

II-035 - AVALIAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO DE BIOMASSA GRANULAR AERÓBIA EM UM REATOR EM BATELADAS SEQUENCIAIS NO TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO

Jéssica Antunes Xavier⁽¹⁾

Engenheira Ambiental pela Universidade do Estado de Santa Catarina. Mestranda em Engenharia Ambiental no Laboratório de Efluentes Líquidos e Gasosos - LABEFLU (UFSC).

Maurício de Jesus⁽²⁾

Graduando em Engenharia Sanitária e Ambiental na Universidade Federal de Santa Catarina.

Gilberto Caye Daudt⁽³⁾

Engenheiro Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina. Mestrado em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina. Doutorando em Engenharia Ambiental no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental (UFSC).

Cláudia Lavina Matins⁽⁴⁾

Engenheira Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina. Doutora em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina, com Pós-Doutorado na Universidade Federal de Santa Catarina. Professora do Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC).

Rejane Helena Ribeiro da Costa⁽⁵⁾

Engenheira Civil pela Universidade Federal da Paraíba. Doutora em Tratamento e Qualidade das Águas no Institut National des Sciences Appliquées (INSA, Toulouse, França), com Pós-Doutorado na Université Montpellier I (Montpellier, França). Professora Titular da Universidade Federal de Santa Catarina.

Endereço⁽¹⁾: Campus Universitário Trindade –CEP: 88010970 - Florianópolis - SC - Brasil - Caixa-postal: 476 Telefone: (48) 37217743 -e-mail: jessica.antunes@posgrad.ufsc.br

RESUMO

A busca por tecnologias mais compactas para o tratamento de efluentes, com remoções simultâneas de matéria orgânica e nutrientes, se torna indispensável frente à crescente expansão demográfica. Uma tecnologia em desenvolvimento é a de biomassa granular aeróbia, que tem vantagens sobre os flocos de lodos ativados por apresentarem melhor sedimentabilidade e capacidade de suportar variações de cargas orgânicas. Ela é preferencialmente aplicada em reatores operados em bateladas sequenciais, que dispensam o uso de decantador secundário, reduzindo a área de implantação. Contudo, o uso de lodo granular aeróbio no tratamento de esgoto sanitário real ainda é um desafio. A principal dificuldade de aplicação dessa tecnologia reside na instabilidade dos agregados e sua fácil desintegração. Neste contexto, o presente trabalho objetiva avaliar a granulação natural da biomassa em um reator em bateladas sequenciais (RBSG), no tratamento de esgoto sanitário real. Para tal, um reator piloto foi estudado, aplicando-se diferentes condições operacionais, no intuito de obter grânulos mais estáveis, aliado ao melhor desempenho de tratamento. O estudo foi dividido em três estratégias operacionais (EI, EII e EIII). Nas duas primeiras, foi escolhido um tempo total de ciclo com 4 horas de duração, com fases de: enchimento, anóxica, aeróbia, descarte e repouso. Nessas duas estratégias trabalhou-se com variações no tempo da fase anóxica, sendo de 13 minutos na estratégia I e de 30 minutos na estratégia II. Para a terceira estratégia, o tempo total de ciclo passou de 4 para 6 horas e a fase anóxica passou para 90 minutos. Como resultados, tem-se que o maior tempo anóxico, implantado na Estratégia II, refletiu em uma melhora em todas as características do lodo granular, quanto à estabilidade e à eficiência do tratamento comparado com a estratégia I. Na terceira estratégia, com tempo de ciclo operacional maior, a granulação se manteve ainda mais estável com uma melhora na sedimentabilidade do lodo, comparado com as estratégias anteriores. Em relação às eficiências de tratamento, a segunda estratégia apresentou melhores percentuais de remoção carbonácea, em torno de 80%. No entanto, a remoção de nitrogênio amoniacal na estratégia III apresentou os melhores resultados, com eficiência de remoção de 83%.

PALAVRAS-CHAVE: Granulação aeróbia, Reator em Bateladas Sequenciais, Tratamento de esgoto sanitário.

