

## **II-099 - AVALIAÇÃO DA INTERFERÊNCIA DE DIFERENTES NÍVEIS DE RADIAÇÃO SOLAR NA DINÂMICA DO NITROGÊNIO EM LAGOAS DE ALTA TAXA**

**Livia Dal Sasso de Souza<sup>(1)</sup>**

Graduanda em Engenharia Ambiental na Universidade Federal de Viçosa – UFV.

**Maria Lúcia Calijuri**

Engenheira Civil pela Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo - USP. Doutora em Engenharia Civil pela Universidade de São Paulo, área de concentração Geotecnia. Professora Titular, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa- UFV.

**Fernanda Brazillias Gouvêa**

Graduanda em Engenharia Ambiental na Universidade Federal de Viçosa – UFV.

**Eduardo de Aguiar do Couto**

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa. Mestre em Engenharia Civil, área de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Viçosa. Doutorando em Engenharia Civil, Engenharia Sanitária e Ambiental - UFV.

**Luna Gripp Simões Alves**

Engenheira Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa. Mestre em Engenharia Civil, área de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Viçosa.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Av. PH Rolfs, s/n – Campus Universitário, DEC/CCE, sala 320 – Viçosa – Minas Gerais - CEP: 36570-000 - País - Tel: +55 (31) 3899-3098. e-mail: liviadsasso@gmail.com.

### **RESUMO**

Lagoas de alta taxa (LATs) representam alternativa interessante para o tratamento de efluentes, uma vez que possuem reduzida demanda de área e são de simples operação. O objetivo do estudo foi avaliar a dinâmica de nitrogênio em LATs sob diferentes intensidades de radiação solar. O experimento foi realizado na Unidade Experimental de Tratamento de Esgotos e Reúso de Efluentes da Violeira, em Viçosa, Minas Gerais. Foram avaliadas três lagoas de alta taxa com diferentes coberturas para interceptação da intensidade luminosa, com 0%, 9% e 60% de interceptação. Durante o monitoramento, foram analisadas diversas formas de nitrogênio e outras variáveis de qualidade da água que podem interferir no comportamento do mesmo, como temperatura, pH e oxigênio dissolvido. A concentração de sólidos suspensos voláteis foi utilizada como medida indireta da presença de biomassa. As remoções obtidas para NTK variaram de 44,7 a 60,6% e para N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> variaram de 57,6 a 77,7%. Para nitrogênio orgânico as remoções foram próximas à zero. Os valores de pH e temperatura encontrados permitiram afirmar que a volatilização do nitrogênio amoniacal não foi o mecanismo predominante na remoção de nitrogênio. A LAT com 9% de interceptação da radiação solar apresentou maiores concentrações de sólidos suspensos voláteis e maior concentração de oxigênio dissolvido, o que pode indicar maior produtividade de biomassa algal e favorecimento da nitrificação. As condições ambientais e de operação impostas às lagoas de alta taxa possibilitaram elevada remoção de nitrogênio amoniacal, tanto por nitrificação, quanto por assimilação por parte da biomassa. Considerando esse último mecanismo, fica evidenciada a necessidade de sistema de separação da biomassa a jusante das LATs, para a otimização da remoção de nitrogênio.

**PALAVRAS-CHAVE:** Lagoa de alta taxa, radiação solar, dinâmica de nitrogênio.

### **INTRODUÇÃO**

O esgoto doméstico representa uma das principais fontes de aporte de nitrogênio em mananciais, que em excesso pode provocar a eutrofização dos mesmos (de GODOZ et al., 2010). A origem desse nutriente nos corpos d'água pode ser diferente em situações distintas. Em áreas agrícolas, com extensa utilização de fertilizantes, o carreamento de partículas consiste em uma das principais formas de poluição difusa, enquanto o lançamento de efluentes (domésticos e industriais) sem o devido tratamento é a principal forma de poluição pontual. Os efeitos indiretos da elevada concentração de nitrogênio são inúmeros, podendo afetar a saúde humana (síndrome do bebê azul), provocar a mortandade de peixes, contribuir para a degradação do aspecto visual, além de elevar o custo do tratamento de água (BABU et al., 2011). Muitos países têm adotado limites

mais rigorosos em relação ao nitrogênio para o lançamento de efluentes em corpos d'água, o que pode implicar no maior custo de operação devido à modernização das tecnologias existentes, ou mesmo o surgimento novos sistemas (BABU et al., 2011). Nesse contexto, as lagoas de alta taxa (LATs) inserem-se como alternativa para o tratamento de efluentes domésticos e industriais, pois, dentre outras vantagens, oferecem resultados eficazes e eficientes, com baixo consumo de energia, apresentando diversos avanços em relação ao sistema de lagoas convencional (CRAGGS et al., 2003; GARCÍA et al., 2006; HEUBECK et al., 2007; PARK and CRAGGS, 2010).

