

Desempenho Ambiental da ETE Parque Atheneu, Goiânia-GO: Verificação da Aplicabilidade de Processo Oxidativo Avançado como Polimento do Efluente Final

Environmental Performance of the Parque Atheneu Sewage Treatment Plant, Goiânia, Goiás: Assessment of the Applicability of Advanced Oxidation Processes as a Final Effluent Polishing

Sarah A. D. Borges, Larissa Q. Silva, Genildo S. C. Junior, Elias Y. Ionashiro, Pedro L. W. Cerqueira & Núbia N. Brito

O estudo propõe a utilização de um processo oxidativo avançado (POA) com persulfato de sódio no esgoto sanitário proveniente da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Parque Atheneu, Goiânia-GO. A partir de uma análise exploratória de dados, disponibilizados pela SANEAGO, foi possível observar um valor de demanda química de oxigênio (DQO) aceitável para descarte em mananciais com média de 325,22 mg L⁻¹. Para demanda bioquímica de oxigênio (DBO), o valor médio do efluente tratado foi de 84,92 mg L⁻¹, atingindo o exigido pela legislação. A aplicação de um POA como polimento final, poderia melhorar as características do esgoto sanitário lançado em mananciais.

Palavras-chave: *estação de tratamento de esgoto; processos oxidativos avançados; remediação.*

The study proposes the use of an advanced oxidative process (AOP) with sodium persulfate for sanitary sewage from the Parque Atheneu WWTP, Goiânia-GO. From an exploratory analysis of the data provided by SANEAGO, it was possible to observe a chemical oxygen demand (COD) value acceptable for discharge into water sources, with an average of 325.22 mg L⁻¹. For biochemical oxygen demand (BOD), the average value of the treated effluent was 84.92 mg L⁻¹, meeting the legal requirements. The application of a AOP as a final polishing could improve the characteristics of sanitary sewage discharged into water sources.

Keywords: *sewage treatment plant; advanced oxidative processes; remediation.*

Introdução

O saneamento básico, direito de todo cidadão garantido pela constituição federal, consiste em um conjunto de serviços como tratamento de resíduos sólidos, esgotamento sanitário, acesso à água potável, entre outros, que são indispensáveis para que uma dada região se desenvolva social e economicamente e consiga manter áreas como a da saúde, meio ambiente, educação e economia em equilíbrio e atendendo às comunidades locais.

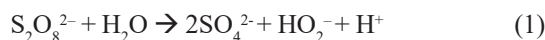
Nas leis brasileiras, a primeira menção, porém sem definição, ao termo saneamento básico, é na Constituição Federal de 1988. Apenas em 2007, com a aprovação da Lei Nacional do Saneamento Básico (LNSB), diretrizes acerca do saneamento básico no Brasil foram fixadas. De acordo com o Ranking do Saneamento realizado pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) em 2023, o nível de tratamento de esgoto sanitário no Brasil é de aproximadamente 51%.

Embora tenha havido um pequeno aumento em relação à série histórica, há ainda um desafio significativo para se cumprir as diretrizes estabelecidas pelo Novo Marco Legal do Saneamento estabelecido pela Lei Federal nº. 14026/2020, que busca cumprir a meta de alcançar o tratamento de esgoto para ao menos 90% da população urbana brasileira até o ano de 2033. As metas estabelecidas pelo marco legislativo necessitam de melhorias e difusão dos métodos de tratamento, as quais devem ser aplicáveis em larga escala para o cumprimento do objetivo de levar o acesso à água potável e ao tratamento de esgoto em todo o território nacional.¹

Dois anos após o Novo Marco Legal do Saneamento, quase 35 milhões de brasileiros ainda não tinham acesso à água potável e cerca de 100 milhões não tinham acesso à coleta do esgoto doméstico. Somente 50% de todo o esgoto doméstico coletado no território brasileiro passa por tratamento adequado, sendo que dos 20 piores municípios em relação à população atendida com água tratada e rede de esgoto, 12 se encontram nas regiões Norte (7) e Nordeste (5).²

