



RBES

Revista Brasileira de
Engenharia e Sustentabilidade

ISSN 2448-1661

Pelotas, RS, UFPel-Ceng

<https://periodicos.ufpel.edu.br/ojs2/index.php/RBES/index>

v.8, n.1, p.26-33, jul. 2020

REATORES EM BATELADAS SEQUENCIAIS VISANDO NITRIFICAÇÃO/ DESNITRIFICAÇÃO SIMULTÂNEAS DE ESGOTO SINTÉTICO SOB BAIXA RELAÇÃO CARBONO/NITROGÊNIO

MEZZOMO, L. F.¹; NETTO, A. P. O.¹

¹Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento, Universidade Federal de Alagoas.

Palavras-chave: sistemas de biofilme, fluxo descontínuo, fonte de carbono, remoção de nitrogênio.

Resumo

A nitrificação e desnitrificação simultânea é um processo biológico inovador que minimiza a energia necessária para fornecimento de oxigênio, reduzindo a adição de fonte de elétrons. Este processo é aplicado a sistemas de biofilme de batelada sequencial e algumas de suas condições operacionais vem sendo testadas para a remoção máxima. Este trabalho avaliou a remoção de nitrogênio de esgoto sanitário sintético por meio do processo conhecido como nitrificação e desnitrificação simultânea (NDS) em sistema de reator de biofilme de batelada sequencial operado em concentrações afluentes específicas de carbono e nitrogênio (baixa relação C/N) e condições ambientais favoráveis. Foram investigadas diferentes combinações de alcalinidade e nitrogênio com testes de 32 ciclos de 6h (com aeração de 4,5h) e nesse período foram realizadas análises para verificação das eficiências de remoção de carbono e nitrogênio como também a avaliação de adesão microbiana. As condições ambientais indicadas para o processo foram mantidas durante toda a operação. Com a relação carbono/nitrogênio média de 5,3, obteve-se eficiência de remoção de demanda química de oxigênio entre 62 e 84% e remoção de nitrogênio total de 14 a 34%. As eficiências de nitrificação e desnitrificação obtidas foram baixas, mas indicaram que não houve limitação do processo por indisponibilidade de doadores de elétrons. Por fim, a eficiência de remoção de demanda química de oxigênio mostrou-se, pela regressão múltipla, relacionada com a relação carbono/nitrogênio afluente, enquanto a eficiência de remoção de nitrogênio total sofreu forte influência da demanda química de oxigênio e da alcalinidade.

SEQUENCING BATCH REACTORS FOR SIMULTANEOUS NITRIFICATION AND DENITRIFICATION OF SYNTHETIC WASTEWATER UNDER LOW CARBON/NITROGEN RATIO

Keywords: biofilm systems, discontinuous flow, carbon source, nitrogen removal

Abstract

Simultaneous nitrification and denitrification is an innovative biological process that minimizes the energy needed to supply oxygen and avoids power source power. This process is applied to sequential batch biofilm systems and some of its pilot variables are being tested for maximum performance. This work evaluated the nitrogen removal from synthetic domestic sewage through the process known as simultaneous nitrification and denitrification (SND) in a sequential batch biofilm reactor system operated at specific affluent concentrations of carbon and nitrogen (low C / N ratio) and favorable environmental conditions. Different combinations of alkalinity and nitrogen were investigated with tests of 32 cycles of 6h (with aeration of 4.5h) and in that period analyzes were carried out to for the verification of the removal efficiencies of carbon and nitrogen as well as the evaluation of microbial adhesion. The environmental conditions indicated for the process were maintained throughout the operation. With the average carbon/nitrogen ratio of 5.3, a removal efficiency of chemical oxygen demand between 62 and 84% and total nitrogen removal of 14 to 34% was obtained. The nitrification and denitrification efficiencies obtained were low, but indicated that there was no limitation of the process due to unavailability of electron donors. Finally, the efficiency of removing chemical oxygen demand was shown to be related to the carbon/nitrogen ratio, while the total nitrogen removal efficiency was strongly influenced by chemical oxygen demand and alkalinity.

