CONTROLE PID APLICADO AO OXIGÊNIO DISSOLVIDO PARA OTIMIZAÇÃO DA REMOÇÃO BIOLÓGICA DE FÓSFORO EM ESGOTO

Arthur Henrique de Sousa Antunes (PIBIC/CNPq/UEM), Sandro Rogerio Lautenschlager (Orientador). E-mail: srlager@uem.br

Universidade Estadual de Maringá,Centro de Tecnologia, Maringá, PR.

Engenharias – Engenharia Elétrica - Eletrônica Industrial, Sistemas e Controles Eletrônicos.

Palavras-chave: tratamento de efluentes; automação; fósforo residual.

RESUMO

O fósforo é um dos principais poluentes presentes em efluentes domésticos e industriais, sendo sua remoção essencial para mitigar impactos ambientais como a eutrofização e a proliferação de cianobactérias [1]. A Remoção Biológica de Fósforo (RBF) configura-se como alternativa sustentável e economicamente viável em comparação aos métodos químicos, porém depende de condições operacionais rigorosas, destacando-se o controle do oxigênio dissolvido (OD) como variável crítica. Este trabalho propôs a implementação de um sistema de automação baseado em controlador Proporcional-Integral-Derivativo (PID) para otimizar o nível de OD em uma planta piloto de tratamento de esgoto localizada na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Mandacaru, em Maringá-PR. O arranjo experimental contou com a sonda FST100-DO106 para medição de OD, o controlador Heltec WiFi LoRa V2 como unidade de processamento e o inversor de frequência WEG CF300 para atuação no soprador de aeração. Apesar da concepção do sistema, a execução enfrentou limitações relacionadas à calibração da sonda, que apresentou instabilidades e inviabilizou a obtenção de leituras confiáveis. Adicionalmente, as reformas estruturais da ETE resultaram na remoção da planta piloto, impossibilitando a continuidade dos testes. Dessa forma, os resultados esperados não puderam ser plenamente alcançados. Ainda assim, o trabalho contribui para a avaliação crítica da aplicabilidade de metodologias de automação no setor de saneamento, evidenciando tanto o potencial de integração entre sensores e controladores quanto os desafios práticos que devem ser superados em futuros estudos de campo.

INTRODUÇÃO

O crescimento demográfico e industrial nas últimas décadas tem elevado de forma expressiva a geração de efluentes domésticos e industriais, tornando seu tratamento um desafio ambiental, econômico e legal. Entre os poluentes presentes nesses efluentes, o fósforo se destaca por seu papel crítico no desequilíbrio ecológico, estando diretamente associado à eutrofização dos corpos d'água e à

proliferação descontrolada de cianobactérias, que podem produzir toxinas prejudiciais à saúde humana e à biodiversidade. No Brasil, a Resolução CONAMA nº 357/2005 estabelece limites para a concentração de fósforo em efluentes lançados em corpos receptores, reforçando a necessidade de soluções tecnológicas eficazes para sua remoção. Nesse cenário, a Remoção Biológica de Fósforo (RBF), baseada na atividade de microrganismos acumuladores de polifosfato (PAOs), apresenta-se como alternativa sustentável e economicamente viável, embora exija rigoroso controle operacional, em especial do oxigênio dissolvido (OD). Diante desse contexto, o objetivo do presente trabalho foi analisar a aplicação de um controlador Proporcional-Integral-Derivativo (PID) para regular os níveis de OD em uma planta de lodo ativado, de modo a otimizar a eficiência do processo de RBF.

MATERIAIS E MÉTODOS

A planta experimental foi instalada na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Mandacaru, em Maringá-PR, em uma unidade piloto com configuração de lodo ativado, condição necessária para a aplicação da Remoção Biológica de Fósforo (RBF). O sistema contava com bombas monofásicas de circulação, motores trifásicos para o soprador de aeração e o raspador do decantador secundário, além de painel elétrico com botoeiras de acionamento, potenciômetros e dispositivos de segurança. O soprador, responsável pela oxigenação da água, era acionado por motor trifásico controlado pelo inversor de frequência WEG CF300 [4], operando na faixa de 20 a 60 Hz.

A medição de oxigênio dissolvido (OD) seria realizada pela sonda FST100-DO106 [2], baseada em fluorescência óptica e com comunicação via sinal analógico (4–20 mA) ou protocolo digital Modbus RTU. Para integração digital, utilizou-se interface RS-485 por meio do módulo MAX485 [5,6]. O processamento e o controle foram atribuídos ao Heltec WiFi LoRa V2 [3], microcontrolador baseado em ESP32, selecionado por sua capacidade de processamento, saídas DAC de 8 bits, múltiplas interfaces seriais e display OLED, que permitiam monitoramento local. A programação foi desenvolvida em C++ no ambiente PlatformIO, com implementação de rotinas de aquisição de dados, cálculo PID e envio para a nuvem.

