

Ammonia removal in a water recirculating system for tilapia using an aerobic three-phase fluidized-bed reactor²

Monitoramento de 24 horas do desempenho de reator aeróbio de leito fluidizado trifásico na remoção de amônio num sistema de recirculação para produção de tilápia

Remoción de amonio en un sistema de recirculación de agua para tilapia mediante un reactor aerobio de lecho fluidizado trifásico

Iván A Sánchez^{1*}, IC, M.Sc.; Tsunao Matsumoto², IC, PhD.

¹Departamento de Recursos Hidrobiológicos, Facultad de Ciencias Pecuarias, Universidad de Nariño. San Juan de Pasto, Nariño – Colombia.

²Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia Campus de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista (FEIS-UNESP). Ilha Solteira, São Paulo- Brasil.

(Recibido: 3 febrero, 2011; aceptado: 26 julio, 2011)

Summary

The main objective of this study was to evaluate the ammonia removal efficiency in the wastewater treatment system of an intensive tilapia laboratory production system with water recirculation. The system comprised of a conventional sedimentation basin and an aerobic three-phase fluidized-bed reactor with circulation, operated at hydraulic detention times of 176.4 and 11.9 minutes respectively. Granular activated carbon was used as carrier with apparent density of 1.64 g/cm³ and effective size of 0.34 mm; the carrier concentration in the reactor was maintained constant at 80 g/L. Mean removal efficiency of total ammonia nitrogen was 41.2%. The evaluated system is an effective option for water reuse in aquaculture recirculating systems. In spite of ammonium nitrogen concentration variability which average value was 0.136 mg/L, the reactor influent maintained water quality characteristics in stable conditions, with average concentrations of ammonia nitrogen of 0.079 mg/L and dissolved oxygen concentration of 6.70 mg/L, recommended for fish culture and within the permitted values by the Brazilian legislation (CONAMA Resolution No. 357 of march 5 of 2005) for the disposal of final effluent in receiving water bodies.

Key words: aerobic reactor, biological treatment, intensive fish culture, recirculation systems, three phase fluidized bed.

□ Para citar este artículo: Sánchez IA, Matsumoto T. Monitoramento de 24 horas do desempenho de reator aeróbio de leito fluidizado trifásico na remoção de amônio num sistema de recirculação para produção de tilápia. Rev Colomb Cienc Pecu 2011; 24:263-271

* Autor para correspondência: Iván A Sánchez. Departamento de Recursos Hidrobiológicos, Facultad de Ciencias Pecuarias de la Universidad de Nariño. Carretera 22 No. 28-109 Ciudad Universitaria, Barrio Torobajo. San Juan de Pasto, Nariño – Colombia. Teléfono: (032)7311449 Extensión 239. Fax: (032)7314482. E-mail: iaso@udenar.edu.co

Resumo

O objetivo deste trabalho foi monitorar o desempenho de remoção de nitrogênio amoniacal no tratamento das águas residuárias da produção intensiva de tilápia nilótica em sistema com recirculação de água. O sistema foi constituído por um sedimentador convencional e um reator aeróbio de leito fluidizado trifásico com circulação, operados com tempos de detenção hidráulica de 176.4 e 11.9 minutos respectivamente. O meio suporte utilizado no reator foi o carvão ativado granular com densidade aparente de 1.64 g/cm³ e tamanho efetivo de 0.34 mm; a concentração do meio suporte no reator foi mantida constante em 80 g/L. A eficiência média de remoção do nitrogênio amoniacal total foi de 41.2%. O sistema avaliado é uma alternativa efetiva para o reuso da água em sistemas de recirculação para aquicultura. Embora a variabilidade das concentrações do nitrogênio amoniacal afluente cujo valor médio foi de 0.136 mg/L, o efluente do reator conservou as características de qualidade da água estáveis, com concentrações médias de nitrogênio amoniacal de 0.079 mg/L e do oxigênio dissolvido de 6.70 mg/L, recomendáveis para a criação dos peixes e nas faixas de valores permitidos pela legislação Brasileira (Resolução CONAMA No. 357 de março 5 de 2005) para lançamento de efluentes finais nos corpos de água receptores.

Palavras chave: leito fluidizado trifásico, piscicultura intensiva, reator aeróbio, sistemas de recirculação, tratamento biológico.