Os principais mecanismos de remoção de nitrogênio são nitrificação, desnitrificação, volatilização, sedimentação e absorção pela biomassa. A prevalência de um mecanismo em relação aos outros depende de condições ambientais e operacionais do sistema de tratamento utilizado (CAMARGO VALERO et al. 2009; GONZALEZ e MOLINUEVO-SALCES, 2010). Nas LATs, a dinâmica de nitrogênio é controlada pela atividade fotossintética de microalgas. Esses organismos utilizam o  $\text{CO}_2$  proveniente da degradação da matéria orgânica e os nutrientes presentes no esgoto para se desenvolver. Todavia, a incidência de radiação solar acima do ponto de saturação pode prejudicar o crescimento da biomassa algal, diminuindo a taxa de fotossíntese e consequentemente, a produtividade das microalgas (RICHMOND et al., 2003 e RICHMOND, 2004), interferindo na dinâmica dos compostos químicos presentes no meio, sobretudo os nutrientes.

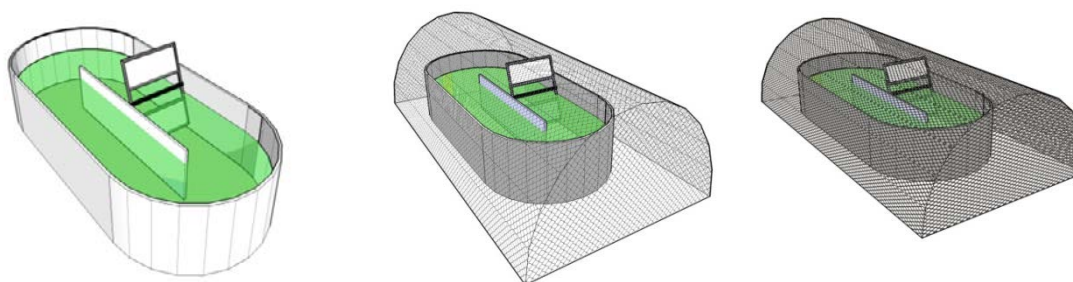
O objetivo dessa pesquisa foi estudar a dinâmica do nitrogênio em lagoas de alta taxa sob diferentes intensidades de radiação solar de forma a inferir sobre a importância de cada mecanismo na remoção de nitrogênio.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi realizado na Unidade Experimental de Tratamento de Esgotos e Reúso de Efluentes do município de Viçosa, Minas Gerais, Brasil, situado nas coordenadas geográficas 20°45'41,4020''S e 42°52'11,9622''O.

O clima local, de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo Cwa, mesotérmico, com inverno frio e seco (temperaturas inferiores a 18°C) e verão quente e chuvoso (temperaturas superiores a 22°C). A temperatura média anual da região varia de 14,6 a 21,8°C e o índice pluviométrico anual é de cerca de 1220 mm, concentrando-se no período de novembro a março.

A unidade experimental foi constituída por um reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo (UASB) em escala real (vazão média de 115  $\text{m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$ , volume de 48  $\text{m}^3$ , altura de 5,70 m e TDH de 7 dias) e três LATs em escala piloto, construídas em fibra de vidro, com lâmina d'água de 0,3 m e volume de 1  $\text{m}^3$ . O tempo de detenção hidráulica foi ajustado para 4 dias, através de uma vazão de 10,4  $\text{L} \cdot \text{h}^{-1}$ . Foram instaladas pás giratórias impulsionadas por um conjunto motor redutor que tem sua velocidade angular controlada por um inversor de frequência WEG CFW10, para prover o fluxo do efluente, fornecendo ao meio uma velocidade de aproximadamente 0,15  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ . As três LATs diferiram entre si pela cobertura utilizada para interceptar a radiação solar. Uma das LATs operou sem cobertura, enquanto as outras operaram com telas de polietileno de 9 e 60% de retenção dos raios solares. A Figura 1 apresenta um esquema das três LATs utilizadas na pesquisa.