Na comparação entre os métodos de tratamento de efluentes químico, físico e biológico, considerando os processos envolvidos, a eficiência e os custos, o tratamento químico se destaca por sua capacidade de remoção de poluentes específicos de forma controlada realizando o polimento final. A adição de coagulantes e floculantes, por exemplo, permite uma aglomeração mais eficaz de partículas suspensas, tornando-as mais fáceis de serem removidas. Além disso, a correção do pH e a adição de reagentes químicos podem facilitar a precipitação de íons metálicos e a remoção de matéria orgânica. No entanto, o tratamento químico tende a gerar resíduos químicos que requerem manuseio adequado e podem resultar em custos adicionais de disposição. A eficiência desse método é altamente dependente da seleção dos produtos químicos apropriados e das condições do efluente a ser tratado, o que demanda monitoramento e ajustes frequentes para otimização.³

Dentre várias e novas tecnologias para tratamento de efluentes, os processos oxidativos avançados (POA) vêm ganhando cada vez mais notoriedade. Eles se baseiam no uso de espécies químicas com alto potencial oxidativo para degradação de matéria orgânica e são uma ótima alternativa quando o processo de tratamento biológico não se mostra eficaz ou não é tão eficiente. Uma das espécies que pode ser utilizada para a degradação de matéria orgânica é o persulfato de sódio, em que o ânion persulfato ($S_2O_8^{2-}$) em meio básico ($pH \geq 10$) pode gerar o ânion hidroperoxila, que reage com o persulfato, gerando o radical sulfato $SO_4^{\bullet-}$ (2,6 eV) e o ânion radical superóxido $O_2^{\bullet-}$ (eq. 1 e 2).^{4,5,6,11}



Como polimento final ao esgoto sanitário pretende se aplicar o POA mencionado acima; no entanto, inicialmente será avaliado por análise exploratória/documental o desempenho da ETE Parque Atheneu e com esses resultados será possível auxiliar o poder público a desenvolver

políticas eficazes voltadas ao saneamento ambiental, bem como, fornecer informação à sociedade sobre o esgoto gerado e descartado no rio Meia Ponte.

Ademais, um polimento final possibilitaria um novo destino para o efluente tratado, como o reuso na agricultura, trazendo vantagens como menor uso e dependência de fontes de água doce, cada vez mais escassa, e de águas subterrâneas. Menor uso de fertilizantes devido à grande quantidade de nutrientes essenciais presentes em efluentes domésticos, prevenção da poluição e contribuição na recuperação de mananciais, garantindo um sistema de irrigação mais econômico e sustentável.¹⁰

Materiais e Métodos

ANÁLISE EXPLORATÓRIA DE DADOS

Inicialmente, a partir de dados cedidos pela Companhia de Saneamento de Goiás S.A. (SANEAGO), foi realizada uma pesquisa exploratória do monitoramento do sistema de tratamento do esgoto sanitário da ETE Parque Atheneu, referente ao período compreendido entre janeiro de 2020 e julho de 2022. Os principais parâmetros estudados foram: demanda bioquímica de oxigênio (DBO), turbidez, nitrogênio amoniacal e demanda química de oxigênio (DQO).

Os resultados de cada parâmetro foram agrupados em gráficos, tabelas e planilhas, calculando-se a média e limites superior e inferior e porcentagem de remoção após o tratamento biológico. A partir desse tratamento de dados, foi possível avaliar o desempenho ambiental da ETE em estudo e realizar um confronto com as legislações que regem o tratamento de esgoto sanitário no Brasil.

SISTEMA DE TRATAMENTO DA ETE PARQUE ATHENEU

A ETE Parque Atheneu iniciou suas operações em 1984, tendo sido projetada para uma vazão de 90 L s^{-1} . Atualmente, 26 setores da cidade de Goiânia contribuem para uma vazão aproximada de $82,8 \text{ L s}^{-1}$. Seu sistema, apresentado no fluxograma da Figura 1, consiste em uma fase preliminar, com gradeamento e calha *Parshall* e uma fase secundária com tratamento biológico composto por

duas lagoas aeradas. O despejo do efluente final tratado é feito no rio Meia Ponte.

