da plataforma ficaram muito próximos, ratificando a otimização das frequências de operação dos conjuntos eletrobombas e promovendo a diminuição do consumo de energia elétrica e o deslocamento da carga associada com o funcionamento dos equipamentos de horário de ponta para fora de ponta.

As Tabelas 1 e 2, por sua vez, resumizam os consumos mensais de energia elétrica e os parâmetros de produção de água no tramo do sistema de abastecimento em questão, respectivamente, sem e com o uso da plataforma de inteligência artificial. Mesmo que as ordens de operação emitidas pela referida plataforma não tenham sido seguidas na sua totalidade, a comparação dos parâmetros inerentes ao ano de 2021 (sem plataforma) e ao ano de 2022 (com plataforma) sugere que as rotinas de previsão e otimização provenientes do processamento de dados via inteligência artificial podem gerar importantes ganhos operacionais.

Entre os meses de maio e novembro de 2021, a razão entre os consumos de energia elétrica em horário de ponta e o horário fora de ponta foi, em média, de 8,46%. O consumo de energia elétrica total, durante os mesmos meses de investigação, foi de mais de 13,5 milhões de kWh, gerando um consumo médio específico de energia elétrica de 0,3551 kWh/m<sup>3</sup>.

Por sua vez, entre os meses de maio e novembro de 2022, intervalo de tempo que contou com o uso da plataforma de inteligência artificial, constatou-se um consumo médio específico de energia elétrica de 0,2819 kWh/m<sup>3</sup>. Esse valor indica uma diminuição de 20,61% no montante de energia elétrica consumido para cada m<sup>3</sup> de água bombeado.

Adicionalmente, o uso da plataforma de inteligência artificial promoveu uma diminuição do percentual de consumo de energia elétrica em horário de ponta (dias de semana, entre 18h e 20h59min) de 28% no período de avaliação. No ano de 2021, o percentual de consumo de energia elétrica foi de 8,46%, enquanto que em 2022 esse valor foi de 6,09%.

Assim, adotando-se os custos unitários de energia elétrica praticados em dezembro de 2021, estima-se que a utilização da plataforma de inteligência artificial ao longo de todo o ano de 2022 geraria uma redução de 19,47% nos custos totais com energia elétrica, gerando uma economia de mais de R\$ 776 mil, quando comparado com os custos verificados ao longo de todo o ano de 2021.

Tabela 1 - Consumos de energia elétrica e dados de produção de água mensais sem a utilização da plataforma de inteligência artificial.

Período			Consumo de energia elétrica			Produção de água	
Competência	Vencimento	Referente	Ponta - P (kWh)	Fora Ponta – FP (kWh)	% P/FP	Volume (m³)	Consumo específico (kWh/m³)
jun/21	30/07/2021	mai/21	73.080	728.582	9,12%	2.311.821	0,3468
jul/21	31/08/2021	jun/21	72.221	704.114	9,30%	2.414.188	0,3216
ago/21	30/09/2021	jul/21	73.041	734.645	9,04%	2.435.220	0,3317
set/21	29/10/2021	ago/21	72.388	768.920	8,60%	2.255.740	0,373
out/21	30/11/2021	set/21	64.378	728.139	8,12%	2.036.241	0,3892
nov/21	30/12/2021	out/21	51.469	736.774	6,53%	2.084.821	0,3781
<b>TOTAL</b>			<b>406.577</b>	<b>4.401.174</b>	<b>8,46%</b>	<b>13.538.031</b>	<b>0,3551</b>

Tabela 2 - Consumos de energia elétrica e dados de produção de água mensais com a utilização da plataforma de inteligência artificial.