**Figura 1. Da esquerda para direita: LAT testemunha, com 9% de sombreamento e com 60% de sombreamento.**

O monitoramento da unidade aconteceu de maio a dezembro de 2011, com um total de 39 campanhas de amostragem. A coleta foi realizada entre 8 e 16 horas, em intervalos de duas horas. Temperatura, oxigênio dissolvido e pH foram monitorados em campo, com o auxílio de Medidor Digital Multiparâmetro HACH HQ40d. Já as amostras encaminhadas para laboratório foram analisadas de acordo com o Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2005), sendo realizadas as análises das seguintes variáveis: nitrogênio total kjeldahl (NTK) (4500-N D), nitrogênio amoniacal ( $N - NH_4^+$ ) (4500- $NH_3C$ ), nitrato ( $N - NO_3^-$ ) (4500- $NO_3A$ ), sólidos suspensos totais (SST) (2540D) e sólidos suspensos voláteis (SSV) (2540E). Os valores de nitrogênio orgânico foram estimados a partir de NTK e  $N - NH_4^+$ . A radiação solar foi monitorada em campo, através de radiômetro LI250a, também em intervalos de duas horas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As eficiências de remoção obtidas para cada uma das formas de nitrogênio estão apresentadas na Tabela 1.

**Tabela 1 - Eficiência de remoção para cada uma das formas de nitrogênio nas LATs**

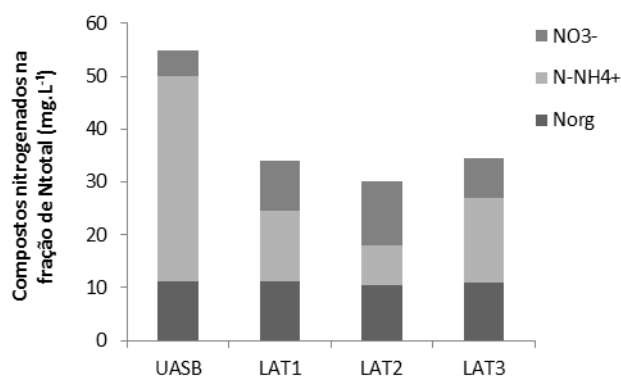
Variável mg/L	LAT 1	LAT2	LAT3
NTK	49,0%	60,6%	44,7%
$N - NH_4^+$	64,3%	77,7%	57,6%
Norg	-6,2%	-0,8%	-1,8%

NTK: Nitrogênio total kjeldahl;  $N - NH_4^+$ : Nitrogênio amoniacal; Norg: Nitrogênio orgânico.

As remoções obtidas para NTK variaram de 44,7 a 60,6%. Garcia et al. (2006), trabalhando em LATs sem cobertura, com tempo de detenção hidráulica variando de 4 a 10 dias obtiveram valores de 57 a 73% de remoção.

As remoções encontradas para nitrogênio amoniacal variaram de 57,6 a 77,7%. Esses valores foram próximos aos encontrados por Park e Craggs (2011) e Craggs et al. (2012), que trabalharam com LATs sem cobertura, sendo que os últimos adicionaram  $CO_2$  ao sistema. Os trabalhos citados obtiveram 74 e 67,4% de eficiência para remoção de nitrogênio amoniacal. Lau et al. (1995) operando experimento semelhante ao descrito, com a presença de bactérias e protozoários interagindo com a biomassa algal, obtiveram 45% de remoção de  $N - NH_4^+$ .

As remoções obtidas para nitrogênio orgânico, próximos a zero e negativos, apesar de sugerirem que não houve transformações dessa forma de nitrogênio, indicam na verdade, que o nitrogênio presente nas moléculas de matéria orgânica degradadas pelas bactérias foi assimilado em uma mesma proporção pelas algas. As concentrações de cada uma das formas de nitrogênio encontram-se expostas na Figura 2.



