

III-856 – Avaliação do Impacto do AQS na Remoção do Corante RB5 em Reatores de Lodo Granular Aeróbio

Renan da Silva Xavier⁽¹⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Ceará (2020). Mestre em Engenharia Civil (Saneamento Ambiental) pela Universidade Federal do Ceará (2023). Doutorando em Engenharia Civil (Saneamento Ambiental) pela Universidade Federal do Ceará (UFC).

Plínio Tavares Barbosa⁽²⁾

Químico pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte - IFRN, Brasil (2015). Mestre em Energias Renováveis pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte - IFRN, Brasil (2015). Doutorando em Engenharia Civil (Saneamento Ambiental) pela Universidade Federal do Ceará (UFC).

André Bezerra dos Santos⁽³⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Ceará (1998) e Mestre em Engenharia Civil (Saneamento Ambiental) pela Universidade Federal do Ceará (2001). Doutor em *Environmental Sciences* (Wageningen University, Holanda, 2005). Especialista em *Ecological Sanitation* (Stockholm Environment Institute, Suécia, 2008). Professor Titular do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará (UFC).

Marcos Erick Rodrigues da Silva⁽⁴⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Ceará (2003) e Mestre em Engenharia Civil (Saneamento Ambiental) pela Universidade Federal do Ceará (2006). Doutor em Engenharia Civil (Saneamento Ambiental) na Universidade Federal do Ceará (2011). Professor do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE).

Paulo Igor Milen Firmino⁽⁵⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Ceará (2006), Mestre em Engenharia Civil (Saneamento Ambiental) pela Universidade Federal do Ceará (2009) e Doutor em Engenharia Civil (Saneamento Ambiental) pela Universidade Federal do Ceará (2013). Professor Adjunto C do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará.

Endereço⁽¹⁾: Rua Campus do Pici – Bloco 713 (1º andar) - Bairro Pici - Fortaleza - CE - CEP: 60440-900 - Brasil - Tel: (85) 99865-1021 - e-mail: renansilva.xavier@gmail.com

Endereço⁽²⁾: Rua Campus do Pici – Bloco 713 (1º andar) - Bairro Pici - Fortaleza - CE - CEP: 60440-900 - Brasil - Tel: (85) 98809-2779 - e-mail: pliniob30@hotmail.com

Endereço⁽³⁾: Rua Campus do Pici – Bloco 713 (1º andar) - Bairro Pici – Fortaleza – CE- CEP: 60400-900 - Brasil - Tel: (85) 3366-490 - e-mail: andre23@ufc.br

Endereço⁽⁴⁾: Av. Treze de Maio 2081 – Benfica – Fortaleza – CE- CEP: 60040-531 - Brasil - Tel: (85) 33073-719 - e-mail: marcoserick16@gmail.com

Endereço⁽⁵⁾: Rua Campus do Pici – Bloco 713 (1º andar) - Bairro Pici – Fortaleza – CE- CEP: 60400-900 - Brasil - Tel: (85) 3366-9623 - e-mail: igor@deha.ufc.br

RESUMO

O experimento realizado avaliou o efeito da presença do corante Reactive Black 5 e do mediador redox AQS na operação de um reator em batelada sequencial utilizando lodo granular aeróbio, tanto na remoção de cor, quanto em parâmetros como remoção de matéria orgânica e nutrientes. Os resultados do experimento mostraram que tanto o RB5 quanto o AQS não alteraram as características físicas do LGA e sua capacidade de remover matéria orgânica e nutrientes. O reator obteve remoções de cor próximas a 65%, tendo o efeito do AQS na descoloração não muito intenso, aumentando apenas ~15% a remoção.

PALAVRAS-CHAVE: Lodo Granular Aeróbio, Tratamento de Efluentes, Corantes.

INTRODUÇÃO

A indústria têxtil representa um importante setor econômico no mundo, tendo sido responsável por 1,8% das exportações mundiais em 2018. No Brasil, essa indústria tem sido bastante relevante no desenvolvimento do país. No Nordeste, o Ceará é o maior produtor e empregador, com 5,2% dos empregos no Brasil (OLIVEIRA JÚNIOR, 2020).

Assim, observou-se um crescimento na produção de efluente têxtil, por meio dos quais grandes quantidades de corantes, principalmente do grupo azo ($N=N$) (~50% da produção mundial) estão presentes.

O descarte desses efluentes representa um sério problema ambiental e de saúde pública, pois, além de afetar a estética e a transparência, muitos corantes e seus subprodutos são tóxicos, mutagênicos ou carcinogênicos (ALMEIDA et al., 2012).