INTRODUÇÃO

Quanto maior a demanda hídrica mundial maiores serão os volumes produzidos, e rejeitados, sem nenhum tipo de tratamento, de águas residuárias. Desta forma, os riscos ambientais atribuídos a esses despejos são referentes aos componentes presentes: matéria orgânica, sólidos, macronutrientes como o nitrogênio, microrganismos e poluentes específicos (CAO et al., 2017). Os processos de remoção biológica de nitrogênio apresentam vantagens econômicas e vêm avançando a fim de minimizar a energia necessária para fornecimento de oxigênio no processo de nitrificação e evitam ou reduzem a adição de fonte de externa de carbono na etapa de desnitrificação.

A nitrificação e desnitrificação simultânea (NDS) baseia-se na remoção biológica de nitrogênio, onde os processos de nitrificação e desnitrificação ocorrem sem separação, nas mesmas condições operacionais e ao mesmo tempo (GUERRERO et al., 2013).

Segundo Metcalf e Eddy (2003), as bactérias dos gêneros Nitrosomonas, Nitrosococcus, Nitrospira, Nitrosolobus e Nitrosovibrio participam da primeira etapa da nitrificação, que é a nitrificação. E durante a segunda etapa da nitrificação, também chamada de nitratação, são envolvidos os gêneros Nitrobacter, Nitrococcus, Nitrospira, Nitrospina e Nitrocystis.

Os principais gêneros de bactérias heterotróficas envolvidas no processo de desnitrificação são: Achromobacter, Acinetobacter, Agrobacterium, Alcaligenes, Arthrobacter, Bacillus, Chromobacterium, Corynebacterium, Flavobacterium, Hypomicrobium, Moraxella, Nessleria, Paracoccus, Propionibacteria, Pseudomonas, Rhizobium, Rhodospseudomonas, Spirillum, Vibrio, Halobacterium e Methanomonas. A presença desses microrganismos pode ser utilizada como indicador biológico das condições e eficiência do processo.

A relação carbono/nitrogênio (C/N) interfere diretamente na eficiência do processo, buscando-se uma relação ótima, mínima requerida para que o processo NDS ocorra de forma satisfatória. Mas muitas das águas residuárias apresentam valores inferiores aos da relação ótima apontadas na literatura (próximos a 9), o que resulta em uma remoção limitada de nitrogênio total (DUTTA; SARKAR, 2015; SUJA et al., 2015).

A habitual utilização de reatores em bateladas sequenciais no processo de NDS dá-se pela possibilidade da utilização de tanque único e variação da duração de cada fase, a partir do período de aeração (ANTILEO et al., 2013). A escolha por reatores de biofilme em bateladas sequenciais apresenta ainda mais vantagens, visto que o crescimento e a aderência da biomassa na superfície do material suporte gera uma proteção para os microrganismos que são menos afetados pelos fatores ambientais externos do que os de crescimento em suspensão (ZOPPAS; BERNARDES; MENEGUZZI, 2016).

Neste sentido propôs-se um estudo experimental do desempenho de remoção de matéria orgânica e nitrogênio em reatores de biofilme em bateladas sequenciais submetendo-os a concentrações afluentes específicas de carbono e nitrogênio (baixa relação C/N), a partir da utilização de água residual sintética sob condições ambientais favoráveis.

MATERIAL E MÉTODOS

Configuração dos reatores

Foram utilizados 4 reatores em politereftalato de etileno modificado com glycol (PETG), com capacidade total de 5 litros, com volume reacional de 3 litros e camada de lodo de 2 L.

A espuma de poliuretano que contém cerca de 90% de vazios (SILVA et al., 2016), tem resultados positivos para imobilização da biomassa aeróbia e anaeróbia (FAZOLO; ZAIAT, 2004), foi utilizada como material suporte em cubos de aproximadamente 1cm de aresta, com peso de 14 gramas e preenchendo cerca de 40% do volume do reator (LIM et al., 2011).

Para o sistema de aeração foi utilizado compressor de ar (JEBO® 660) com vazão máxima de 3,5 L/min, com mangueira de silicone e pedra porosa na extremidade.

Ciclos operacionais

Os ciclos foram definidos com duração de seis horas, sendo 32 no total, intercalados com mais seis horas de repouso. As fases foram: enchimento (E), 15 minutos; aeração (A), 270 minutos; decantação (D), 60 minutos e retirada (R), 15 minutos.