Para comunicação remota, adotou-se o módulo GSM/GPRS SIM800L, que assegura transmissão de dados por redes 2G. A alimentação elétrica foi planejada para atender cada componente: 12 VCC para a sonda e 4,8 VCC para o Heltec e módulos auxiliares. Com essa configuração, o sistema foi projetado para realizar leitura contínua de OD, calcular a ação de controle pelo PID e atuar sobre o soprador via inversor de frequência, mantendo condições ideais para a atividade dos microrganismos acumuladores de polifosfato.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante a execução, as maiores dificuldades estiveram relacionadas à calibração da sonda FST100-DO106. Apesar de contato direto com os fabricantes na China, a sonda apresentou comportamento instável: os valores de OD tendiam a

subir continuamente até o dispositivo travar, sendo necessário reiniciá-lo. A aplicação do método de calibração descrito no manual não produziu resultados consistentes, em parte pela ausência de uma referência confiável em campo. Em consequência, durante grande parte do período experimental a sonda permaneceu inoperante. Paralelamente, a ETE Mandacaru passou por reformas estruturais, o que obrigou a remoção da planta piloto instalada no local. Tais fatores impediram a coleta de dados experimentais necessários para validar o controlador PID. Ainda assim, o desenvolvimento do sistema de automação, a integração entre os módulos de comunicação e o estudo de sintonia do PID proporcionaram avanços na compreensão prática da aplicação de automação em processos ambientais, destacando os desafios de implantação em cenários reais.

CONCLUSÕES

Embora não tenha sido possível validar experimentalmente o desempenho do controle PID aplicado ao oxigênio dissolvido (OD), em razão das limitações operacionais da sonda e da necessidade de remoção da planta experimental durante as reformas na ETE, o projeto permitiu demonstrar a viabilidade de integração entre sensores, controladores e sistemas de comunicação aplicados ao saneamento. A experiência evidenciou a relevância de uma calibração adequada dos sensores de OD, bem como a importância de uma infraestrutura estável e compatível para que a Remoção Biológica de Fósforo (RBF) possa ser aplicada em escala real com resultados consistentes. Além disso, o trabalho reforça a necessidade de estudos complementares voltados ao aprimoramento de metodologias de calibração, ao desenvolvimento de protocolos de manutenção preventiva de sensores e ao aperfeiçoamento da operação em campo, de modo a superar as barreiras práticas encontradas em ambientes reais de tratamento de efluentes.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo fomento concedido por meio da bolsa de estudos; à Universidade Estadual de Maringá (UEM), pelo respaldo institucional e pelas condições favoráveis ao desenvolvimento da pesquisa; e à empresa Smart Sensor Design, pela infraestrutura disponibilizada e pelas valiosas contribuições que tornaram possível a concretização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

[1] SOROKA, V. D. ET AL. REMOÇÃO DE FÓSFORO DE EFLUENTE DOMÉSTICO, BRUTO E TRATADO, UTILIZANDO QUATRO DIFERENTES COAGULANTES: CLORETO FÉRRICO, POLICLORETO DE ALUMÍNIO, SULFATO DE ALUMÍNIO E TANFLOC SG. SÃO LUÍS, 2021. DISPONÍVEL EM: LUME.UFRGS.BR. ACESSO EM: 19 JUN. 2025.

[2] FIRSTRATE SENSOR CO., LTD. FST100-DO106 DISSOLVED OXYGEN SENSOR FOR WATER TREATMENT. FIRSTRATE SENSOR. DISPONÍVEL EM: WWW.FIRSTRATESENSOR.COM. ACESSO EM: 23 JUN. 2025.

[3] HELTEC AUTOMATION. WIFI LORA 32(V2). DISPONÍVEL EM: HELTEC.ORG. ACESSO EM: 13 JUL. 2025.

[4] WEG. INVERSOR DE FREQUÊNCIA CFW300 — MICRO E MINI DRIVES. DISPONÍVEL EM: WEG.NET. ACESSO EM: 14 JUL. 2025.

[5] USINAINFO. IMAGEM DO MAX485 ESA CIRCUITO INTEGRADO SMD CONVERSOR RS485/RS422. DISPONÍVEL EM: USINAINFO.COM.BR. ACESSO EM: 14 JUL. 2025.

[6] MSS ELETRÔNICA. IMAGEM DO MÓDULO CONVERSOR RS232 TTL PARA RS485 MAX485. DISPONÍVEL EM: MSSELETRONICA.COM.BR. ACESSO EM: 14 JUL. 2025.