INTRODUÇÃO

A busca por tecnologias de tratamento de efluentes mais compactas, com remoção simultânea de matéria orgânica e de nutrientes, se torna indispensável frente a crescente expansão demográfica. Uma tecnologia de tratamento biológico em recente desenvolvimento é a de biomassa granular aeróbia. Esta tem se mostrado muito atrativa, visto as inúmeras vantagens dos grânulos aeróbios em comparação aos flocos dos sistemas convencionais de lodos ativados, dentre essas, citam-se: melhor sedimentabilidade, remoção simultânea de fósforo e nitrogênio, e capacidade de suportar variações de cargas orgânicas (ZHU et al., 2013).

Essa tecnologia é preferencialmente aplicada em reatores de bateladas sequências (RBS), onde o tratamento do efluente ocorre em uma única unidade operacional, dispensando o uso de decantadores e o retorno do lodo ao reator biológico, implicando na redução da área de implantação do sistema (BASSIN, 2011).

Contudo, a aplicação de lodo granular aeróbio no tratamento de esgoto em escala real ainda é um desafio. Problemas relacionados à instabilidade dos agregados e sua fácil desintegração são alguns dos fatores que dificultam a aplicação dessa tecnologia, além disso, ainda existem poucos estudos sobre a aplicação do sistema no tratamento de efluentes reais, ou seja, não sintéticos.

Neste contexto, a presente pesquisa pretende avançar, principalmente, no conhecimento do processo de granulação natural, sem adição de inóculo, por meio da avaliação das características físicas e biológicas da biomassa granular aeróbia, associadas com as eficiências de tratamento. Para tal, um reator em bateladas sequenciais granular (RBSG) em escala piloto foi conduzido em diferentes condições operacionais, visando obter grânulos estáveis e eficientes no tratamento do esgoto. Optou-se pela alimentação com esgoto sanitário real, em vez de efluente sintético, de forma a proporcionar uma melhor compreensão do processo, com intuito de fornecer informações aos projetistas de futuros sistemas de tratamento com RBSG.

MATERIAIS E MÉTODOS

Configuração e Operação do Sistema Experimental

A configuração do sistema experimental em escala piloto é apresentada na Figura 1, sendo (A) poço de visita (da rede municipal coletora de esgotos); (B) tanque de armazenamento de 5 m³; (C) tanque de equalização com misturador de 1 m³; (D) reator de acrílico cilíndrico; (E) rotâmetro; e (F) painel de comando eletrônico com controlador lógico programável (CLP). O diâmetro interno do reator é de 0,25 m e a altura útil utilizada para o estudo foi de 2,18 m, correspondendo a um volume de 98 L. A troca volumétrica ($V_{\text{enchimento}} / V_{\text{útil}}$) do reator é de 56 %, totalizando um volume de tratamento por batelada de 55 litros.

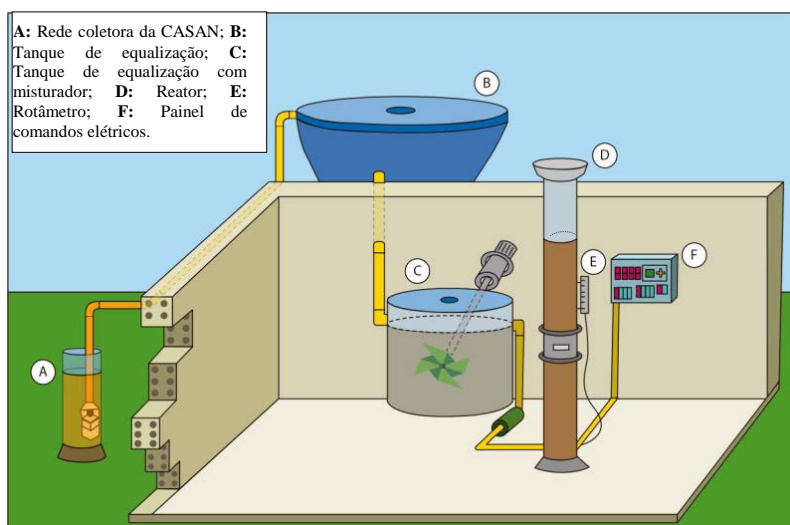


Figura 1: Configuração do sistema experimental

O sistema é operado de forma automática por meio de um controlador lógico programável (CLP, Siemens). O CLP permite controlar a duração de cada fase do ciclo operacional do reator, o acionamento e desligamento do compressor de ar, das bombas de captação e de entrada/saída de esgoto. A vazão de ar aplicada ao reator foi mantida em $32 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$, o que corresponde a uma velocidade superficial ascensional de $1,1 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ durante a etapa de reação aeróbia.