Iniciou-se pela alimentação durante fase de enchimento por bomba submersa (SUNSUN® HJ -111) em uma vazão ajustada de 12 L·h⁻¹, nas fases

de decantação e retirada a aeração parava e o volume reacional (3L) era retirado com bomba submersa (SUNSUN® Hj-111) com 12 L·h⁻¹ de vazão.

A bomba foi posicionada nas proximidades da parede do reator em altura que possibilitasse a permanência da camada de lodo. Tanto as bombas como os compressores foram ligados a temporizadores analógicos (ULTRA® WLP-60/B39). A Figura 1 apresenta o detalhamento interior do reator.

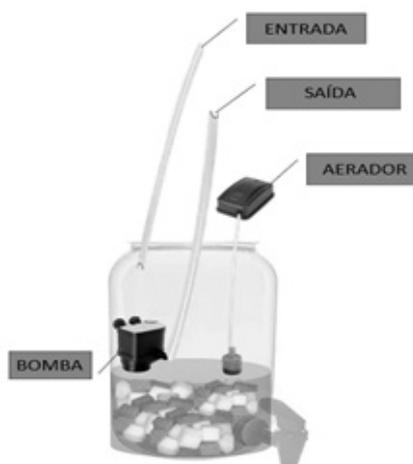


Figura 1. Detalhamento do interior de um reator de biofilme em batelada sequencial

Esgoto sintético

Fez-se uso de substrato sintético baseado em metodologia consolidada, que além de apresentar as fontes de Demanda Química de Oxigênio (DQO) e Nitrogênio Total (NT) propõe uma solução de sais, NaCl, MgCl₂·6H₂O e CaCl₂·2H₂O nas respectivas

concentrações: 100, 2,8 e 1,8 g·L⁻¹ (TORRES,1992). A concentração de DQO teve como base os valores para esgoto doméstico fraco e a de NT variou entre os valores característicos de esgoto forte e fraco (METCALF; EDDY, 2003). A Tabela 1 apresenta os dois diferentes testes aplicados.

Tabela 1. Composição do substrato sintético

Compostos	Teste I (R1 e R2)	Teste II (R3 e R4)
NT	70 mg·L ⁻¹	60 mg·L ⁻¹
DQO	400 mg·L ⁻¹	400 mg·L ⁻¹
Solução de sais	2,5 mg·L ⁻¹	2,5 mg·L ⁻¹

Fonte: Adaptado de TORRES (1992)

Inoculação e partida dos reatores

Optou-se por realizar uma mistura de lodo anaeróbio e aeróbio (1:1). Os lodos foram obtidos de duas estações de tratamento de esgoto (UASB e sistema de lodos ativados) de condomínios residenciais da cidade de Maceió/AL. Os reatores (R1, R2, R3 e R4) foram inoculados no mesmo dia, com lodo misto e 14 gramas de espuma segundo metodologia de Zaiat (1996).

Amostragem e análises

A amostragem foi realizada com volume necessário para prática das análises, sendo manuseadas e conservadas de acordo com as metodologias propostas para cada parâmetro, como as descritas na Tabela 2.

Tabela 2. Análises físico-químicas realizadas

Análise	Metodologia	Amostra	Frequência
Alcalinidade	Titulométrico (APHA,2005)	Afluente	2 ciclos/semana
		Efluente	
Oxigênio Dissolvido	Eletrométrico	Reator	2 vezes/semana
pH	Potenciométrico	Afluente	2 ciclos/semana
		Efluente	
Temperatura	Eletrométrico	Reator	2 vezes/semana
DQO	Espectrofotométrico (APHA,2005)	Afluente	2 ciclos/semana
		Efluente	
NTK	Titulométrico (APHA,2005)	Afluente	2 ciclos/semana
		Efluente	
Nitrogênio Amoniacal	Titulométrico (MACKERETH; HERON;TALLING,1978)	Afluente	2 ciclos/semana
		Efluente	
Nitrito e Nitrato	Espectrofotométrico (MACKERETH; HERON;TALLING,1978)	Afluente	2 ciclos/semana
		Efluente	

Avaliação da biomassa suspensa e aderida dos reatores

A biomassa suspensa foi caracterizada em termos de sólidos totais e suspensos (fixos e voláteis) pelo método gravimétrico (SILVA; OLIVEIRA, 2001). Já a biomassa aderida foi avaliada pelas análises de sólidos totais, fixos e voláteis, adaptando a metodologia de Silva e Oliveira (2001) onde se considerou os pesos iniciais da espuma e sua quantidade em cada reator. Biomassa aderida e suspensa foram avaliadas ao final da operação dos reatores. Esses valores de biomassa (suspensa e aderidas) foram comparados entre os reatores como também em relação as características aeróbias, anaeróbias e a digestão do lodo.