Resumen

El objetivo de este trabajo fue monitorear el desempeño de remoción de nitrógeno amoniacal en el tratamiento de las aguas residuales de producción intensiva de tilapia nilótica en un sistema con recirculación de agua. El sistema estuvo constituido por un sedimentador convencional y un reactor aerobio de lecho fluidizado trifásico con circulación, operados con tiempos de retención hidráulica de 176.4 y 11.9 minutos, respectivamente. El medio soporte utilizado en el reactor fue carbón activado granular con densidad aparente de 1.64 g/cm³ y tamaño efectivo de 0.34 mm; la concentración del medio soporte en el reactor se mantuvo constante en 80 g/L. La eficiencia media de remoción del nitrógeno amoniacal total fue de 41.2%. El sistema evaluado es una alternativa efectiva para el reuso del agua en sistemas de recirculación para acuicultura. Pese a la variabilidad de las concentraciones de nitrógeno amoniacal afluente cuyo valor promedio fue de 0.136 mg/L, el efluente del reactor mantuvo las características de calidad del agua en condiciones estables, con concentraciones promedio de nitrógeno amoniacal de 0.079 mg/L y de oxígeno disuelto de 6.70 mg/L, recomendables para el cultivo de los peces y en los valores permitidos por la legislación Brasileira (Resolución CONAMA No. 357 de marzo 5 de 2005) para lanzamiento de efluentes finales en cuerpos de agua receptores.

Palabras clave: lecho fluidizado trifásico, piscicultura intensiva, reator aerobio, sistemas de recirculación, tratamiento biológico.

Introdução

A produção aquícola cresceu mais do que outros setores da produção de alimentos de origem animal, numa taxa anual de 6.9%, desde 1970 até 2006 (FAO, 2009). Os sistemas de recirculação para aquicultura (SRA) são sistemas fechados que incorporam o tratamento e reuso de água, com menos de 10% de descarte e reposição do volume total de água por dia (Hutchinson *et al.*, 2004).

Segundo Naylor *et al.* (2000), para produzir 1 kg de massa viva de tilápia são necessários 2 kg de alimento

seco (adotando uma razão de conversão alimentícia de 1:2 para tilápia). Da ração fornecida num sistema de criação de peixes são excretados: aproximadamente 36% na forma de DBO; 75% do nitrogênio na forma de amônia (BRUNE *et al.*, 2003); e cerca de 85% do fósforo (Gutierrez-Wing e Malone, 2006).

Os nutrientes e a matéria orgânica (MO) dos efluentes originam degradação ambiental nos corpos de água receptores. A legislação ambiental é um dos mecanismos para estabelecer limites sustentáveis nas atividades poluidoras dos recursos hídricos. No Brasil, as condições e padrões de lançamento de

efluentes são estabelecidos na Resolução CONAMA No. 357 (Brasil, 2005).

Além das restrições ambientais, a bio-segurança na captação de águas naturais, a escassez, altos custos e exigências de controle de qualidade da água justificam o tratamento dos efluentes da aquicultura, especialmente nos SRA para produção intensiva (Avnimelech, 2006). Nestes sistemas, os biofiltros tratam as águas contaminadas com amônia e MO e reduzem a quantidade de água usada e descartada pelas operações aquícolas (Gutierrez-Wing e Malone, 2006).

Há dois tipos básicos de sistemas para tratamento biológico das águas na aquicultura: os de biofilme fixo emerso; e os de biofilme fixo submerso, como os biofiltros de leito fluidizado (Crab et al., 2007), com meios granulares fluidizados, comumente areia, sob a ação de um fluxo de água ascendente.

A respiração dos animais, a degradação da MO, e a transformação ou oxidação do nitrogênio amoniacal total (NAT) produzem depleção do oxigênio dissolvido (OD). Segundo Nicolella et al. (2000), quando nos reatores de leito fluidizado bifásicos há uma alta demanda de oxigênio, estes poderão ser aerados diretamente por meio da injeção de ar, constituindo reatores de leito fluidizado de três fases.

O objetivo principal deste trabalho foi avaliar ao longo de 24 horas contínuas a eficiência de remoção de NAT, no tratamento de águas residuárias de um SRA de produção intensiva de tilápia nilótica, por meio de um reator aeróbio de leito fluidizado trifásico com circulação, com um meio suporte mais leve do que a areia para economizar energia na fluidização do leito.

Materiais e métodos

O experimento foi desenvolvido nos Laboratórios de Hidrologia e Hidrometria e de Saneamento da Faculdade de Engenharia, campus de Ilha Solteira (FEIS) da Universidade Estadual Paulista (UNESP).

O SRA avaliado durante 24 horas teve processo de amadurecimento de cinquenta e seis dias e foi constituído de três unidades de criação intensiva de tilápia, com densidade de estocagem de biomassa mínima de 30 kg/m³, cujos efluentes foram tratados por meio de um sedimentador convencional, um reator aeróbio de leito fluidizado trifásico por injeção de ar (*air lift*) com circulação em tubos concêntricos, e um reator para remoção de CO₂ e transferência de OD. O efluente final do sistema de tratamento foi recalcado por bombeio para sua recirculação às unidades de criação. A configuração do SRA e os volumes e tempos de detenção hidráulica (TDH) do sistema estão apresentados na figura 1.

