

INFLUÊNCIA DA RECIRCULAÇÃO DE EFLUENTE NO COMPORTAMENTO DE UM REATOR DE LEITO ESTRUTURADO APLICADO AO TRATAMENTO DE EFLUENTES GERADOS NA INDÚSTRIA DE LATICÍNIOS

Edgar Augusto Aliberti¹

Kátia Valéria Marques Cardoso Prates²

Camila Zoe Correa³

Ajadir Fazolo⁴

Deize Dias Lopes⁵

Gerenciamento de Resíduos Sólidos e Líquidos

Resumo

O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência da recirculação de efluente no comportamento de um reator de leito estruturado quanto a remoção de matéria orgânica e nitrogênio de águas residuárias geradas na indústria de laticínios. Utilizou-se um reator construído em acrílico em escala de bancada com volume total de 2,27 L e volume útil de 1,62 L. O leito estruturado foi composto por quatro estruturas cilíndricas de espuma de poliuretano fixadas no interior do reator. O reator foi operado com duas fases experimentais: Fase I sem recirculação de efluente e Fase II com recirculação de efluente a uma taxa de três vezes a vazão de entrada. O tempo de detenção hidráulico (TDH) foi mantido em 16h. O monitoramento foi realizado por meio de análises de pH, Demanda Química de Oxigênio (DQO), nitrogênio amoniacal ($N-NH_4^+$), nitrito ($N-NO_2^-$), nitrato ($N-NO_3^-$) e Nitrogênio Kjeldahl Total (NKT). Obteve-se na Fase I remoções de DQO_T , DQO_F , NKT e nitrogênio total (NT) de $88\pm 5\%$, $85\pm 15\%$, $81\pm 8\%$ e $57\pm 21\%$, respectivamente. Mesmo não havendo diferença significativa entre os parâmetros de DQO_T , DQO_F e NKT, a Fase II apresentou melhores resultados com eficiências de remoção de $90\pm 10\%$, $86\pm 8\%$ e $82\pm 6\%$, respectivamente, no entanto para a remoção de NT houve diferença significativa, onde a Fase II apresentou uma remoção de $78\pm 9\%$. Desta forma, concluiu-se que o sistema operado com recirculação de efluente proporcionou um aumento nas eficiências de remoção, demonstrando ser vantajoso principalmente para a remoção de NT e promoção de um ambiente estável e favorável para processos combinados.

¹Alunodo Curso de Mestrado em Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná-Campus Londrina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, edgaraliberti@alunos.utfpr.edu.br.

²Profa. Dra., Universidade Tecnológica Federal do Paraná-Campus Londrina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, kvprates@gmail.com.

³Aluna do Curso de Doutorado em Engenharia Civil, Universidade Estadual de Londrina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, camila.z.correa@gmail.com.

⁴Prof. Dr., Universidade Tecnológica Federal do Paraná-Campus Londrina, Departamento de Engenharia Ambiental, afazolo@utfpr.edu.br.

⁵Profa. Dra., Universidade Estadual de Londrina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, deizeuel@gmail.com.

INTRODUÇÃO

Tratar águas residuais provenientes de indústrias é uma grande preocupação na questão de proteção ao meio ambiente, principalmente se for levado em conta o número de indústrias e as grandes quantidades de efluentes geradas. As indústrias requerem enorme quantidade de água para processamento, além de produzir efluentes que na maioria dos casos são prejudiciais para as pessoas e principalmente para o meio ambiente (Deblonde et al., 2011; Santhosh et al., 2016).

Uma das grandes produtoras de águas residuais são as indústrias de laticínios, especialmente devido à limpeza das suas instalações (Martínez-Suller et al., 2010). Esses efluentes são derivados de várias unidades de processamento, incluindo lavagem, sanitização e várias etapas na fabricação de produtos. No entanto, suas propriedades físicas e químicas dependem do setor de alimentos, variando de acordo com o tipo e a quantidade do produto (Gough et al., 2000; Martínez-Suller et al., 2010). Além disso, são caracterizados por alta Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO), pH variante, alto teor de nitrogênio amoniacal, bem como resíduos de produtos químicos utilizados na limpeza e desinfecção (Cannon et al., 2000; Martínez-Suller et al., 2010; Kushwaha et al., 2011)

Devido essas características, há dificuldade de tratar completamente as águas residuárias. Com isso, é essencial o desenvolvimento de processos eficientes para degradar os compostos dessa água residuária de forma adequada, minimizando as concentrações de matéria orgânica e nitrogênio, de forma a cumprir as leis ambientais (Gogate e Pandit, 2004). Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2017) o Brasil é um dos maiores produtores de leite no âmbito mundial, fazendo-se necessário, portanto, buscar novos métodos de tratamento.