O *start up* do sistema ocorreu sem a necessidade de inoculação (granulação natural). O monitoramento foi iniciado a partir do momento onde a concentração de biomassa presente no reator era suficiente para caracterizar o reator como um RBSG. O critério utilizado seguiu as recomendações de Liu *et al.* (2010), que consideram a biomassa predominantemente granular quando pelo menos 50% das partículas apresentam diâmetro superior a 0,2 mm.

A parte experimental dessa pesquisa envolveu o estudo da formação natural, sem inoculação, de grânulos aeróbios, das características da biomassa e do monitoramento do desempenho do reator em bateladas sequenciais granular (RBSG).

A partida do sistema ocorreu em Maio/2015. Para o estudo, definiram-se três estratégias operacionais (Figura 2). Nas estratégias I e II com duração de 143 dias e 115 dias, respectivamente, o reator operou em ciclos de 4 horas, sendo que cada ciclo compreendeu etapas de enchimento estático, etapa anóxica, reação aeróbia, sedimentação e descarte. Na estratégia I, a fase anóxica teve duração de 13 minutos, e na estratégia II aplicou-se 30 minutos na fase anóxica. O tempo de sedimentação para a Estratégia I foi de 20 min, e para estratégia II foi reduzido gradualmente para 15 minutos.

Na estratégia III, que teve duração de 65 dias, o reator operou com ciclos de 6 horas, sendo a etapa anóxica de 90 minutos, seguida de aeração, sedimentação e descarte. Com o intuito de proporcionar a mistura do substrato com a biomassa, pulsos de ar foram inseridos, de 15 em 15 minutos durante 10 segundos, ao longo da etapa anóxica desta estratégia. O tempo de sedimentação para essa estratégia se manteve em 15 minutos.

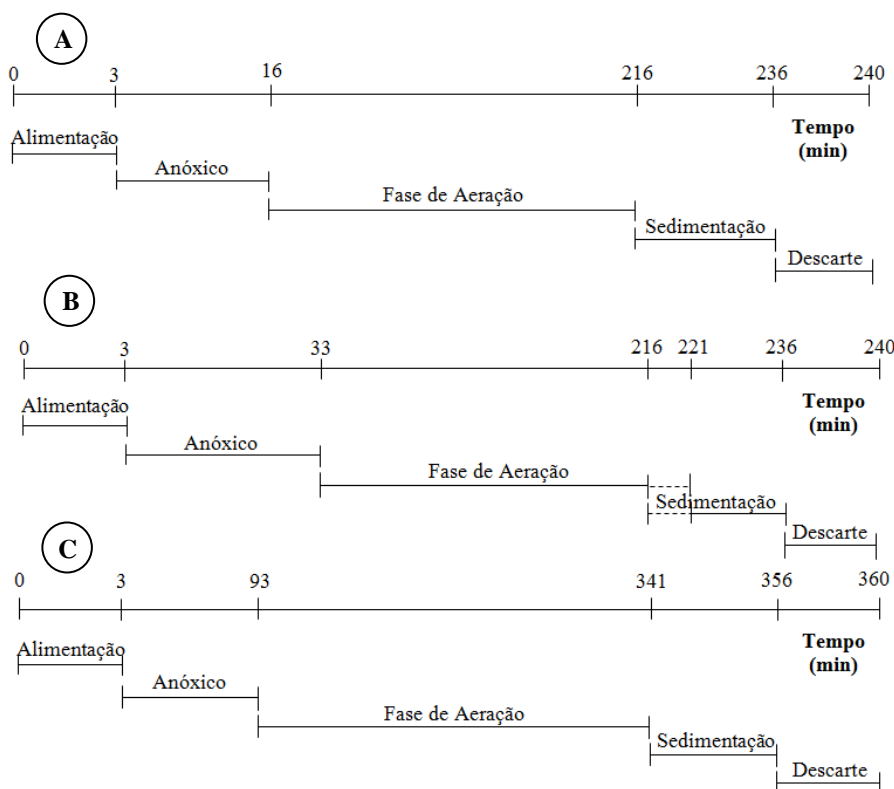


Figura 2: Fases do ciclo operacional do reator aplicado nas diferentes condições operacionais. (A) Estratégia I; (B) Estratégia II; (C) Estratégia III.