Dentre os diferentes métodos de descoloração de efluentes contendo corantes, o tratamento biológico tem recebido bastante destaque (MOGHADDAM; MOGHADDAM, 2016). Entretanto, a remoção de cor de corantes por bactérias aeróbias é normalmente baixa. Por outro lado, sob condições anaeróbias, tais corantes são usualmente os únicos aceptores finais de elétrons, alcançando melhores remoções.

Conclui-se que a descoloração microbiana dos corantes azo é mais eficaz sob condições anaeróbias. Entretanto, essas condições conduzem a formação de aminas aromáticas, que são consideradas mutagênicas e tóxicas para os seres humanos, exigindo uma fase oxidativa subsequente (aeróbia) para a sua degradação.

Assim, são comuns na literatura estudos que utilizam tratamentos biológicos combinados anaeróbios/aeróbios para efluentes contendo corantes utilizando consórcios microbianos (VAN DER ZEE AND VILLAVERDE, 2005; LODATO et al., 2007).

Nesse contexto, destaca-se a tecnologia de lodo granular aeróbio como opção inovadora e promissora para o tratamento de efluentes industriais. Os grânulos aeróbios são aglomerados de microrganismos auto agregados com excelentes propriedades de sedimentação. Zonas aeróbias e anóxicas/anaeróbias podem coexistir dentro do mesmo grânulo, em resposta ao ajuste de períodos aerados e não aerados no ciclo.

Até onde se sabe, pesquisas sobre o tratamento de efluentes têxteis usando lodo granular aeróbio em reatores em bateladas sequenciais (RBS) são poucas (MUDA et al., 2010; LOURENÇO et al., 2015; LOTITO, et al., 2014; MOGHADDAM; MOGHADDAM, 2016). Além disso, poucos trabalhos têm avaliado o uso de mediadores redox com intuito de acelerar a redução do corante na fase anaeróbia.

MATERIAIS E MÉTODOS

Configuração experimental

Foram utilizados dois reatores em batelada sequencial (RBS) tubulares convencionais, confeccionados em acrílico, com 1 m de altura, 100 mm de diâmetro e 7,2 L de volume útil.

O lodo utilizado no experimento foi cultivado em laboratório, a partir do inóculo de lodo ativado de uma estação de tratamento na empresa Guararapes em Fortaleza-Ce. O lodo granular aeróbio (LGA) cultivado apresentava, inicialmente, SSV de 1,61 g/L e relação IVL 30/5 de 86,2%.

Os reatores, R1 (controle) e R2 (contendo o corante) foram alimentados com esgoto sintético contendo 2 gDQO·L⁻¹ de ácido propiônico, solução de macro e micronutrientes de acordo com ROLLEMBERG et al. (2019). Para o R2, ao esgoto sintético era adicionado 50 mg·L⁻¹ do corante azo RB5 (50%, Sigma Aldrich, EUA). A alimentação dos reatores era feita por bombas peristálticas (Masterflex L/S®, Cole-Parmer, EUA), e o descarte do efluente por eletrobombas (Mondial, Emicol, Brasil).

Procedimento experimental

Os reatores operaram com ciclo de 12 horas e tempo de detenção hidráulica (TDH) de 24 horas, sendo composto de 6 horas de fase anaeróbia seguido de 6 horas de fase aeróbia. Foram feitas análises diárias de cor para avaliar a remoção e análises a cada dois dias de DQO, OD, pH, ORP e condutividade e íons.

O experimento foi conduzido em duas etapas. Na primeira (Etapa I), os reatores R1 e R2 foram alimentados com o efluente sintético sem a presença do mediador redox AQS. Na Etapa II, introduziu-se à composição dos efluentes sintéticos o AQS com concentração de 50 µM, com o intuito de avaliar seu impacto no desempenho da tecnologia de LGA na redução do corante azo RB5 e na estabilidade operacional dos reatores. Vale ressaltar que o reator controle (R1) é fundamental para evidenciar os efeitos da presença do

corante RB5 quanto à estabilidade dos grânulos do LGA e no seu desempenho na remoção de DQO e nutrientes no reator R2.

Nitrito, nitrato e fosfato foram determinados pelo método descrito por Oliveira Júnior (2020). As análises de OD, pH, ORP e condutividade elétrica foram feitas em sonda multiparamétrica, e a DQO foi feita de acordo com o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012).