Atualmente, os processos biológicos para tratar águas residuárias se mostram promissores, pois têm apresentado resultados satisfatórios na remoção de matéria orgânica e nutrientes em sistemas que utilizam apenas um reator, como os reatores de leito estruturado de fluxo contínuo (Correa et al., 2018; Wosiack et al., 2015).

Devido ao aumento na utilização de produtos lácteos (Daneshvar et al., 2019) e aos resultados que essa configuração de reator vem apresentando, o reator de leito estruturado de fluxo contínuo pode ser utilizado como uma alternativa no tratamento de efluentes

gerados na indústria de laticínios quanto a eficiência de remoção de matéria orgânica e nitrogênio quando operado sob aeração intermitente com e sem recirculação, o que torna o sistema mais viável em termos de economia de energia.

Portanto, objetivou-se com esse trabalho avaliar a influência da recirculação no comportamento de um reator de leito estruturado quanto a remoção de matéria orgânica e nitrogênio de efluentes gerados na indústria de laticínios.

METODOLOGIA

Nesta pesquisa foi utilizado um sistema de tratamento em escala de bancada, sendo formado por um reator de formato cilíndrico construído em acrílico com volume total de 2,27 L e volume útil de 1,62 L. O leito estruturado foi composto por quatro estruturas cilíndricas de espuma de poliuretano utilizadas como material suporte, sendo fixadas por hastes de ferro no interior do reator, equivalendo a 0,45 L do volume total. Seguindo o que foi proposto por Van Haandel e Lettinga (1994) aproximadamente 10% do volume total do reator foi preenchido por lodo, o que correspondeu 0,20 L do volume total.

Para alimentação do sistema utilizou-se um efluente oriundo de uma indústria de laticínios situada na região norte do Paraná que dentro do seu processo produtivo produz leites, queijos e iogurtes. O efluente foi coletado após o sistema de flotação da própria estação de tratamento de efluentes da indústria. A coleta ocorria quinzenalmente e o efluente era acondicionado em galões e armazenado em geladeira (4°C) para que não ocorresse alteração em suas características até a utilização.

O sistema foi operado sob fluxo contínuo e aeração intermitente com ciclos de aeração de 2h aerando e 1h não aerando. O tempo de detenção hidráulico (TDH) foi de 16h e a temperatura de 28°C. Foram trabalhadas duas fases experimentais, sendo a Fase I operada sem recirculação de efluente e a Fase II com recirculação de efluente a uma taxa de 3 vezes a vazão de entrada ($Q_r = Q_e \times 3$).

Foram realizadas análises físico-químicas para monitoramento do sistema de tratamento, sendo essas realizadas tanto no afluente quanto no efluente de acordo com as

metodologias descritas no Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (APHA, 2012). No laboratório de Hidráulica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - *Campus* Londrina foram realizadas as análises de pH, Demanda Química de Oxigênio (DQO) e nitrogênio amoniacal (N-NH_4^+). E no laboratório de Hidráulica e Saneamento da Universidade Estadual de Londrina foram realizadas análises de nitrito (N-NO_2^-), nitrato (N-NO_3^-) e Nitrogênio Kjeldahl Total (NKT).

As eficiências de remoção de NKT, DQO_T e DQO_F foram calculadas com base nas concentrações afluentes e efluentes dos respectivos parâmetros. No cálculo dos percentuais de desnitrificação, de remoção de Nitrogênio Total (NT) e remoção de NKT foram consideradas as equações propostas por Barana et al. (2013). A análise estatística dos dados foi feita utilizando o software Excel 2019, onde utilizou-se o teste de hipótese teste t-Student com um nível de significância de $\alpha = 0,05$ ($p\text{-valor} < 0,05$), para amostras dependentes.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de pH afluentes ao sistema foram diferentes estatisticamente entre as Fases I e II, sendo $6,8 \pm 0,4$ e $7,5 \pm 0,6$, respectivamente. No entanto, os pH efluentes foram semelhantes estatisticamente e superiores aos de entrada em ambas as fases $8,3 \pm 0,3$ para fase I e $8,4 \pm 0,5$ para a fase II. Provavelmente, esse aumento se deve a geração de alcalinidade no sistema, o que pode ser confirmado por Metcalf & Eddy (2015) e Bitton (2005), que descreveram que conforme os compostos nitrogenados são biodegradados nos sistemas aeróbicos ou anaeróbicos há um aumento da alcalinidade, o que mantém o pH estável. Ainda, percebe-se que o pH da Fase II foi levemente superior ao da Fase I, isso pode estar associado a recirculação do efluente, que faz com que o pH da mistura na entrada do reator seja mais elevado.