Monitoramento do Sistema

O monitoramento do sistema foi realizado por meio de coletas semanais de amostras da entrada do reator, licor misto (início e fim do período de aeração) e saída (fim do ciclo operacional). Os parâmetros de monitoramento do reator foram: demanda química de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), nitrogênio amoniacal ($\text{NH}_4^+\text{-N}$), sólidos suspensos totais (SST) e sólidos suspensos voláteis (SSV), analisados segundo APHA (2005).

Com a finalidade de avaliar as características da biomassa granular foram efetuadas a análise granulométrica da biomassa e a determinação do índice volumétrico de lodo (IVL) modificado (SCHWARZENBECK *et. al.*, 2004). A granulometria foi realizada por meio de um analisador dimensional de partículas por difração a laser (Mastersizer 2000, Malvern Instruments).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Caracterização do Efluente Bruto do Sistema

Na Tabela 4 estão apresentadas as características físico-químicas do efluente bruto e cargas aplicadas. Percebe-se que a composição do esgoto bruto apresentou variações durante o período analisado. Dentre os fatores responsáveis por essa variação, pode-se destacar a flutuação natural do aporte de despejos na rede de esgotos sanitários e a influência do aporte de águas de chuva, principalmente por infiltração na tubulação.

De acordo com as faixas de concentração determinadas por Metcalf e Eddy (2003), o esgoto sanitário utilizado nesta pesquisa foi considerado de baixa carga orgânica.

Tabela 1: Características do efluente bruto e cargas volumétricas do sistema.

Variáveis	Média \pm desvio padrão	n
pH	$6,91 \pm 0,34$	37
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	$23,4 \pm 2,6$	37
DBO _{5,20}	286 ± 86	34
Sólidos Suspensos Totais (mg.L^{-1})	178 ± 76	38
Carga Orgânica ($\text{kg DQO. m}^{-3}.\text{d}^{-1}$)	$1,49 \pm 0,59$	36
Carga de Nitrogênio ($\text{kg NH}_4^+. \text{m}^{-3}.\text{d}^{-1}$)	$0,16 \pm 0,04$	33

n: número de amostras

Características da Biomassa

Nas Figuras 3 e 4 estão apresentados os resultados referentes à granulação. Observa-se na Figura 3, no 16º dia de operação, que o diâmetro médio das partículas estava em aproximadamente 660 μm , dessa forma não foi necessário à inoculação, já caracterizando um reator de bateladas sequenciais granular. A configuração do reator, ou seja, a alta relação H/D (12) e alta vazão de ar ($1,1 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$) permitem uma longa trajetória de fluxo circular, o que provoca maior estresse hidrodinâmico, resultando na compactação dos agregados (LIU e TAY, 2007).

De acordo com Liu *et al.* (2010), a biomassa é considerada predominantemente granular quando pelo menos 50% das partículas apresentam diâmetro superior a 200 μm . A partir do dia 60, o diâmetro médio das partículas caiu para 300 μm , permanecendo entre 200 e 300 μm no restante do período operacional, caracterizando o reator como um RBSG.

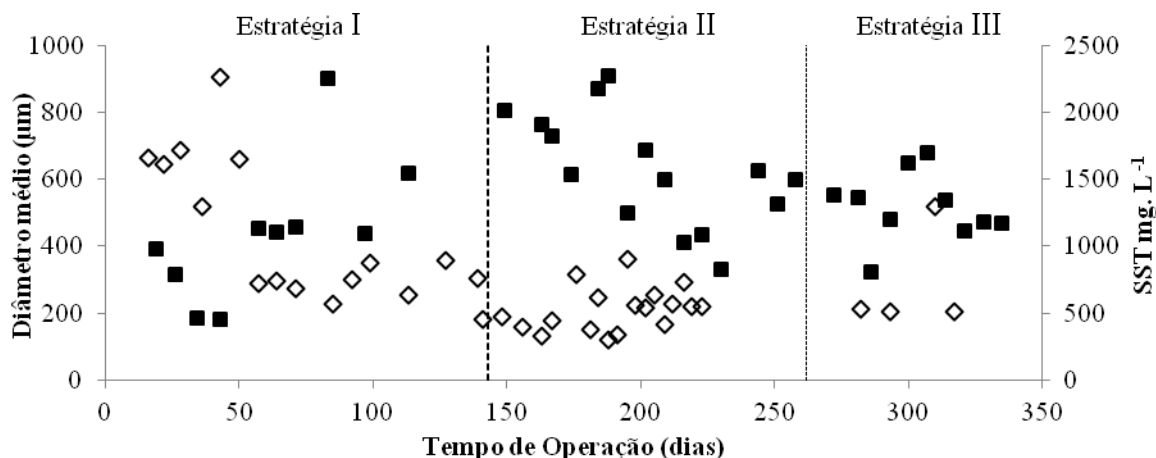


Figura 3: Diâmetro médio da biomassa (◇), SST (■) durante as duas estratégias operacionais distintas.