RESULTADOS

Foram adotados dois reatores: R1, controle, e R2, que foi suplementado com RB5 a $50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$. Os reatores LGA foram operados por 42 dias, sendo dividido em duas etapas: 21 dias sem a presença do mediador redox, compreendendo a primeira etapa, seguido de mais 21 dias, com a presença do AQS, compreendendo a segunda etapa (Fig. 1).

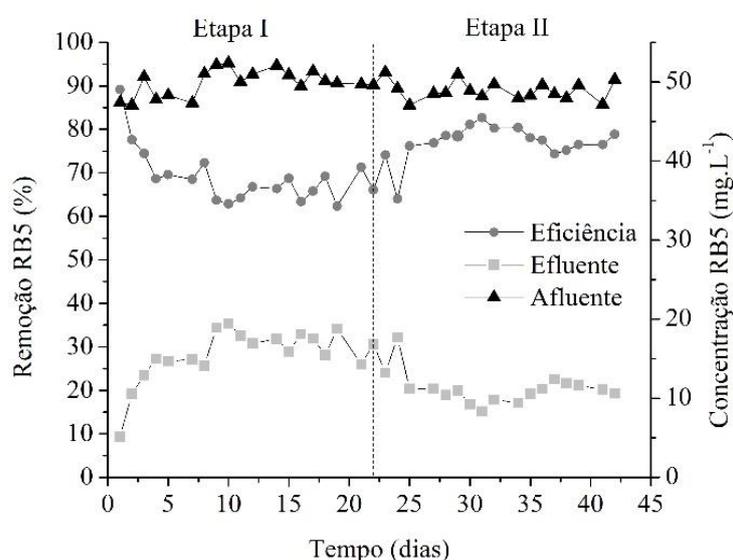


Figura 1: Remoção do corante RB5 no reator 2 em ambas as etapas ao longo do experimento contínuo.

A remoção do corante no R2 começou alta (89,2%). No entanto, passados 5 dias de operação, a remoção caiu para cerca de 65%, se mantendo próximo a esse valor até o fim da etapa (Fig. 1). Essa elevada eficiência de remoção pode ser explicada pela adsorção do RB5 no início do experimento.

Os resultados obtidos neste experimento foram piores do que os de Silva et al. (2012b), que utilizaram um reator UASB com TDH de 12 h para tratar efluente sintético contendo $200 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ de RB5 e etanol como substrato ($1000 \text{ mg DQO} \cdot \text{L}^{-1}$), obtendo eficiências de remoção de cor de 75% mesmo para uma concentração de corante quatro vezes maior que a utilizada no presente trabalho. Entretanto, é importante destacar que o TDH do reator UASB (12 h) foi consideravelmente maior que o período anaeróbio (enchimento + reação) adotado em R2 (6 h). Assim, o menor período anaeróbio pode ter sido uma das causas da má remoção de cor de um corante recalcitrante como o RB5.

Na segunda etapa (adição de AQS), houve um aumento substancial na remoção de cor, atingindo valores próximos a 80% (Fig. 1). Considerando as condições operacionais estáveis entre as duas etapas, houve um incremento de quase 15% na remoção do RB5 com a presença do mediador. Além disso, destaca-se a estabilidade proporcionada por sua presença, pois o desvio padrão na etapa II foi menor do que no Estágio I.

Com relação à estabilidade dos grânulos, o IVL variou significativamente, com valores máximos próximos a 0,90 e valores mínimos próximos a 0,55 (Fig. 2). Entretanto, esse comportamento aconteceu nos dois reatores e provavelmente não está vinculado a presença de corante ou AQS. Esses resultados são semelhantes com outros trabalhos que adotaram LGA para tratar efluentes contendo corantes em concentrações próximas à utilizada neste experimento ($50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$), pois também não identificaram efeitos tóxicos ao longo do tempo ao grânulo (Moghaddam e Moghaddam, 2016; Mata et al., 2015).