As concentrações médias afluente e efluente para DQO_T , DQO_F e NKT, bem como as eficiências de remoção desses parâmetros são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Concentrações médias afluentes, efluentes e percentual de remoção de DQO_T, DQO_FeNKTobtidos nas fases trabalhadas.

Fase	DQO _T (mg.L ⁻¹)		DQO _F (mg.L ⁻¹)		NKT (mg.L ⁻¹)		Eficiência de Remoção (%)		
	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	DQO _T	DQO _F	NKT
I	811±336	91±38	595±236	86±86	30±5	6±2	88±5 ^a	85±15 ^a	81±8 ^a
II	1051±632	62±31	431±334	44±16	25±0	5±2	90±10 ^a	86±8 ^a	82±6 ^a

Nota¹: Letras iguais nas colunas resultam em equivalência estatística dos valores ao nível de 5% de significância.

Fonte: Autoria própria.

Observando a Tabela 1, nota-se que as médias de remoção de DQO_T, DQO_FeNKT não apresentaram diferença significativa entre as fases, sendo superiores a 88% para a DQO_T, 85% para DQO_F e 81% para NKT. Mesmo não havendo diferença significativa, as médias de remoção na Fase II foram superiores as da Fase I. Como todos esses processos ocorrem concomitantemente uma hipótese válida para explicar tal fato é apresentada por Almeida et al. (2018), onde os autores descrevem que a recirculação pode facilitar a transferência de massa, além de promover a diluição de NH₄⁺, NO₂⁻ e NO₃⁻, resultando portanto, em uma capacidade de manter o sistema estável, conseqüentemente, melhorar os processos combinados.

O trabalho de Moura et al. (2018) apresenta resultados semelhantes ao presente trabalho. Os autores utilizaram um reator de leito estruturado submetido a recirculação de três vezes a vazão de entrada e aeração intermitente para tratar esgoto doméstico. Para remoção de DQO, NT e NKT, obtiveram remoções superiores a 90%, 69% e 77%, respectivamente, quando o sistema foi operado com ciclos de aeração intermitente de 2/1.

Os resultados das concentrações de N-NH₄⁺, N-NO₂⁻ e N-NO₃⁻, bem como as eficiências de desnitrificação e de remoção de NT podem ser vistos na Tabela 2.

Tabela 2 - Concentrações de N-NH_4^+ , N-NO_2^- e N-NO_3^- e eficiência de desnitrificação e de remoção de NT obtidos em ambas as fases.

Fase	N-NH_4^+ (mg.L^{-1})		N-NO_2^- (mg.L^{-1})	N-NO_3^- (mg.L^{-1})	Eficiência (%)	
	Afluente	Efluente	Efluente	Efluente	Desnitrificação	Remoção de NT
I	0,5±1,7	0,3±1,1	0,5±0,7	5,7±4,7	70±23 ^a	57±21 ^a
II	3,5±2,5	0,0±0,0	0,1±0,0	0,9±1,0	95±5 ^b	78±9 ^b

Nota¹: Letras iguais nas colunas resultam em equivalência estatística dos valores ao nível de 5% de significância.

Fonte: Autoria própria.

Com a Tabela 2, nota-se que não houve equivalência estatística nas fases trabalhadas para os resultados de eficiência de desnitrificação e remoção de NT, onde a Fase II apresentou maior eficiência. De acordo com os dados de Moura et al. (2018) uma possível explicação para a melhor eficiência na Fase II, é que a recirculação e a aeração intermitente promovem uma mistura ideal dentro do reator. O trabalho dos autores apresentou ainda eficiências de desnitrificação superiores a 89%. O que mostra que a recirculação promove uma melhoria no tratamento de águas residuárias, deixando um ambiente propício para os microrganismos trabalharem em conjunto.

Comparando os resultados obtidos no presente trabalho com os resultados do trabalho de Netto e Zaiat (2012), onde utilizaram um sistema com biomassa imobilizada em espuma de poliuretano e recirculação de efluente no tratamento de esgoto doméstico, notou-se que os autores obtiveram melhores resultados de remoção de NT (55%) e DQO (92%) quando o sistema foi operado com uma razão de recirculação igual a três vezes a vazão afluente em comparação com os resultados quando não houve recirculação, 21% e 91% para NT e DQO, respectivamente.