Na figura 4, percebe-se uma variabilidade entre os valores de IVL_5 , IVL_{10} e IVL_{30} durante o primeiro período de operação do reator. No entanto, observa-se que a partir do dia 60, os valores da relação IVL_{30}/IVL_{10} estão próximos de 80%, se mantendo estável ao longo do estudo, exceto no dia 118. Segundo De Kreuk et al. (2005), a relação entre o IVL_{30} e o IVL_{10} é considerada com sendo um bom indicador da formação dos grânulos, devido à excelente sedimentabilidade dos mesmos. Liu e Tay (2007) consideram que o processo de granulação está completo quando IVL_{30}/IVL_{10} está em torno de 90%.

Na Estratégia III, observa-se uma variabilidade na relação IVL_{30}/IVL_{10} , no entanto, se mantém acima de 80%, alcançando 100% em alguns dias, significando que após 10 minutos, a sedimentação está completa.

As grandes oscilações referentes à estratégia operacional I podem ser atribuídas a não instabilidade da biomassa, pois, o processo de granulação é gradual e segue três estágios consecutivos: aclimação do lodo, agregação do lodo e maturação dos grânulos. (WANG *et al.*, 2005).

Os baixos valores de IVL_{10} e de IVL_{30} verificados caracterizam a biomassa do RBSG estudado como tendo boa sedimentação, sendo inclusive considerada de ótima sedimentação ($IVL < 100 \text{ mL/g}$), nas últimas semanas de operação, de acordo com Metcalf e Eddy (2003).

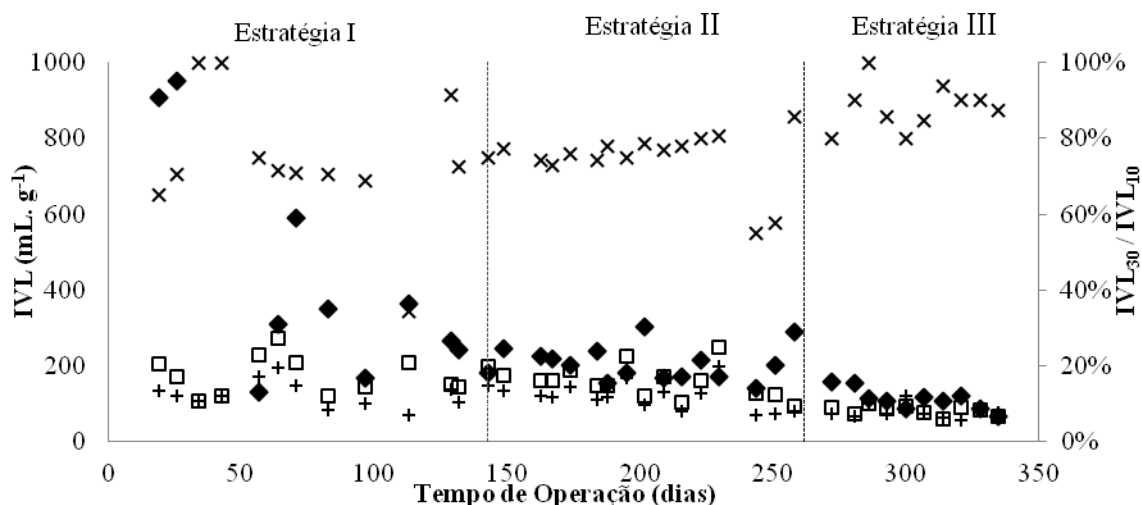


Figura 4: Sedimentabilidade do lodo (em termos de Índice Volumétrico de Lodo) (◇) IVL_5 (□) IVL_{10} (+) IVL_{30} e (x) IVL_{30}/IVL_{10} ao longo das duas estratégias operacionais.