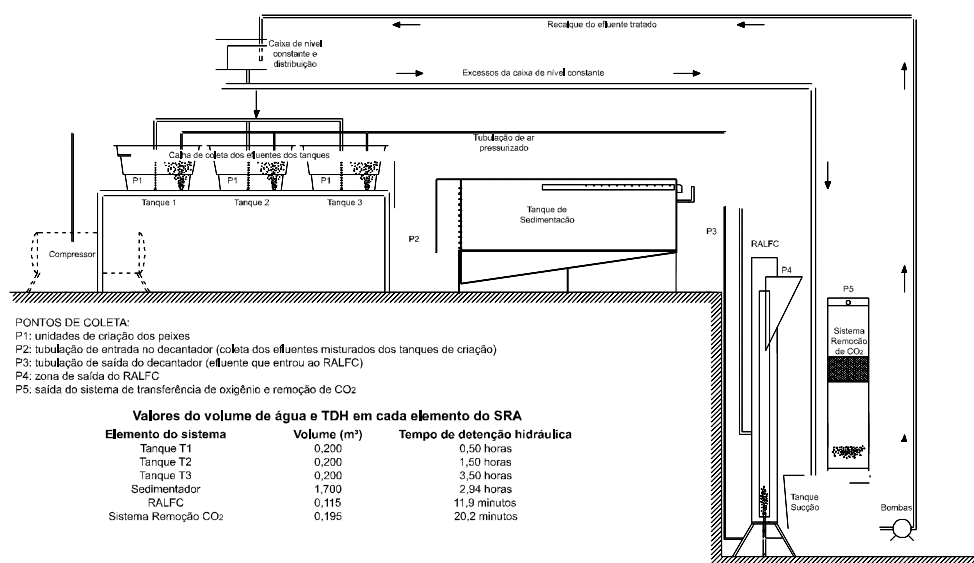


Figura 1 – Características hidráulicas e perfil no sistema de recirculação para aquicultura avaliado.

Materiais

A unidade experimental avaliada no projeto de pesquisa esteve composta por:

Três tanques plásticos para criação das tilápias, com drenos de fundo centrais, interconectados com uma calha de seção semicircular de 100 mm de diâmetro para coleta dos efluentes dos tanques e conservação do nível de água dentro deles. Os tanques tinham iguais volumes efetivos e diferentes vazões de entrada da água, representando diferentes TDH, segundo o exposto na figura 1; um sedimentador retangular em chapa metálica de 1.0 m de largura, 2.0 m de comprimento com 1.4 m³ de volume útil; um reator aeróbio de leito fluidizado trifásico com circulação (RALFC) em tubos concêntricos de PVC com tubo externo de 0.25 m de diâmetro e altura de 2.0 m; e tubo interno de 0.10 m de diâmetro e 2.17 m de altura. O reator possui uma unidade de sedimentação e saída do efluente na parte superior, segundo a disposição indicada na figura 1.

Um reator em tubo de PVC de diâmetro interno 0.40 m e 1.60 m de altura para transferência de OD e remoção de CO₂ da água efluente do RALFC. Dentro do tubo, para aumentar o tempo de permanência das bolhas injetadas pelo fundo, foi disposta uma camada de 0.30 m de recheio de tiras de mangueira de PVC de diâmetro 10 mm e comprimento de 20 mm; um compressor de 7.5 HP de potência, equipado com válvula reguladora de pressão; um rotâmetro para controle da vazão de ar introduzida no RALFC, por meio de um injetor de ar de 40 mm de diâmetro, com 216 furos de 1.0 mm de diâmetro; e um segundo rotâmetro para o sistema de transferência de OD e remoção de CO₂ mediante disco com membrana para produção de micro bolhas; um tanque de sucção para recalque do efluente tratado com volume de 0.25 m³; duas bombas centrífugas, de ½ e ¾ HP de potência para recalque do efluente do sistema de tratamento até a caixa de distribuição do fluxo para os tanques; uma caixa de nível constante com capacidade de 0.05 m³, utilizada na distribuição da água para os três tanques de criação dos peixes; sistema de tubulações em PVC de diâmetro interno de 25 mm para distribuição de água aos tanques de criação e

entre as unidades de tratamento; um soprador de ½ HP de potência com tubulação de saída de diâmetro 25 mm para injeção de ar nas unidades de criação e nos tanques de descloração; 66 tilápias distribuídas nos três tanques de criação para garantir uma biomassa de aproximadamente 6 kg em cada caixa (densidade de peixes de 30 kg/m³); carvão ativado granular (CAG) como meio suporte do biofilme no reator aeróbio.