Análise estatística

Os dados das análises foram processados através de planilhas eletrônicas e software específico. Utilizou-se da estatística descritiva (média, desvio padrão, mediana). O teste de variância pela tabela ANOVA no Microsoft Excel para dois fatores com repetição foi utilizado para comprovação de variância entre os Testes I e II e a não variância entre as duplicatas (R1 com R2; R3 com R4).

Regressões lineares e múltiplas foram utilizadas para compreender a correlação entre as eficiências de remoção (carbono e nitrogênio) e os fatores intervenientes no processo NDS monitorados nesse trabalho, como as concentrações de carbono, nitrogênio, relação C/N, pH e alcalinidade

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Remoção de carbono

Os valores de DQO afluente variaram em torno de 256 e 366 mg·L⁻¹, com o Teste I maior na maioria dos ciclos. Já os efluentes variaram entre 42 e 69,6 mg·L⁻¹, observando comportamentos semelhantes entres os testes, mas com o Teste I alcançando maiores remoções e menor variabilidade. Para melhor compreender os valores de remoção construiu-se um diagrama de caixa apresentado na Figura 2.

No diagrama percebe-se claramente a pequena variação na eficiência do Teste I (69 a 81%), comparado aos do Teste II (62 a 84%). O Teste I também obteve os maiores valores de eficiência.

Os valores médios de eficiência de remoção de

DQO por reator estiveram abaixo aos reportados na literatura para processos de nitrificação e desnitrificação simultâneas, como os 82% médios em reator de batelada sequenciais de grânulos aeróbios com ciclos de 4 horas e que utilizou esgoto doméstico com concentração de DQO afluente variando entre 191 e 602 mg·L⁻¹ (WAGNER; COSTA, 2015). Jia et al. (2013) alcançaram 93,1% de remoção em um RBS tratando esgoto sintético de concentrações médias em torno de 350 mg·L⁻¹, com glicose e acetato de sódio como fonte de carboidratos, aplicados a ciclo de 6h. Ding et al. (2011) obtiveram 95% de remoção em RBBS com sistema de controle de aeração, ciclo de 7h e esgoto sintético a base de glicose e leite com DQO afluente médio de 502,44 mg·L⁻¹.

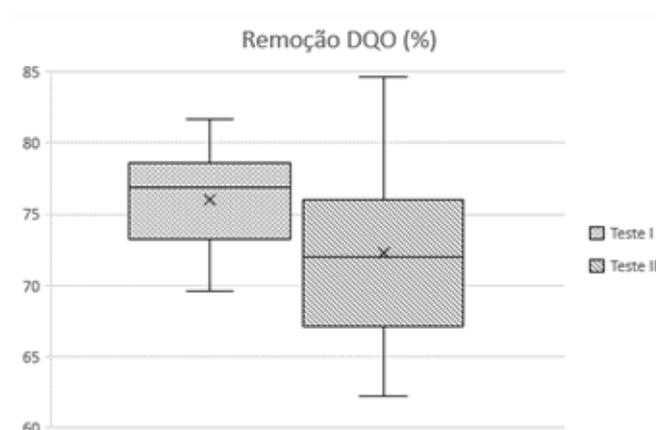


Figura 2. Diagrama de caixa da eficiência de remoção de DQO para os Testes I e II

Um fato observado neste trabalho foi que quanto maior a concentração de DQO afluente, menor se deu sua remoção. Esse fato também foi observado em um trabalho anterior, que reduziu de 95% para 86,6% sua eficiência de remoção de DQO com o aumento afluente dessas concentrações (BERNART et al., 2011).