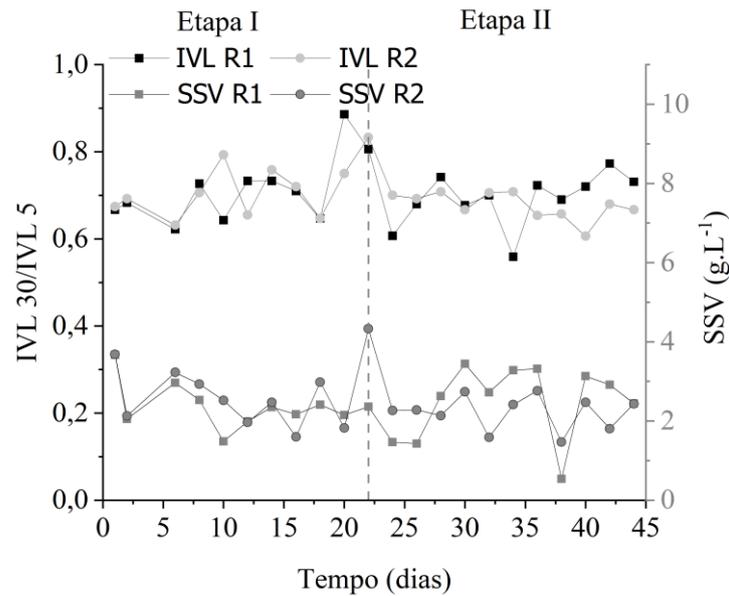


Figura 2: IVL e SSV dos reatores em ambas as etapas ao longo do experimento contínuo.

O segundo reator apresentou uma elevada e estável remoção de DQO, semelhante ao do primeiro reator (> 90%) ao longo do experimento (Tabela 1), indicando que tanto o RB5 quanto o mediador não inibiram a capacidade do LGA de remover a matéria orgânica.

Com relação ao nitrogênio, a remoção de amônia foi, em média, 98%, valor que se deu nos dois reatores. Entretanto, a remoção total de nitrogênio continuou abaixo de 80%, pois houve acúmulo de nitrato em ambos os reatores de forma parecida em ambas as etapas (Tabela 1). Portanto, o impacto do RB5 ou AQS na nitrificação e desnitrificação do sistema não foi tão claro.

Com relação à remoção de fósforo, baixas eficiências (< 30%) foram alcançadas nas Etapas I e II nos dois reatores (Tabela 1). Portanto, este processo provavelmente não foi afetado pelo RB5 ou pelo mediador redox, muito possivelmente pelo alto tempo de retenção de sólidos (TRS) dos sistemas, uma vez que não foi adotado um protocolo de retirada de lodo para controlar este parâmetro. Outros trabalhos indicam que é importante manter um baixo TRS, próximo a 15 dias (Castellanos et al., 2021), para se obter uma boa eficiência de remoção de fósforo.

Tabela 1: Valores médios da remoção de corante, matéria orgânica e nutrientes dos reatores.

Etapa	Reator	Etapa I		Etapa II	
		R1	R2	R1	R2
	Duração (dias)	21	21	21	21
RB5	Afluente (mg·L ⁻¹)	-	50,2±1,5	-	49,9±1,2
	Efluente (mg·L ⁻¹)	-	16,4±2	-	11,5±1,1
	Eficiência de remoção (%)	-	67,4±3,6	-	77,0±4,1
DQO	Afluente (mg·L ⁻¹)	2019,5±48,6	2096,4±98,2	1912,6±164,4	1887,7±159,5
	Efluente (mg·L ⁻¹)	113,9±36,5	129,0±55,9	71,4±56,0	106,1±42,3
	Eficiência de remoção (%)	94,4±1,8	93,9±2,6	96,3±3,0	94,4±2,1
Nitrogênio	NH ⁴⁺ -N afluente (mg·L ⁻¹)	61,5±6,8	60,6±6,7	61,6±19,4	62,7±19,7
	NH ⁴⁺ -N efluente (mg·L ⁻¹)	0,9±0,6	1,5±0,4	0,9±0,8	0,9±0,41
	NO ₂ ⁺ -N efluente (mg·L ⁻¹)	3,3±0,1	4,4±1,2	3,4±1,5	3,4±1,6
	NO ₃ ⁺ -N efluente (mg·L ⁻¹)	11,2±1,5	12,3±1,7	11,4±3,4	11,7±1,7
	Eficiência de	75,0±3,0	71,0±4,0	76,0±2,0	74,0±4,0

		remoção (%)			
Fósforo	PO ₄ ³⁻ -P afluente (mg·L ⁻¹)	9,6±1,2	10,3±0,9	10,0±0,7	10,4±0,2
	PO ₄ ³⁻ -P efluente (mg·L ⁻¹)	8,5±0,6	8,8±2,9	7,8±0,3	8,8±0,4
	Eficiência de remoção (%)	16,6±9,2	14,8±4,8	20,7±6,5	15,1±3,9

NH₄⁺-N, amônio; NO₂⁻-N, nitrito; NO₃⁻-N, nitrato; PO₄³⁻-P, fosfato.

O desvio padrão é apresentado em parênteses.