Métodos

Ensaio hidrodinâmico preliminar determinaram que no RALFC precisava-se uma vazão de ar de 600 L/h para suspensão e recirculação do CAG e para garantir transferência de OD. A caracterização granulométrica e a determinação da massa específica dos grãos do CAG foram realizadas com base nos métodos preconizados pelas normas NBR 7181 e NBR 6508 da ABNT (1984).

Na incorporação do meio suporte no RALFC utilizou-se uma vazão de ar de 2000L/h para evitar a sedimentação inicial dos grãos e manter o CAG em circulação. O meio suporte foi inserido pela parte superior do reator, progressivamente, em quantidades equivalentes à concentração de 10 g/L até a concentração de avaliação do sistema de 80 g/L; uma vez atingida tal concentração no reator, a vazão de ar foi reduzida para 600 L/h.

Na inoculação do reator, utilizaram-se durante uma semana quantidades iguais de água desclorada e água da zona litoral do lago do Ipê, localizado no Município de Ilha Solteira - SP. Depois da introdução do CAG, a cada quatro dias, foram feitas três trocas de água parciais do sistema para remoção da cor preta produzida pela hidratação do meio suporte e pela passagem de alguns grãos do carvão pela bomba de recalque. Posteriormente, durante uma semana e meia, adicionou-se diariamente no reator 200 L de água originária da troca de água de um tanque de 1 m³ para criação de peixes ornamentais com o propósito de incrementar de maneira progressiva a concentração dos compostos nitrogenados.

Antes deste monitoramento o SRA foi avaliado diariamente ao longo de oito semanas contínuas. A

coleta de amostras e as medições dos parâmetros *in loco* foram feitos nos pontos: P1, P2, P3, P4 e P5 cuja disposição pode ser observada na figura 1. Cada semana esvaziou-se e limpou-se totalmente o sedimentador para retirar o acúmulo de sólidos sedimentados e flutuantes. Isto representou uma reposição semanal de 55% do volume total da água do SRA (7.8% do volume total por dia), enquadrando nos valores recomendados por Hutchinson *et al.* (2004) e Timmons *et al.* (2002). Os peixes foram alimentados diariamente com ração comercial, com 30% de conteúdo de proteína, numa proporção entre 2 e 3% do peso vivo, distribuído em três vezes ao dia, segundo o recomendado por Kubitzka (2000).

Para este experimento, os parâmetros medidos por meio de uma sonda YSI Inc. 6920 foram: oxigênio dissolvido, pH, temperatura, amônia como NH_3 , amônia como NH_4^+ . Controlou-se a vazão e pressão do ar, a concentração do meio suporte, e as vazões de água para garantir os TDH.

Resultados

Caracterização física do meio suporte

A massa específica do CAG foi $\rho_s=1.64 \text{ g/cm}^3$; os D_{10} , D_{30} , D_{50} , D_{60} , e D_{90} foram respectivamente de 0.34, 0.46, 0.52, 0.57, e 0.75 mm; e o coeficiente de uniformidade ($\text{CU}=\text{D}_{60}/\text{D}_{10}$) foi de 1.676. Quanto mais próximo o CU ao valor unitário, maior predominância de um tamanho de material (mais uniforme). Para materiais granulares tais como a areia, autores como Lambe e Withman (2004) e Juárez e Rico (2002), definiram uma boa gradação para aqueles que tiverem valores de $\text{CU}>6$.

Águas utilizadas na inoculação do RALFC

Os valores médios de sólidos totais (ST) medidos na água do lago do Ipê e no tanque de criação de peixes ornamentais foram bastante similares, com 103 e 109 mg/L, respectivamente. A água do tanque de criação dos peixes ornamentais

apresentou maior concentração de sólidos dissolvidos (SD), e a água do Ipê conteve maior quantidade de sólidos suspensos (SS) e de sólidos totais voláteis (STV).

A água do Ipê apresentou valores médios de DBO e de DQO de 1.38 e de 1.46 mg/L respectivamente. enquanto o tanque de criação registrou 3.5 e 8 mg/L. As médias dos valores de fósforo total, nitrogênio total e NAT registrados na água do lago Ipê e no tanque foram 0.075, 1.3 e 0.05 mg/L; e 0.650, 1.8, e 0.12 mg/L respectivamente.