Período			Consumo de energia elétrica			Produção de água	
Competência	Vencimento	Referente	Ponta - P (kWh)	Fora Ponta – FP (kWh)	% P/FP	Volume (m³)	Consumo específico (kWh/m³)
jun/22	31/07/2022	mai/22	49.913	733.384	6,37%	2.830.420	0,2767
jul/22	31/08/2022	jun/22	45.374	740.569	5,77%	2.752.208	0,2856
ago/22	30/09/2022	jul/22	47.285	756.527	5,88%	2.838.546	0,2832
set/22	30/10/2022	ago/22	53.516	760.069	6,58%	2.831.072	0,2874
out/22	30/11/2022	set/22	44.417	722.879	5,79%	2.738.920	0,2801
nov/22	30/12/2022	out/22	51.284	785.330	6,13%	3.003.301	0,2786
<b>TOTAL</b>			<b>291.789</b>	<b>4.498.758</b>	<b>6,09%</b>	<b>16.994.467</b>	<b>0,2819</b>

## ANÁLISE DOS RESULTADOS

Nos sistemas que dependem da ação de um operador, a transferência de água entre os reservatórios ocorre, normalmente, baseada na experiência dos profissionais que operam o sistema. Mesmo com a existência de uma regra operacional que defina um padrão de operação, existem variáveis no dia a dia da operação que motivam

os operadores a tomarem decisões baseadas na sua experiência para realizar a operação das elevatórias, o que pode não ser o modo mais otimizado e eficiente.

Insta salientar que, uma vez treinada a equipe e implementada a plataforma de inteligência artificial, pode-se verificar sua efetividade na análise preditiva para a estimativa do consumo de energia elétrica (kWh) do tramo do sistema de abastecimento de água sob investigação, de modo a apoiar o planejamento operacional por meio de ordens de operação (liga-desliga) para controladores lógicos programáveis (CLPs) que acionam motores. Isso resultou na otimização da eficiência do processo, bem como no aumento de sua segurança operacional. De acordo com o estudo Lee e Chang (2016), empresas que investiram em sistemas de gestão de energia tiveram redução em termos de poupança de energia elétrica de cerca de 11,39 a 16,22% ao ano, o que de fato corrobora com os resultados aqui relatados.

Ao analisar os históricos da operação das transferências entre os reservatórios do tramo norte do sistema de abastecimento de água em questão, identificaram-se oportunidades para eficientização. Ocorreram casos, por exemplo, em que a elevatória operou em sua condição máxima enchendo o reservatório antes do momento ideal, fazendo o operador ligá-la novamente na sequência devido à necessidade de estar com o nível máximo a partir de um determinado horário para possibilitar suprir a demanda. Outra situação encontrada nos dados históricos é que a elevatória operou em capacidade intermediária antes do horário de ponta (horário em que a energia elétrica é mais cara) e não atingiu o nível necessário para atravessar o horário de ponta sem precisar receber transferência, fazendo com que o operador tivesse que ligar a elevatória durante esse período em que a energia elétrica tem um custo maior. Tais situações foram identificadas e podem ser mitigadas com a aplicação da plataforma de inteligência artificial em questão.

Destaca-se, ainda, que ordens operacionais emitidas pela plataforma em pauta foram diferentes, em alguns casos, daquelas que os operadores estavam acostumados a executar autonomamente. Dessa forma, verificou-se, inicialmente, resistência por parte de alguns operadores em aceitar a nova forma de operação. Contudo, tal aceitação foi sendo majorada à medida em que ocorreram reuniões técnicas e treinamentos dedicados, frente aos resultados de eficientização que foram obtidos.

Durante as reuniões técnicas foi destacada e evidenciada a necessidade de treinar novamente os modelos matemáticos e fazer um estudo mais acurado sobre quais variáveis meteorológicas causavam mais impacto no consumo de água. O corpo técnico de desenvolvedores da plataforma de inteligência artificial se aprofundou no estudo e analisou, em específico, o caso da rede de Curitiba para otimizar o tempo de reavaliação periódica dos algoritmos de *machine learning*, que deviam ser treinados intermitentemente para tornar tal processo completamente automático. O estudo o qual foi concluído com êxito e incorporado a plataforma de inteligência artificial.