Eficiências de Tratamento

Os resultados obtidos em relação à remoção da matéria carbonácea e nitrogenada durante as três estratégias operacionais estão apresentados nas Figuras 5 e 6, respectivamente. Durante os primeiros 80 dias de operação o processo não estava estável, em virtude da necessidade de aclimação do lodo e também devido à baixa concentração de sólidos no reator durante esse período, conforme apresentado na Figura 3. Após esse período inicial, o desempenho do reator aumentou continuamente.

Na estratégia operacional I, a remoção média de DQO_T foi de $69 \pm 13\%$. Na estratégia Operacional II, a remoção de DQO_T foi de $79 \pm 14\%$. Ocorreu uma queda na eficiência durante a estratégia III, que teve como média de remoção de $64 \pm 6\%$. A variação da carga orgânica aplicada pode ter influenciado no desempenho do RBSG, em termos de percentuais de remoção. No entanto, a concentração média da DQO_T efluente de todo período de estudo ficou aproximadamente em $100 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

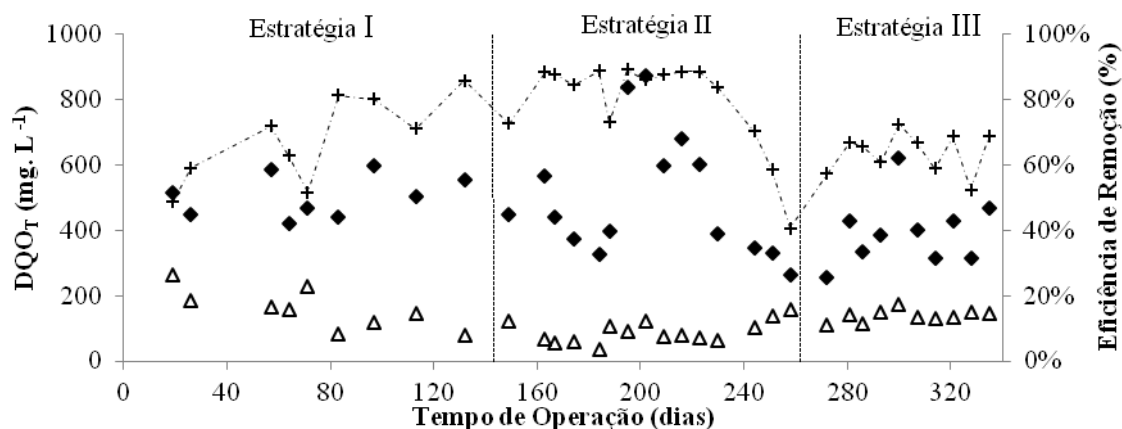


Figura 5: Variação das concentrações de DQO total afluente (◆) e efluente (△) ao reator, e respectivas eficiências de remoção (+).

A concentração de nitrogênio amoniacal no afluente ao reator também sofreu considerável oscilação durante o período de monitoramento (Figura 6). Essa variação da concentração de amônia, assim como a variação da concentração de DQO, é típica de esgotos sanitários em condições reais, e fez com que o sistema estivesse submetido a diferentes cargas nitrogenadas ao longo do tempo.

As remoções médias de nitrogênio amoniacal para as estratégias operacionais I, II e III foram de $30 \pm 24\%$, $57 \pm 18\%$ e $83 \pm 6\%$, respectivamente. Wagner e Costa (2015) estudaram o processo de granulação aeróbia em um RBSG em escala piloto alimentado com esgoto sanitário. As cargas orgânicas aplicadas não ultrapassaram o valor de $2 \text{ kg DQO} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{dia}^{-1}$. As eficiências médias observadas de remoção de DQO e de NH_4^+ foram de 82% e 69%, respectivamente, valores aproximados dos obtidos nesse estudo. Jungles *et al.* (2014) estudaram um RBSG, e obtiveram remoção de DQO na faixa de 90% operando o reator com ciclos de 4 horas, para efluente misto (esgoto sanitário e acetato de sódio).

As concentrações obtidas no efluente para o nitrogênio amoniacal na Estratégia I não atendem ao disposto na legislação brasileira (CONAMA 430/2011) para lançamento de efluentes em corpos receptores ($\leq 20 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$). Entretanto, isso já era esperado, pois de acordo com Metcalf & Eddy (2003), comparando com os microrganismos heterotróficos responsáveis pela estabilização da matéria carbonácea, o crescimento das bactérias nitrificantes é lento, mesmo nas condições ótimas. O tempo de residência celular deve ser tal que propicie o desenvolvimento das bactérias nitrificantes, antes que elas sejam “lavadas” do sistema. Tay *et al.* (2002) investigaram a formação de grânulos aeróbios em um RBSG e reportaram que, no início da granulação, o lodo foi completamente “lavado” do reator, impedindo a formação de grânulos nitrificantes.