Remoção do NAT no monitoramento

No início do projeto houve altos valores das formas de NH_4^+ e NH_3 e da sua soma (NAT), atingindo uma concentração máxima de 1.787 mg/L de NAT, enquanto o biofilme conseguia se adaptar ao tipo de água característica do SRA e manter um aparente equilíbrio entre a quantidade de amônia excretada pelos peixes ou produzida pela decomposição bacteriana de ração não consumida (Durborow *et al.*, 1997) e a quantidade de amônia removida pelo reator. Esta situação pode ser explicada pelas altas concentrações do NAT nas duas primeiras semanas da partida dos filtros biológicos segundo o reportado por Timmons e Ebeling (2010).

O valor médio do NAT registrado na entrada do RALFC ao longo do experimento foi de 0.325 mg/L. Após a estabilização do reator, as concentrações medidas foram menores de 0.5 mg/L, e estiveram dentro das faixas estabelecidas por autores como Timmons *et al.* (2002) e Colt (2006), com valores inferiores aos 3.0 mg/L e 1.0 mg/L para espécies de águas cálidas e frias, respectivamente.

A figura 2 apresenta as concentrações do NAT no tanque de criação 2 (T2); no afluente do sedimentador (A.Sed); e no efluente do RALFC (E.RLF).

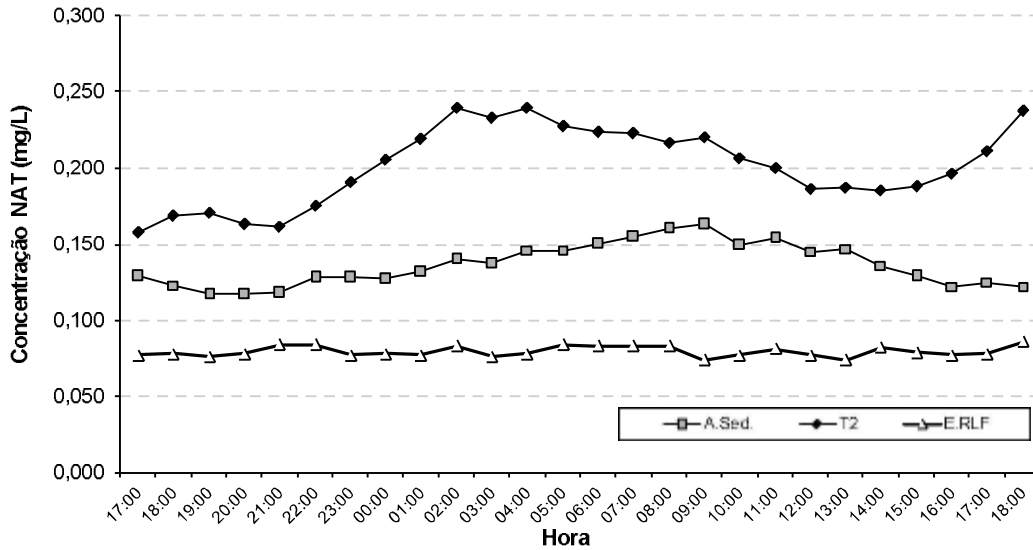


Figura 2. Concentrações de NAT medidas no experimento.

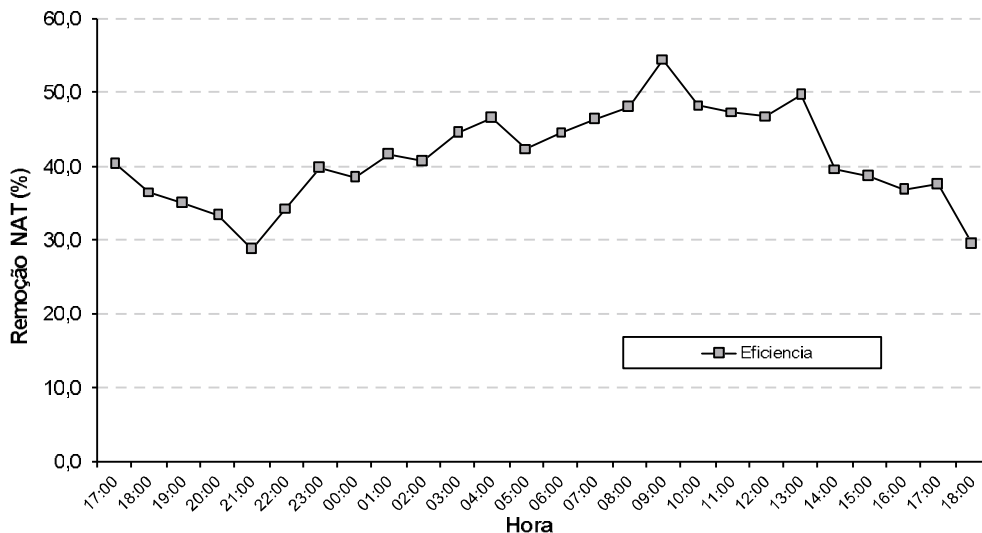


Figura 3. Eficiências na remoção do NAT no reator aeróbio de leito fluidizado.