Remoção de nitrogênio

A remoção de NT foi calculada levando em consideração as análises de NTK, N-amoniacal, nitrito e nitrato, realizadas nos afluentes e efluentes amostrados no mesmo ciclo. A Figura 3 apresenta a série nitrogenada para os Testes I e II (valores afluente e efluente).

Observa-se que em ambos os testes o nitrogênio amoniacal e orgânico efluentes eram menores que os afluentes, contrário do que ocorreu com os parâmetros

nitrito e nitrito, que apareceram em maiores valores no efluente. Isso mostra que ocorreu processo de

nitrificação em todos os reatores ao longo dos ciclos.

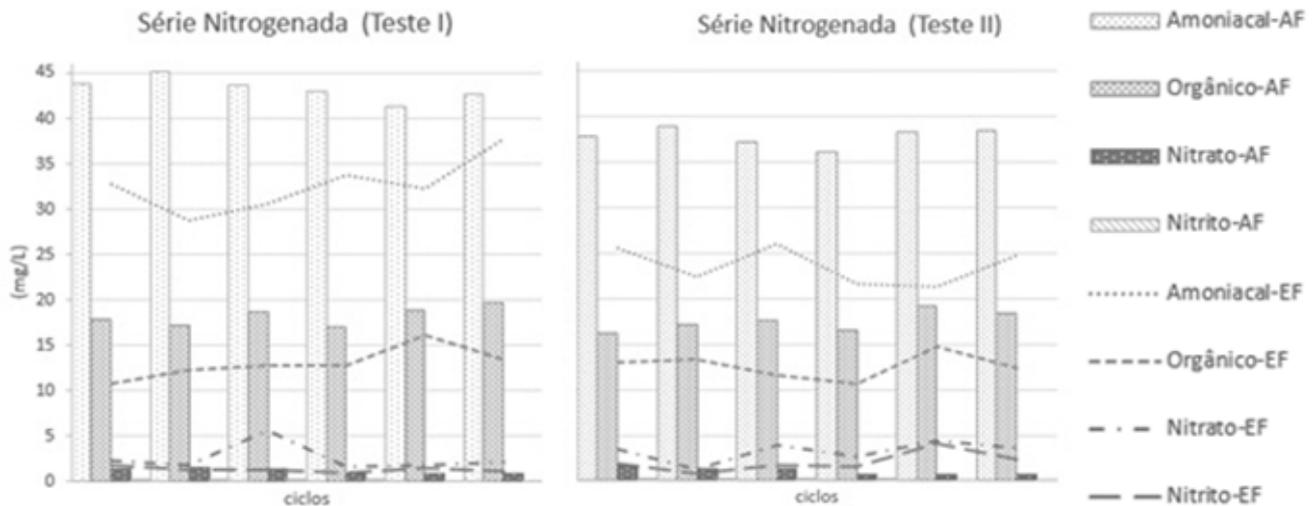


Figura 3. Série nitrogenada Teste I e Teste II

Com o balanço de nitrogênio realizado para cada etapa conseguiu-se estimar tanto a eficiência de remoção de nitrogênio total como os processos de nitrificação e desnitrificação, em separado. A porcentagem de NTK utilizada para assimilação foi de 9,4%. Construiu-se um diagrama de caixa (Figura 4) com a representação das remoções de NT nos reatores.

respectivamente. Enquanto o Teste II obteve 58, 27, 39 e 26%.

Observando a média de remoção total, percebe-se que essa é mascarada pelos valores de amonificação, sendo assim de suma importância a análise dos processos de forma separada. E com isso percebe-se que o Teste II obteve as maiores remoções e que o Teste I teve os seus processos de nitrificação e desnitrificação limitados. De forma geral, os valores de remoção de NT estiveram abaixo dos reportados na literatura para NDS em condições semelhantes de operação.

Como a produção e consumo de alcalinidade apresenta uma correlação com o processo de remoção de NT estimou-se a alcalinidade efluente considerando a possível remoção de nitrogênio via assimilação celular, amonificação, nitrificação e desnitrificação e esses valores estiveram próximos aos reais. Com essa estimativa comprovou-se que havia alcalinidade necessária para a realização dos processos de remoção. O que pode ter sido fator limitante, no Teste I, foi o excesso de alcalinidade e desta forma a adição aumentada do bicarbonato nesse teste não se mostrou vantajosa.