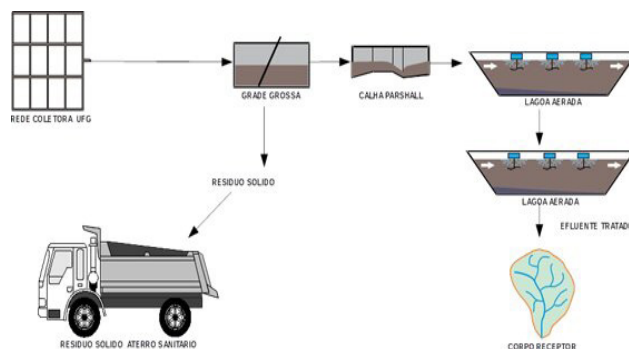


Figura 1. Fluxograma da ETE Parque Atheneu. Fonte: Relatório de monitoramento do sistema de tratamento de esgoto sanitário de Goiânia - ETE Parque Atheneu. SANEAGO, 2021. Fonte: Relatório de monitoramento do Sistema de Tratamento de esgoto sanitário de Goiânia ETE Samambaia.

O desempenho ambiental da ETE é avaliado pelo Plano de Monitoramento Laboratorial (PML), onde estão previstas análises físico-químicas, bacteriológicas e hidrobiológicas. A qualidade do efluente tratado é controlada, principalmente, pelo índice de remoção dos parâmetros DBO e sólidos sedimentáveis. O PML também prevê o monitoramento da qualidade das águas do corpo receptor. Cabe ressaltar que a localização dessa ETE, a jusante do perímetro urbano de Goiânia, dificulta os processos de autodepuração.

Resultados e Discussões

De acordo com a Sessão II da Resolução nº 430 de 2011 do CONAMA, o valor máximo permitido (VMP) de nitrogênio amoniacal total para descarte de efluentes industriais é de $20 \text{ mg L}^{-1} \text{ N}$. Para efluentes de tratamento de esgotos sanitários, a Seção III deixa claro que esse padrão não é exigível. Os resultados das análises feitas pela SANEAGO no período dos dados cedidos, expostos na Figura 2, mostra que este parâmetro excede o VMP, quando comparado com exigido para descarte de efluentes industriais, em mais de 88% das análises, com uma média $38,97 \text{ mg L}^{-1} \text{ N}$.

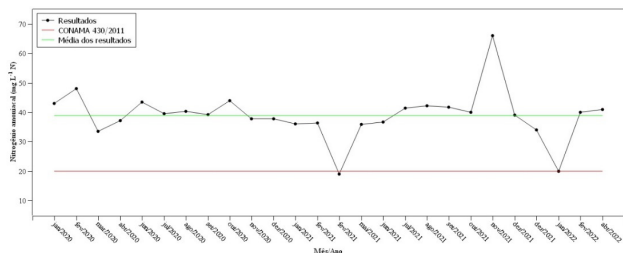


Figura 2. Resultados das análises de nitrogênio amoniacal e limite de lançamento para efluentes industriais.

O nutriente nitrogênio (N), em sua forma de nitrogênio amoniacal (NH_4^+), tem capacidade de aumentar a demanda de oxigênio de um sistema, podendo essa chegar até 4,7 g de O_2 por grama de NH_4^+ , diminuindo a quantidade de oxigênio dissolvido (OD) em corpos aquáticos e causando toxicidade à biota aquática.⁷

Em um estudo realizado em 2022, utilizando-se um tratamento baseado em adsorvente de casca de ovo calcinada, obteve-se um fator de redução de nitrogênio amoniacal menor que 30% no esgoto bruto, destacando assim a dificuldade de se obter grandes porcentagens de remoção deste nutriente.⁸

Para a análise de turbidez em um estudo realizado por Reina em 2021, utilizando a aplicação de coagulante natural produzido a partir de casca de mandioca para um tratamento de esgoto sanitário, não se obteve grande resultados para a remoção de turbidez, valores que não ultrapassaram uma média maior que 30%, mostrando assim que a turbidez é um parâmetro de grande dificuldade de remoção, pois existem diversos fatores que podem contribuir para o seu aumento durante todo o tratamento.⁹ Nesta pesquisa a média de remoção foi de 23,34%, apresentando valores acima de 100 UNT em 18 coletas das 27 analisadas (Figura 3).