A eficiência de remoção do NAT no monitoramento de 24 horas (Figura 3) foi determinada com base nas concentrações do efluente misturado e uniformizado dos tanques de criação na entrada do sedimentador e na saída do RALFC. O valor médio da eficiência do sistema foi de 41.2%, com valor máximo de 54.6% e mínimo de 28.8%.

Temperatura e concentração de OD

Durante as 8 semanas iniciais do experimento a menor concentração de OD nos tanques foi de

2.0 mg/L, que coincidiu com o mínimo valor recomendável para tanques de criação de SRA (Krause *et al.*, 2006). Nesse mesmo período, a concentração média de OD no afluente do sedimentador foi 6.0 mg/L e a concentração média de OD na saída do RALFC foi 8.1 mg/L. Em geral, houve valores de OD que favoreceram o bom desempenho do RALFC.

Durante o monitoramento de 24 horas as temperaturas médias registradas no tanque 2, na entrada do sedimentador, e na saída do RALFC

foram de 20.58; 24.01; e 25.07 °C. Os valores das concentrações de OD máxima, média e mínima medidas no tanque 2 foram: 5.78; 5.09; e 4.13 mg/L; os valores registrados no sedimentador foram: 6.50; 6,02; e 5.63 mg/L; e no RALFC as concentrações foram: 6.81; 6.70; e 6.41 mg/L respectivamente. As variações do OD durante a pesquisa estão representadas na figura 4.

Monitoramento do pH

Nas oito primeiras semanas, o pH permaneceu estável, com oscilações entre 7.0 e 8.1. No monitoramento de 24 horas, os valores médios calculados no tanque 2, na saída do sedimentador e no efluente do reator foram: 7.70; 7.57; e 7.45 que estiveram dentro das faixas recomendadas para produção piscícola por autores como Masser *et al.* (1999) e Timmons *et al.* (2002).

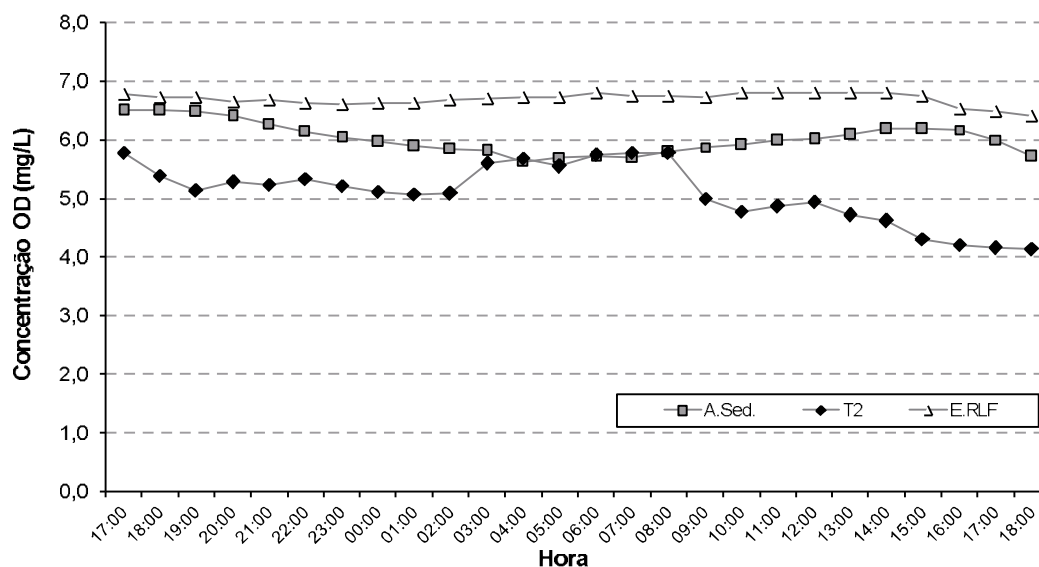


Figura 4. Variabilidade da concentração do OD no SRA nas 24 horas.

Discussões

O meio suporte utilizado teve boa uniformidade, representada pelo baixo valor de CU (IMTA, 1990). Também apresentou baixa massa específica, tornando-o de fácil suspensão, requerendo baixas vazões de ar em comparação às requeridas na expansão e circulação de outros materiais tais como areia e carvão antracitoso. Ruggeri (2002) reportou vazões de ar superiores aos 1100 L/h para manter a circulação de areia em reatores de leito fluidizado trifásico com diâmetro externo de 0.20 m e diâmetros internos de 0.15 e 0.10 m; Gebara (2006) utilizou vazões de ar de 2100 L/h para manter a circulação e garantir que os processos biológicos ocorressem adequadamente em reatores com diâmetro externo de 0.25 m e diâmetro interno de 0.10 m.