Outro parâmetro avaliado foi a relação C/N, a partir dos valores reais obtidos de DQO e NT. Os valores DQO/NT estiveram entre 4 e 6,4, com maior variação no Teste I, onde também foram alcançados os menores valores. Ambos os testes tiveram comportamento parecidos e pela análise de variância realizada não são

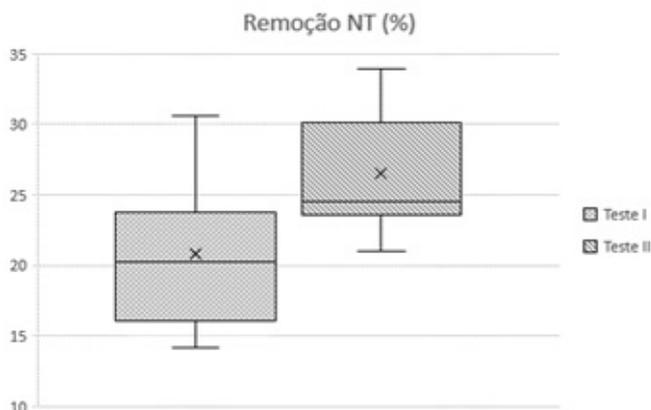


Figura 4. Diagrama de caixa para remoção de NT nas etapas I e II

Em relação a variância da remoção de NT ambos os testes tiveram comportamento parecido. No Teste II observou-se as maiores remoções, onde mais da metade dos dados estiveram acima de 24%, o qual apresentava valores menores de alcalinidade e NT afluentes. As etapas de amonificação, nitrificação e desnitrificação foram calculadas separadamente para um melhor entendimento dos processos. O Teste I obteve 48, 5, 7 e 21% para as eficiências médias de amonificação, nitrificação, desnitrificação e de remoção total,

consideradas duas condições distintas a ponto de serem comparadas. Então consideramos a média dos testes ($5,3 \pm 0,5$) como o valor da relação C/N trabalhado nessa pesquisa.

Esses valores de remoção estiveram abaixo dos esperados para os processos de NDS com baixa relação C/N. Alguns trabalhos com diferentes relações obtiveram maiores faixas para remoção de NT.

Andrade do Canto et al. (2008) obtiveram cerca de 80% de remoção de NT em um RBBS tratando esgoto sintético com relação C/N igual a 2. Ding (2011) operando um RBBS com ciclo de 7h e com esgoto sintético testou diversas relações e obteve 80% de remoção de NT para uma relação de 3,8 e 79% para uma relação de 6,8.

Zou et al. (2012) operaram quatro reatores de biofiltros de lodo-cerâmica com relação C/N diferentes (4; 5,7; 8 e 10) mostraram que as eficiências de remoção nitrogênio total aumentam junto com a relação C/N. A menor remoção de NT foi 43,9% na relação de 4 e o máximo foi 51% na relação de 10. Testando diferentes tamanhos de espuma de polietileno e diferentes volumes de preenchimento em um RBBS, Lim et al. (2011) obtiveram 84% de remoção de NT em um com relação C/N de aproximadamente 4,17. Com baixa concentração de OD em um RBS de ciclos de 6h e com relação C/N de 7, Jia et al. (2013) obtiveram 92,5% de remoção de NT.

Considerando todos os parâmetros monitorados e aqui apresentados, após uma primeira análise estatística, realizou-se a regressão múltipla para as eficiências de remoção de DQO e de NT, obtendo-se as equações 1 e 2:

$$(\%) \text{ Remoção de DQO} = 108,2 - 6,4 * \left(\frac{\text{DQO}}{\text{NT}} \right)_{\text{afluente}} \quad (1)$$

(Obs.: Para relação $\left(\frac{\text{DQO}}{\text{NT}} \right)_{\text{afluente}}$ entre 4 e 6 e $r^2=0,44$)

$$(\%) \text{ Remoção de NT} = 65,3 - 0,05 * \text{Alcalinidade}_{\text{afluente}} - 0,08 * \text{DQO}_{\text{afluente}} \quad (2)$$

(Obs.: Para Alcalinidade_{afluente} entre 200 e 500 mg·L⁻¹; DQO_{afluente} entre 300 e 490 mg·L⁻¹ e $r^2=0,65$)