Para tanto, adquiriram-se os dados meteorológicos dos últimos 40 anos da Região Metropolitana de Curitiba para embasar a análise de quais as variáveis (ou a combinação de variáveis) resultariam em maior impacto no consumo de água futuro (considerando a velocidade do vento, a temperatura, a umidade, a precipitação ou a combinação entre essas variáveis). Esse conhecimento foi incorporado na funcionalidade e em algoritmos da plataforma de inteligência artificial.

## **CONCLUSÕES**

A aplicação da plataforma de inteligência artificial permitiu a operação otimizada do tramo do sistema de abastecimento de água sob investigação, possibilitando a redução do consumo, do percentual de consumo no horário de ponta e dos custos com energia elétrica.

Especificamente, o uso da plataforma promoveu a diminuição do número de acionamentos dos motores, bem como a operação dentro da faixa de frequência mais adequada nas elevatórias dotadas de inversor de frequência. Com o uso de algoritmos computacionais, os dados históricos e em tempo real foram processados para se ter previsões futuras do abastecimento de água. Dessa forma, a plataforma estabeleceu ordens operacionais com as quais as elevatórias foram operadas, gerando eficiência energética.

Além do objetivo específico proposto pela plataforma de inteligência artificial, destacam-se outros benefícios diretos de sua capacidade de economizar recursos que foram exitosamente alcançados: i - realocação dos momentos de operação de bombeamento para horários em que o custo energético se demonstre mais favorável, isto é, não operar os conjuntos eletrobombas em horários de pico; ii - reprogramação de frequências e de modo de operação dos motores dos conjuntos eletrobombas para os momentos de maior eficiência energética com consequente redução do consumo de energia para um mesmo trabalho de bombeamento; iii - melhor segurança operacional para a central de controle, notadamente no controle de pressões da rede de distribuição e, consequente, redução dos volumes de perdas reais de água tratada; iv - redução dos custos de mão de obra com a automação das operações de ligar e desligar o bombeamento e do planejamento operacional do abastecimento; v - redução da emissão de carbono, motivado pela eficiência na programação das frequências das estações elevatórias.

Os bons resultados obtidos indicam que a plataforma pode ser aplicada em outros tramos do sistema de abastecimento de água do prestador de serviço, visando a otimização operacional e a redução com custos de energia elétrica.

Sugere-se como trabalhos futuros o desenvolvimento de protocolos e interfaces que possam ofertar as ordens operacionais diretamente para os controladores lógicos programáveis, a fim de acionar os inversores de frequência de forma automática, independente da ação de um operador. Essa atividade pode promover o monitoramento e o controle em tempo real a partir de inteligência artificial, maximizando os resultados inerentes à aplicação da plataforma.

## REFERÊNCIAS

1. BRASIL. (2022a) Balanço Energético Nacional – BEN. Rio de Janeiro: MME-EPE. 288p.
2. BRASIL. (2022b) Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico Temático de Serviços de Água e Esgoto. Brasília: SNSA/MCIDADES. 164p.
3. CARVALHO, A. et al. Inteligência Artificial: Uma abordagem de Aprendizado de Máquina. Rio de Janeiro-RJ: LTC, 2011.
4. GRIEVSON, O.; HOLLOWAY, T.; JOHNSON, B. A Strategic Digital Transformation for the Water Industry, London, United Kingdom: IWA Publishing, 2022.
5. LEE, D.; CHENG, C. Energy savings by energy management systems: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. v. 56, p. 760-777, 2016.
6. MONARD, M. C.; BARANAUSKAS, J. A. Conceitos sobre Aprendizado de Máquina. *Sistemas Inteligentes Fundamentos e Aplicações*. Barueri, SP: Manole Ltda, 2003. p. 39-56.
7. ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS – ONU. (2015) The United Nations World Water Development Report 2015: water for a sustainable world. UNESCO. 139 p.
8. SCARATTI, D.; MICHELON, W.; SCARATTI, G. Avaliação da eficiência da gestão dos serviços municipais de abastecimento de água e esgotamento sanitário utilizando Data Envelopment Analysis. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*. Rio de Janeiro, v. 18, n. 4, p. 333-340. 2013.
9. TSUTIYA, Milton Tomoyuki. Abastecimento de Água. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.