Na inoculação do reator, a água do tanque de criação dos peixes ornamentais apresentou maiores concentrações de SD devido a ração não consumida e as fezes dos animais. A água do lago registrou maior quantidade de SS e de STV pela presença de microalgas comuns na zona litoral desse tipo de águas naturais (Roldán e Ramírez, 2008).

Houve variabilidade do NAT ao longo das 24 horas de monitoramento do sistema. A variação das concentrações da amônia dentro das unidades de criação (Tanque 2) dependeu principalmente da dinâmica de excreção deste composto pelas brânquias dos peixes (Lagler *et al.*, 1990). O afluente misturado dos três tanques teve menor variabilidade e registrou o máximo valor no horário das 9 horas da manhã. As concentrações de NAT registradas no efluente do RALFC foram

homogêneas (Figura 2), sugerindo a capacidade do reator para assimilar a variação de concentrações do afluente e manter uma qualidade uniforme no efluente tratado. A concentração média calculada foi de 0.079 mg/L, este valor foi inferior aos padrões de qualidade das águas doces definidos pela Resolução CONAMA 357 para diferentes condições de pH; igualmente, foi inferior aos 20 mg/L estabelecidos pela mesma Resolução como valor máximo para o lançamento de efluentes.

O uso de meio suporte com D_{10} pequeno favoreceu o desempenho do reator na formação do biofilme, pois segundo o afirmado por Nam *et al.* (2000), nos reatores de leito fluidizado, quanto menor o tamanho dos grãos melhor a estrutura dos biofilmes. Nesta pesquisa utilizou-se no reator CAG com tamanho efetivo de 0.34 mm; a eficiência média na remoção do NAT calculada no monitoramento foi de 41.2%, maior do que as reportadas por autores como Timmons *et al.* (2002) e Summerfelt (2006), em cujos experimentos utilizaram areias com D_{10} entre 0.45 e 0.80mm em reatores de leito fluidizado bifásico. Gebara (2006) reportou eficiências médias de remoção de NAT entre 75 e 87% para RALFC com altura de 6 m e TDH de 1 e 8 horas respectivamente; para RALFC com altura de 12 m as eficiências médias foram de 98 e 94% para TDH de 1 e 8 horas, respectivamente, no tratamento de esgoto doméstico.

No experimento observou-se a influência da temperatura no teor do OD nos tanques de criação e nos reatores; quanto menor a temperatura houve maior solubilidade, o que coincidiu com o afirmado por autores como Metcalf & Eddy (1996) e Timmons *et al.* (2002). O reator de leito fluidizado por *air lift* avaliado demonstrou capacidade de manter os níveis de OD em condições favoráveis para o tratamento aeróbio das águas residuárias; para produzir um efluente com concentrações adequadas para criação dos peixes; ou para sua disposição final nos corpos de água receptores de acordo com o estabelecido pela Resolução CONAMA 357, com concentrações superiores aos 6.0 mg/L.

As concentrações do OD nos tanques de criação foram afetadas pelo consumo de oxigênio oriundo da respiração dos peixes, consumo que aumenta em condições de temperaturas altas e durante a digestão do alimento (Masser *et al.*, 1999). Os valores de pH registrados no experimento garantiram uma percentagem relativamente estável da forma mais tóxica da amônia: o NH_3 , e favoreceram o crescimento e função das bactérias nitrificantes segundo o afirmado por Metcalf & Eddy (1996) e Krause *et al.*, (2006).

Pelos resultados obtidos pode-se concluir que:

1. A eficiência média de remoção do NAT no sistema de tratamento pelo reator aeróbio de leito fluidizado trifásico com circulação em tubos concêntricos foi de 41.2% num período de 24 horas contínuas.
2. O uso de carvão ativado granular é uma alternativa que reduz a quantidade de ar precisada para fluidizar o meio suporte em comparação à precisada no caso do uso de areia.
3. O RALFC avaliado demonstrou boa capacidade de manter homogêneas as características do efluente final embora a variabilidade das concentrações do NAT no líquido afluente.
4. A fluidização do médio suporte por meio da injeção de ar ofereceu boa eficiência na nitrificação e manteve as concentrações do OD nas faixas recomendáveis para o reuso no próprio sistema de recirculação sem precisar de injeção de oxigênio puro.
5. A configuração do sistema de tratamento do SRA composto pelo sedimentador e o RALFC manteve a qualidade da água nos valores permitidos pela legislação brasileira para lançamento de efluentes nos corpos de água em relação ao nitrogênio amoniacal total e ao oxigênio dissolvido.