Por fim, a análise do lodo de todos os reatores ao final da operação obteve para relação STV/ST:

0,67; 0,74; 0,73 e 0,76 para os reatores 1, 2, 3 e 4, respectivamente, e estiveram de acordo com o intervalo encontrado em literatura entre 0,6 e 0,8 para lodo aeróbio, sendo a mistura inicial de lodo com relação de 0,76. Os reatores 2 e 4 tiveram seus valores de sólidos maiores que o do lodo inicial enquanto nos reatores 1 e 3 tiveram valores menores. Coincidentemente, esses dois últimos obtiveram os maiores valores de remoção de DQO e NT. Esse fato pode ser explicado por uma redução na energia direcionada ao crescimento celular.

Já nos valores da biomassa aderida por reator notou-se um aumento de cerca de 10 vezes nos valores encontrados em relação a biomassa suspensa, mostrando a eficiência de adesão a espuma. As relações STV/ST foram de 0,59; 0,72; 0,24 e 0,70. Os reatores 1 e 3 mantiveram-se com as menores relações, sendo valores característicos de lodo anaeróbios. No reator 3 os valores de sólidos voláteis mostraram-se menores até que os fixos, indicando um processo de digestão anaeróbia.

CONCLUSÃO

1. A partir dos resultados obtidos na presente pesquisa, verificou-se a potencialidade da remoção concomitante de matéria carbonácea e nitrogenada em reatores com biofilme de bateladas sequenciais submetidos a baixas relações C/N ($5,3 \pm 0,5$), ciclos de 6h com regime de aeração contínua por 4,5 horas. A eficiência média de remoção de demanda química de oxigênio manteve-se acima de 70%. Já a eficiência média máxima de remoção de nitrogênio total foi de 26%.

2. As eficiências de nitrificação e desnitrificação obtidas foram baixas, porém mantiveram-se próximas umas das outras, indicando que não houve limitação do processo por indisponibilidade de doadores de elétrons. O processo de nitrificação e desnitrificação foi ainda menor no Teste I, demonstrando que a alcalinidade e nitrogênio total afluentes influenciaram negativamente no processo de remoção (comprovado pela regressão múltipla).

3. Pelo teste de variância observou-se que os reatores 1 e 2 e os reatores 3 e 4 tiveram comportamento similares, funcionando como duplicatas. O mesmo teste concluiu que muitos dos parâmetros (DQO, pH, temperatura, relação C/N) sofreram variação

irrelevante, podendo assim ser considerados controlados para o favorecimento do processo.

4. A eficiência de remoção de demanda química de oxigênio mostrou-se, pela regressão múltipla, relacionada com a relação C/N afluente, enquanto a eficiência de remoção de nitrogênio total sofreu influência da demanda química de oxigênio e da alcalinidade afluentes.

LITERATURA CITADA

APHA. American Public Health Association. **Standard methods for the examination of water and wastewater**, 21st ed. Washington, 2005.

ANDRADE DO CANTO, C.S.; RODRIGUES, J.A; RATUSZNEI, S.M; ZAIAT, M.; FORESTI E. Feasibility of nitrification/denitrification in a sequencing batch biofilm reactor with liquid circulation applied to post-treatment. **Bioresource Technology**, v. 99, n. 3, p. 644–654, 2008.

ANTILEO, C.; MEDINA, H.; BORNHARDT, C.; MUÑOZ, C.; JARAMILLO, F., PROAL, J. Actuators monitoring system for real-time control of nitrification-denitrification via nitrite on long term operation. **Chemical Engineering Journal**, v. 223, p. 467–478, 2013.

BERNAT, K.; KULIKOWSKA, D.; ZIELIŃSKA, M.; CYDZIK-KWIATKOWSKA A.; WOJNOWSKA-BARYŁA I. Nitrogen removal from wastewater with a low COD/N ratio at a low oxygen concentration. **Bioresource Technology**, v. 102, n. 7, p. 4913–4916, 2011.

CAO, Y.; ZHANG C.; RONG H.; ZHENG G.; ZHAO L. The effect of dissolved oxygen concentration (DO) on oxygen diffusion and bacterial community structure in moving bed sequencing batch reactor (MBSBR), **Water Research**, vol. 108, 86 - 94, 2017.