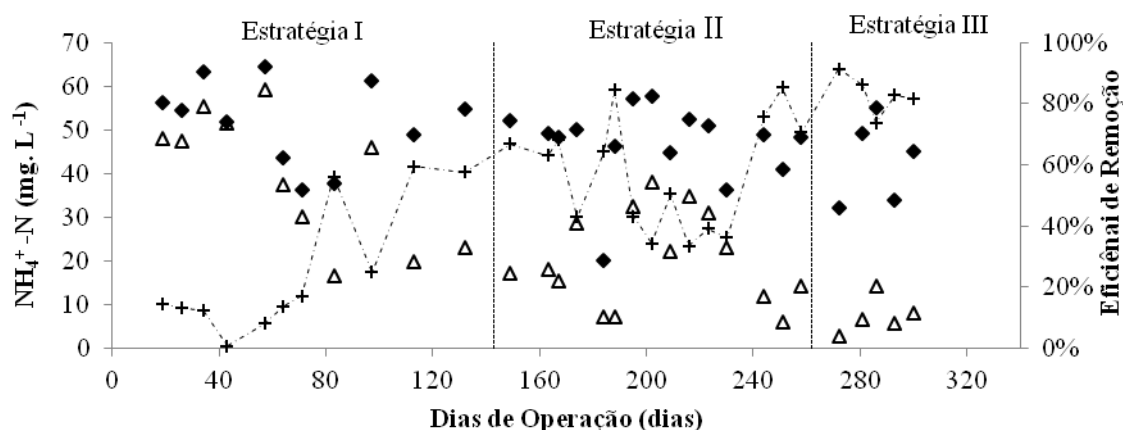


Figura 6: Variação das concentrações de NH_4^+ afluente (\blacklozenge) e efluente (\triangle) ao reator, e respectivas eficiências de remoção (+).

Com o aumento na fase anaeróbia, percebe-se uma melhora nas características do lodo granular aeróbio. De acordo com Zhang *et al.* (2015) e De Kreuk e Bruin (2004), a fase anóxica, antecedendo a fase aeróbia desenvolve organismos acumuladores de fósforos (OAP). Estes são fundamentais para a estabilidade dos grânulos. Os autores afirmam que as bactérias aeróbias com maior taxa de crescimento, muitas vezes resultam em um grânulo instável, ao contrário das bactérias com taxa de crescimento lento, tais como bactérias nitrificantes e OAP.

O período de anaerobiose age como uma pressão seletiva, contendo a proliferação de bactérias heterotróficas e bactérias filamentosas, e a liberação fósforo ainda assegura que as OAPs consumam a DQO por completo. Como a DQO não está disponível na fase aeróbia, a competição por receptores de elétrons (óxidos de nitrogênio) não existe, o que favorece também a nitrificação (DE KREUK e BRUIN. 2004).

CONCLUSÕES

- ✓ A granulação natural é novidade para reatores operados em bateladas sequenciais. Obteve-se em 16 dias de operação do reator, biomassa com 660 μm de diâmetro, dispensando a inoculação com lodo biológico. No entanto, a maturação dos grânulos levou um maior tempo, principalmente em relação aos organismos autotróficos que têm um crescimento mais lento que os heterotróficos.
- ✓ A variabilidade de resultados obtidos na Estratégia I pode-se atribuir pela não inoculação do reator, e o tempo de resposta do reator ser mais prolongado, devido à necessidade de aclimação da biomassa.
- ✓ O maior tempo de anaerobiose implementado na estratégia operacional II resultou em uma melhora nas características do lodo granular aeróbio, em termos de sedimentabilidade comparado com a estratégia I.
- ✓ A estratégia III apresentou melhores resultados em relação à sedimentabilidade, onde os valores de IVL 5, 10 e 30, estão mais próximos, a razão $\text{IVL}_{30}/\text{IVL}_{10}$ se mantendo acima de 80 %.
- ✓ As eficiências de tratamento durante as estratégias operacionais em termos de remoção de matéria orgânica se mantiveram próximas, destacando os melhores resultados na estratégia II. No entanto, a variação da carga orgânica aplicada no sistema influenciou o desempenho do RBSG em termos de percentuais de remoção.
- ✓ O maior tempo de aeração da estratégia III influenciou positivamente na oxidação do nitrogênio amoniacal, sendo que as maiores eficiência de remoção foram alcançadas nessa estratégia (> 80%).