CONCLUSÕES

Os resultados desse estudo mostraram que a presença do corante RB5 e do mediador redox AGS não alteraram as características físicas dos grânulos do LGA operado em fluxo contínuo.

Com relação ao desempenho operacional, não foi observado qualquer efeito da presença do corante e do mediador redox na capacidade de remoção de matéria orgânica e nutrientes através da tecnologia de LGA.

Finalmente, os estudos evidenciaram o efeito do mediador redox AQS na remoção do corante azo RB5 com incremento de ~15% na eficiência média.

Agradecimentos

Os autores agradecem as seguintes instituições brasileiras: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior; Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, em especial Edital Universal CNPQ Processo Nº 431583/2018-8; Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais; e Instituto Nacional de Ciência, e Tecnologia em Estações Sustentáveis de Tratamento de Esgoto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, D. G.; SILVA, M. G. C.; MIRANDA, R. C. M.; MACIEL, C. C. S.; GUSMÃO, N. B. Descoloração do corante Índigo Carmim e produção de Lacase por fungos filamentosos. *Scientia Plena*, [s. l.], 3 maio 2012.
- APHA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22nd ed. Amer Public Health Ass, Washington, DC, USA, 2012.
- Castellanos, R. M., Dias, J. M. R., Bassin, I. D., Dezotti, M., Bassin, J. P. Effect of sludge age on aerobic granular sludge: Addressing nutrient removal performance and biomass stability. *Process Safety and Environmental Protection* 149, 212-222, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2020.10.042>
- LODATO, A.; ALFIERI, F.; OLIVIERI, G.; DONATO, A. Di; MARZOCHELLA, A.; SALATINO, P. Azo-dye conversion by means of *Pseudomonas* sp. OX1. *Enzyme and Microbial Technology*, [s. l.], v. 41, ed. 5, p. 646-652, 2007.
- LOTITO, Adriana Maria; SANCTIS, Marco De; IACONI, Claudio Di; BERGNA, Giovanni. Textile wastewater treatment: Aerobic granular sludge vs activated sludge systems. *Water Research*, [s. l.], v. 54, ed. 1, p. 337-346, 2014.
- LOURENÇO, N.D.; FRANCA, R.D.G.; MOREIRA, M.A.; GIL, F.N.; VIEGAS, C.A.; PINHEIRO, H.M. Comparing aerobic granular sludge and flocculent sequencing batch reactor technologies for textile wastewater treatment. *Biochemical Engineering Journal*, [s. l.], v. 104, ed. 15, p. 57-63, 2015.
- Mata, A. M. T., Pinheiro, H. M., Lourenço, N. D.. Effect of sequencing batch cycle strategy on the treatment of a simulated textile wastewater with aerobic granular sludge. *Biochemical Engineering Journal*, 104, 106-114, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2015.04.005>
- MOGHADDAM, Shabnam Sadri; MOGHADDAM, Mohammad Reza Alavi. Aerobic Granular Sludge for Dye Biodegradation in a Sequencing Batch Reactor With Anaerobic/Aerobic Cycles. *Clean - Soil, Air, Water*, [s. l.], v. 44, ed. 4, p. 438 - 443, 2016.
- MUDA, Khalida; ARIS, Azmi; SALIM, Mohd Razman; IBRAHIM, Zaharah; YAHYA, Adibah; VAN LOOSDRECHT, Mark C.M.; AHMADA, Azlan; NAWAHWI, Mohd Zaini. Development of granular sludge for textile wastewater treatment. *Water Research*, [s. l.], v. 44, ed. 15, p. 4341-4350, 2010.

10. OLIVEIRA, Jean M.S.; DAMIANOVIC, Márcia H.R.Z.; FORESTI, Eugênio. Two-stage anaerobic digestion system for biotransformation of an azo dye in the presence of sulfate: Minimizing competition for reducing equivalents. *Journal of Water Process Engineering*, [s. l.], 2022.
11. OLIVEIRA JÚNIOR, José Kleber Sousa. Efeito Do Corante Azo Reactive Black 5 No Processo De Granulação Aeróbia Em Reator Em Batelada Sequencial. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Ceará, [S. l.], 2020.
12. ROLLEMBERG, S. L. S. et al. Effects of carbon source on the formation, stability, bioactivity and biodiversity of the aerobic granule sludge. *Bioresource Technology*, v. 278, n. January, p. 195–204, 2019.
13. VAN DER ZEE, Frank P; VILLAVERDE, Santiago. Combined anaerobic-aerobic treatment of azo dyes--a short review of bioreactor studies. *Water Research*, [s. l.], 2005.