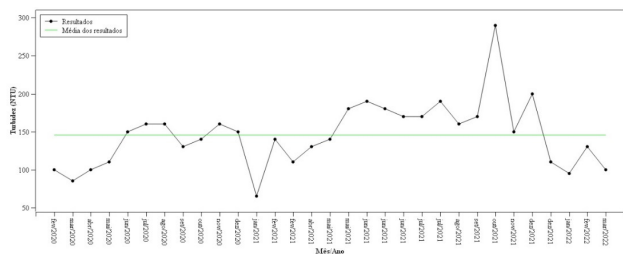


Figura 3. Resultados das análises de turbidez.

Para o parâmetro de DQO, nota-se que o efluente tratado apresentou um valor de DQO com uma média de 325,22 $\text{mg L}^{-1} \text{O}_2$ (Figura 4), entretanto, não há exigência legal para esse parâmetro. Para a DBO de 5 dias a 20°C, a CONAMA nº 430 de 2011 estabelece um valor máximo de 120 $\text{mg L}^{-1} \text{O}_2$ e o valor médio final do efluente tratado na ETE Parque Atheneu foi de 84,92 $\text{mg L}^{-1} \text{O}_2$, atingindo-se o exigido pela legislação.

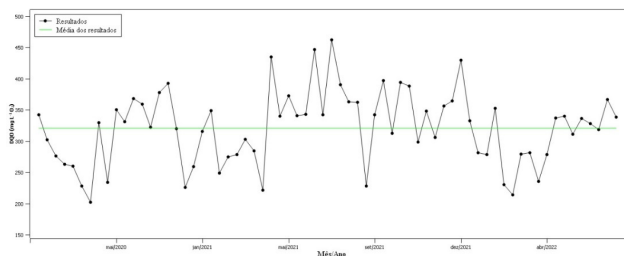


Figura 4. Resultados das análises de DQO.

A relação média DQO/DBO para esse efluente final foi de, aproximadamente, 3,82, indicando que a fração biodegradável foi de fato removida e que a maior fração pós-tratamento biológico é inerte, ou seja, não biodegradável, possibilitando a indicação de POA como polimento final para um descarte menos prejudicial ao corpo hídrico e, consequentemente, para as comunidades que dele utilizam.

Conclusão

Ao analisar os dados, legislações vigentes e estudos acerca do efeito de parâmetros como turbidez e nitrogênio amoniacal no meio ambiente, percebe-se que muitos parâmetros não são objeto de atenção das legislações ambientais, cabendo mais estudos neste aspecto.

Além disso, percebe-se a importância de estudos com essa temática para que se possa cobrar ações mais eficazes em prol da sustentabilidade ambiental. É imprescindível que o poder público se torne mais atento à essas questões, revisando o que se tem e o que é ou não exigido e buscando novas tecnologias que consigam proporcionar, à população, acesso a todas as vertentes do saneamento básico, contribuindo assim para uma sociedade mais igualitária e para uma melhor qualidade de vida.

Constatou-se, no presente trabalho, que parâmetros como nitrogênio amoniacal, turbidez e DQO, embora não sejam exigidos na legislação para o lançamento de efluentes domésticos representa uma oportunidade de aplicação de processos oxidativos avançados de tratamento.

Sendo assim, verificou-se a aplicabilidade da implementação de POA, utilizando persulfato de sódio em meio básico como polimento final, com a perspectiva de minimização dos impactos ambientais e visando uma melhoria na qualidade do efluente para o descarte em mananciais, bem como para apresentar a possibilidade de reuso do efluente tratado.