CONCLUSÕES ou CONSIDERAÇÕES FINAIS

O reator de leito estruturado quando operado sob aeração intermitente e com recirculação de efluente apresentou altas eficiências de remoção de DQO_T , DQO_F e NT, 90%, 86% e 78%, respectivamente, resultando em um efluente final com características

totalmente diferentes. Como a recirculação interferiu diretamente nos processos de nitrificação e desnitrificação simultâneos, essa configuração poderia de fato ser aplicada para o tratamento de águas residuárias de laticínios, pois levaria a redução dos custos de construção e operação quando comparados aos sistemas convencionais.

Do exposto, pode-se concluir que o sistema operado com recirculação de efluente interferiu nas eficiências de remoção, demonstrando ser vantajoso principalmente para a remoção de nitrogênio total e promoção de um ambiente estável e favorável para processos combinados.

A GRADECIMENTOS

Este estudo foi financiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior -CAPES juntamente com a Pró-reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação da Universidade Tecnológica Federal do Paraná-Campus Londrina (UTFPR-PROPPG).

R REFERÊNCIAS

ALMEIDA, R. G. B. et al. Nitrogen removal by simultaneous partial nitrification, anammox and denitrification (SNAD) in a structured-bed reactor treating animal feed processing wastewater: Inhibitory effects and bacterial community. **International biodeterioration & biodegradation**, v. 133, p. 108-115, 2018.

APHA; AWWA; WEF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 22 ed. Washington, DC: APHA, 2012.

BARANA, A. C. et al. Nitrogen and organic matter removal in an intermittently aerated fixed-bed reactor for post-treatment of anaerobic effluent from a slaughterhouse wastewater treatment plant. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 1, n.

3, p. 453-459, 2013.

CANNON, A. D. et al. SE—structures and environment: pilot-scale development of a bioreactor for the treatment of dairy dirty water. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 77, n. 3, p. 327-334, 2000.

CORREA, C. Z. et al. Nitrification/denitrification of real municipal wastewater in an intermittently aerated structured bed reactor. **Journal of Water Process Engineering**, v. 23, p. 134-141, 2018.

DANESHVAR, E. et al. Sequential cultivation of microalgae in raw and recycled dairy wastewater: microalgal growth, wastewater treatment and biochemical composition. **Bioresource technology**, v. 273, p. 556-564, 2019.

DEBLONDE, T. et al. Emerging pollutants in wastewater: a review of the literature. **International journal of hygiene and environmental health**, v. 214, n. 6, p. 442-448, 2011.

GOGATE, P. R.; PANDIT, A. B. A review of imperative technologies for wastewater treatment I: oxidation technologies at ambient conditions. **Advances in Environmental Research**, v. 8, n. 3-4, p. 501-551, 2004.

GOUGH, R. H. et al. Prediction of effluent biochemical oxygen demand in a dairy plant SBR wastewater system. **Journal of Environmental Science & Health Part A**, v. 35, n. 2, p. 169-175, 2000.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção da Pecuária Municipal 2016**. 2017.

KUSHWAHA, J. P.; et al. An overview of various technologies for the treatment of dairy

wastewaters. **Critical reviews in food science and nutrition**, v. 51, n. 5, p. 442-452, 2011.

MARTÍNEZ-SULLER, L. et al. The composition of dirty water on dairy farms in Ireland. **Irish Journal of Agricultural and Food Research**, p. 67-80, 2010.

MOURA, R. B. et al. Carbon-nitrogen removal in a structured-bed reactor (SBRRIA) treating sewage: Operating conditions and metabolic perspectives. **Journal of environmental management**, v. 224, p. 19-28, 2018.

NETTO, A. P. O.; ZAIAT, M. Treatment of Domestic Sewage in an Anaerobic–Aerobic Fixed-bed Reactor with Recirculation of the Liquid Phase. **CLEAN–Soil, Air, Water**, v. 40, n. 9, p. 965-971, 2012.

SANTHOSH, C. et al. Role of nanomaterials in water treatment applications: a review. **Chemical Engineering Journal**, v. 306, p. 1116-1137, 2016.

VAN HAANDEL, A. C.; LETTINGA, G. **Anaerobic sewage treatment: a practical guide for regions with a hot climate**. John Wiley & Sons, 1994.

WOSIACK, P. A., et al. Removal of COD and nitrogen from animal food plant wastewater in an intermittently-aerated structured-bed reactor. **Journal of environmental management**, v. 154, p. 145-150, 2015.