Referencias

- Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. NBR 6508/84: Determinação da Massa Específica: Grãos de Solos que Passam na Peneira de 4,9 mm. Rio de Janeiro 1984. p8.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. NBR 7181/84: Análise Granulométrica: Solo. Rio de Janeiro 1984. p13.
- Avnimelech Y. Bio-filters: The need for a new comprehensive approach. *Aquacultural Engineering* 2006; 34:172-178.
- Brasil. Resolução CONAMA N° 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. URL: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>.
- Brune DE, Schwartz G, Eversole AG, Collier JA, Schwedler TE. Intensification of pond aquaculture and high rate photosynthetic systems. *Aquacultural Engineering* 2003; 28:65-86.
- Colt J. Water quality requirements for reuse systems. *Aquacultural Engineering* 2006; 34:143-156.
- Crab R, Avnimelech Y, Defoirdt T, Bossier P, Verstraeteet W. Nitrogen removal techniques in aquaculture for a sustainable production. *Aquaculture* 2007; 270:1-14.
- Durborow RM, Crosby DM, Brunson MW. Ammonia in fish ponds. Southern Regional Aquaculture Center. SRAC Publication No. 463; 1997:2.
- Food And Agriculture Organization Of The United Nations. The State of World Fisheries and Aquaculture 2008. FAO Fisheries and Aquaculture Department. Rome; 2009.
- Gebara D. Desempenho de um reator aeróbio de leito fluidizado no tratamento de esgoto sanitário. Tese (Doutorado em Engenharia) Universidade de São Paulo, Escola Politécnica. São Paulo; 2006.
- Gutierrez-Wing MT, Malone RF. Biological filters in aquaculture: trends and research directions for freshwater and marine applications. *Aquacul Engineer* 2006; 34:163-171.
- Hutchinson W, Jeffrey M, O'sullivan D, Casement D, Clarke S. Recirculating aquaculture systems minimum standards for design, construction and management. Inland Aquaculture Association of South Australia Inc.; 2004.
- Instituto Mexicano de tecnología del agua - IMTA. Mecánica de suelos: Instructivo para el ensaye de suelos. México; 1990.
- Juárez EB, Rico AR. Mecánica de suelos: fundamentos de la mecánica de suelos. Editorial Limusa. México; 2002.
- Krause J, Kuzan D, Defrank M, Mendez R, Pusey J, Braun C. Design guide for recirculating aquaculture system. Rowan University; 2006.
- Kubitza F. TILAPIA, tecnologia e planejamento na produção comercial. Jundiaí, SP, Brasil; 2000.
- Lagler KF, Bardach JE, Miller RR, Passino DRM. Ictiología. Primera Edición. A.G.T. Editor. México; 1990.
- Lambe W, Whitman R. Mecánica de suelos. Editorial Limusa. México; 2004.
- Masser MP, Rakocy J, Losordo TM. Recirculating Aquaculture Tank Production Systems - Management of Recirculating Systems. Southern Regional Aquaculture Center. SRAC Publication No. 452; 1999. URL: <http://aqua.ucdavis.edu/DatabaseRoot/pdf/452RFS.PDF>
- Metcalf & Eddy. Ingeniería de aguas residuales- Tratamiento, vertido y reutilización. 3 ed. Vol I. Mc Graw Hill; 1996.
- Nam TK, Timmons MB, Montemagno CD, Tsukuda SM. Biofilm characteristics as affected by sand size and location in fluidized bed vessels: *Aquacul Engineer* 2000; 22:213-224.
- Naylor RL, Goldburg RJ, Primavera JH, Kautsky N, Beveridge MCM, Clay J, Folke C, Lubchenco J, Mooney H, Troell M. Effect of aquaculture on world fish supplies. *Nature* 2000; 405:1017-1024.
- Nicolella C, Van Loosdrecht MCM, Heijnen JJ. Wastewater treatment with particulate biofilm reactors. *J Biot* 2000; 80:1-33.
- Roldán PG, Ramírez RJJ. Fundamentos de limnología neotropical. 2ed. Universidad de Antioquia. Medellín; 2008.
- Ruggeri JCH. Hidrodinâmica de reatores aeróbios de leito fluidizado com circulação em tubos concêntricos. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia. Ilha Solteira SP; 2002.
- Summerfelt ST. Design and management of conventional fluidized-sand biofilters. *Aquacul Engineer* 2006; 34:275- 302.
- Timmons MB, Ebeling JM, Wheaton FW, Summerfelt ST, Vinci BJ. Sistemas de recirculación para la acuicultura. Fundación Chile; 2002.
- Timmons MB, Ebeling JM. Recirculating Aquaculture. Northeastern Regional Aquaculture Center ; 2010.