DING, D.; FENG, C.; JIN, Y.; HAO, C.; ZHAO, Y.; SUEMURA, T. Domestic sewage treatment in a sequencing batch biofilm reactor (SBBR) with an intelligent controlling system. **Desalination**, v. 276, n. 1–3, p. 260–265, 2011.

DUTTA, A.; SARKAR, S. Sequencing Batch Reactor for Wastewater Treatment: Recent Advances. **Current Pollution Reports**, v. 1, n. 3, p. 177–190, 2015.

FAZOLO, A.; ZAIAT, M. Estudo da Transferência de Oxigênio em Reator Radial Aeróbio de Leito Fixo Utilizado no Pós-Tratamento de Efluente Anaeróbio. XI Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Natal, 2004.

GUERRERO, J.; FLORES-ALSINA, X.; GUIASOLA, A.; BAEZA, J. A.; GERNAEY, K. V. Effect of nitrite, limited reactive settler and plant design configuration on the predicted performance of simultaneous C/N/P removal WWTPs. **Bioresource Technology**, v. 136, p. 680–688, 2013.

JIA W.; LIANG S.; ZHANG J.; NGO H.H.; GUO W.; YAN Y.; ZOU Y. Nitrous oxide emission in low-oxygen simultaneous nitrification and denitrification process: Sources and mechanisms. **Bioresource Technology**, v. 136, p. 444–451, 2013.

LIM, J. W.; SENG, C.E.; LIM, P.E.; NG, S.L.; SUJARI, A.N. Nitrogen removal in moving bed sequencing batch reactor using polyurethane foam cubes of various sizes as carrier materials. **Bioresource Technology**, v. 102, n. 21, p. 9876–9883, 2011.

MACKERETH, F.J.H., HERON, J.; TALLING, J.F. Water Analysis: Some Revised Methods for Limnologists. **Freshwater Biological Association Scientific Publication** n. 36. Titus Wilson and Son Ltd, Kendall, 1978.

METCALF; EDDY. **Wastewater Engineering treatment Disposal Reuse**. 4. ed. New York, McGraw - Hill Book, 1815p. 2003.

SILVA, L.P. DA; LIER, Q.J.V.; CORREA, M.M.; MIRANDA, J. H.; OLIVEIRA, L. A. Retention and Solute Transport Properties in Disturbed and Undisturbed Soil Samples. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 2016.

SILVA, S. A.; OLIVEIRA, R. de. **Manual de análise físico-químicas de águas de abastecimento e residuárias**. 266p. Campina Grande: O Autor, 2001.

SUJA, E.;NANCHARAI AH, Y.V.;KRISHNA MOHAN, T.V.;VENUGOPALAN, V.P. Denitrification accelerates granular sludge formation in sequencing batch reactors. **Bioresource Technology**, v. 196, p. 28–34, 2015.

TORRES, P. **Desempenho de um Reator Anaeróbio de Manta de Lodo (UASB) de Bancada no Tratamento de Substrato Sintético Simulando Esgotos Sanitários**. São Carlos, SP. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo,1992.

WAGNER, J. ; COSTA, R. H. R. Reator em bateladas sequenciais de grânulos aeróbios: estudo da formação dos grânulos e do efeito da duração do ciclo na remoção de carbono, nitrogênio e fósforo de esgoto doméstico. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.20, n.2, p. 269-278, 2015.

ZAIAT, M. **Desenvolvimento de Reator Anaeróbio Horizontal de Leito Fixo (Ralf) Para Tratamento de Águas Residuárias**; Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) - Universidade de São Paulo,1996.

ZOPPAS,F.M.;BERNARDES,A.M.;MENEGUZZI, Á. Parâmetros operacionais na remoção biológica de nitrogênio de águas por nitrificação e desnitrificação simultânea. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 21, n. 1, p. 29–42, 2016.

ZOU, J.L.; XU, G.R.; PAN, K.; ZHOU, W.; DAI, Y.; WANG, X.; ZHANG, D.; HU, Y.C.; MA, M. Nitrogen removal and biofilm structure affected by COD/NH₄⁺-N in a biofilter with porous sludge-ceramsite. **Separation and Purification Technology**, v. 94, p. 9-15, 2012.