Agradecimentos

Nossos sinceros agradecimentos ao Instituto de Química-UFG pelo suporte técnico e a empresa Companhia de Saneamento de Goiás – SANEAGO – pela disponibilização dos dados.

Referências

1. FERREIRA, J. G.; GOMES, M. F. B.; DANTAS, M. W. A. Desafios e controvérsias do novo marco legal do saneamento básico no Brasil. *Brazilian Journal of Development*, v. 7, n. 7, p. 65449-65468, **2021**.
2. Senado Federal, "Estudo aponta que falta de saneamento prejudica mais de 130 milhões de brasileiros.", <https://www12.senado.leg.br/noticias/infomaterias/2022/03/estudo-aponta-que-falta-de-saneamento-prejudica-mais-de-130-milhoes-de-brasileiros>.
3. DE ARAÚJO, K. S.; ANTONELLI, R.; GAYDECZKA, B.; GRANATO, A. C.; MALPASS, G. R. P. Processos oxidativos avançados: uma revisão de fundamentos e aplicações no tratamento de águas residuais urbanas e efluentes industriais. *Revista Ambiente & Água*, v. 11, p. 387-401, **2016**.
4. CHAGAS, C. C. Processos oxidativos avançado: revisão dos POAs aplicados ao tratamento de efluentes. 2022. 87p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química), Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, **2022**.
5. MARSON, E. O.; PANIAGUA, C. E. S.; JÚNIOR, O. G.; GONÇALVES, B. R.; SILVA, V. M.; RICARDO, I. A.; STARLING, M. C. V. M.; AMORIM, C. C.; TROVÓ, A. G. A review toward contaminants of emerging concern in Brazil: Occurrence, impact and their degradation by advanced oxidation process in aquatic matrices. *Science of the Total Environment*, v. 836, p. 155605-155624, **2022**.
6. ZHOU, Z.; LIU, X.; SUN, K.; LIN, C.; MA, J.; HE, M.; OUYANG, W. Persulfate-based advanced oxidation processes (AOPs) for organic-contaminated soil remediation: A review. *Chemical Engineering Journal*, v. 372, p. 836-851, **2019**.
7. BUARQUE, P. M. C. Avaliação da remoção de micropoluentes emergentes e nitrogênio em sistemas anaeróbios e microaeróbios seguidos de filtros biológicos percoladores sujeitos à aeração natural e forçada. 2017. 167p. Dissertação (Doutorado em Engenharia Civil), Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, **2017**.
8. CAMPOS, J. G. C. Pós-tratamento de efluente de reator anaeróbio via flotação por ar dissolvido e adsorção para remoção de nitrogênio e fósforo de esgoto sanitário. 2022. 49p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitária), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, **2022**.
9. REINA, V. P.; JUNIOR, A. C. O.; TEIXEIRA, R. A.; SOUZA, F. B.; SILVA, M. C. A.; BENETTI, A. D. Avaliação da remoção de turbidez em esgoto sanitário com uso do amido da casca de mandioca como coagulante natural. VI Congresso Baiano de Engenharia Sanitária e Ambiental, p. 299-304, **2021**.
10. BRANCALIONE, L.; DEBORTOLI, E. C.; ODY, L. C. O potencial do reuso de efluente doméstico para fins agrícolas. Águas potáveis: padrões de qualidade, metodologias experimentais e técnicas de purificação. Campina Grande: Editora Amplla, 280p., p. 265-280, **2022**.
11. BERTAGI, L. T.; BASILIO, A. O.; PERALTA-ZAMORA P. Aplicações ambientais de persulfato: remediação de águas subterrâneas e solos contaminados. *Química Nova*, v. 44, no. 9, p. 1159-1167, **2021**.

Sarah A. D. Borges^{1*}, Larissa Q. Silva¹, Genildo S. C. Junior¹, Elias Y. Ionashiro¹, Pedro L. W. Cerqueira² & Núbia N. Brito¹

¹LabTar, Instituto de Química, Universidade Federal de Goiás

²Gerência de Tratamento de Esgotos - Companhia de Saneamento de Goiás S.A.

*E-mail: sarah.borges@discente.ufg.br