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem A FAPESC/CNPq (Edital PRONEX) e a FINEP (Chamada Pública Saneamento ambiental e habitação 07/2009) pelo financiamento da pesquisa, e ao CNPq pela bolsa de estudo. Agradecem também, ao Laboratório de Farmacotécnica do Departamento de Ciências Farmacêuticas da Universidade Federal de Santa Catarina pela disponibilidade de uso no Mastersizer 2000, Malvern Instruments.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA, AWWA, WEF. Standard methods for the examination of water and wastewater. 21 ed., Washington, 2005.
2. BASSIN, J.P. Tecnologia de granulação aeróbia (lodo granular aeróbio). In: DEZOTTI, M., SANT'ANNA JR., G.L., BASSIN, J.P. (Org.). Processos biológicos avançados para tratamento de efluentes e técnicas de biologia molecular para o estudo da diversidade microbiana. Rio de Janeiro: Editora Interciência, p 91-170, 2011.
3. Daudt, G.C. Desempenho e emissões de óxido nitroso de reator em bateladas sequenciais com grânulos aeróbios para tratamento de esgoto sanitário. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis (SC), 141 p., 2015.
4. DE KREUK, M.K., BRUIN, L.M.M. Aerobic granule reactor technology. Water and Wastewater Practitioner Series, STOWA Report. London: IWA Publishing, 2004.
5. DE KREUK, M.K., MCSWAIN, B.S., BATHE, S., TAY, S.T.L., SCHWARZENBECK, N., WILDERER, P.A. Discussion outcomes. In: Aerobic granular sludge. Water and Environmental Management Series. London: IWA Publishing, 155-169, 2005.
6. JUNGLES, M. K., CAMPOS, J. L., COSTA, R. H. R. Sequencing batch reactor operation for treating wastewater with aerobic granular sludge. Brazilian Journal of Chemical Engineering, 31 (1), 27-33, 2014.
7. LIU, Y.Q., MOY, B., KONG, Y.H., TAY, J.H. Formation, physical characteristics and microbial community structure of aerobic granules in a pilot-scale sequencing batch reactor for real wastewater treatment. Enzyme and Microbial Technology, 46 (6): 520-525, 2010.
8. LIU, Y.Q., TAY, J.H. Influence of cycle time on kinetic behaviors of steady-state aerobic granules in sequencing batch reactors. Enzyme and Microbial Technology, 41: 516-522, 2007b.
9. METCALF & EDDY. Wastewater engineering: Treatment and reuse. 4ª Ed. Mc Graw Hill, Inc. New York, 1819 p., 2003.
10. SCHWARZENBECK, N.; ERLEY, R.; WILDERER, P.A. Aerobic granular sludge in an SBR-system treating wastewater rich in particulate matter. Water Science and Technology, 49(11-12): 41-46, 2004.
11. WAGNER, J., COSTA, R. R. H. 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. Eng.Sanit.Ambiental. 20: 269-278, 2015.
12. WANG, F., YANG, F.L., ZHANG, X.W., LIU, Y.H., ZHANG, H.M., ZHOU, J. Effects of cycle time on properties of aerobic granules in sequencing batch airlift reactor. World Journal of Microbiology & Biotechnology, 21: 1379-1384, 2005.
13. TAY, J.H.; YANG, S.F.; LIU, Y. Hydraulic selection pressure induced nitrifying granulation in sequencing batch reactors. Applied Microbiology and Biotechnology, 59(2-3): 332-337, 2002.
14. ZHANG, C., ZHANG, H., YANG, F. Diameter control and stability maintenance of aerobic granular sludge in an A/O/A SBR. Separation and purification Technology. 149, 362-369. 2015.
15. ZHU, L., DAI, X., LV, M., XU, X. (2013) Correlation analysis of major control factors for the formation and stabilization of aerobic granule. Environmental Science and Pollution Research. 20 (5) : 3165-3175, 2013.