**Figura 2 - Concentrações médias relativas a cada uma das formas de nitrogênio.**

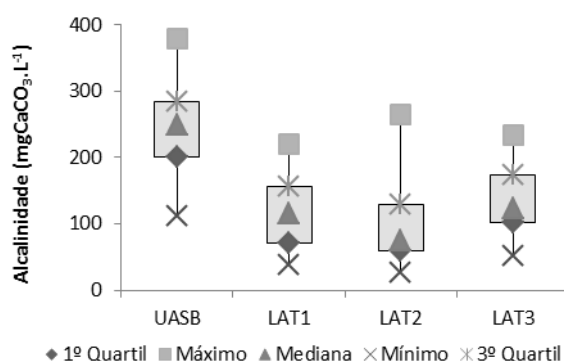
É possível observar que as concentrações de nitrogênio total e amoniacal do efluente apresentam-se sempre inferiores às concentrações do afluente. Segundo Babu et al. (2010) a assimilação por parte de microalgas é um mecanismo importante na remoção de nitrogênio. White (2000) afirma que a forma mais assimilável por parte das microalgas, e também por bactérias, é o nitrogênio amoniacal, mas o nitrato pode também ser assimilado. Cabe ressaltar que nessa pesquisa, todo o nitrogênio assimilado por algas está contemplado na concentração de nitrogênio orgânico ainda presente no efluente, uma vez que este não passou por processo de separação após as LATs. Portanto, a remoção de nitrogênio total pode ser ainda maior, com a inclusão dessa etapa de separação.

Diversas pesquisas salientam a importância da volatilização da amônia para a remoção de nitrogênio em LATs (CROMAR et al., 1996 ;GARCÍA et al., 2006), sendo que esse processo é completamente dependente do pH e da temperatura (PARK et al. 2010). Durante o desenvolvimento do presente estudo, a temperatura ficou entre 18°C e 24°C em todas as LATs, e os valores de pH foram próximos a 8, com eventos raros de valores mais elevados, indicando que nesse caso, a volatilização não foi o processo mais relevante para a remoção de nitrogênio. Esse comportamento foi semelhante ao observado por Park e Craggs (2011) e Craggs et al. (2012), que chamaram a atenção para a importância da assimilação e da nitrificação para a remoção de nitrogênio amoniacal.

Em relação à nitrificação, sabe-se que o aumento na concentração de nitrato indica a presença de bactérias nitrificantes, que oxidam a amônia como forma de obtenção de energia (WHITE, 2000).

Esse aumento da concentração de nitrato a partir da oxidação do nitrogênio amoniacal libera íons  $H^+$ , ocasionando consumo de alcalinidade, o que faz desta, uma importante variável de controle do processo de nitrificação.

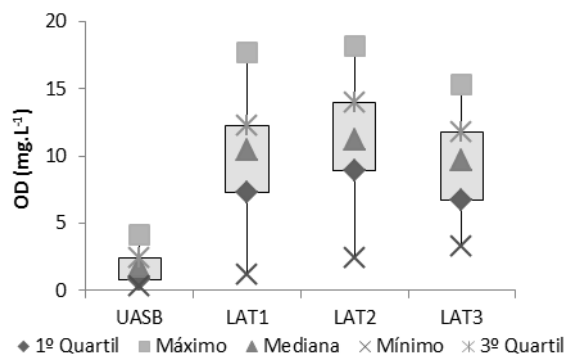
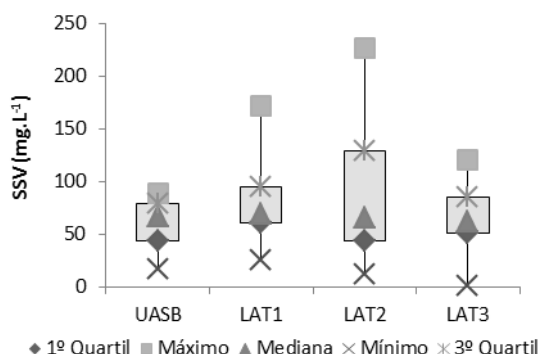
A Figura 3 apresenta os valores de alcalinidade encontrados.



**Figura 3 - Resultados obtidos para alcalinidade.**

É possível observar na Figura 3 que os menores valores de alcalinidade foram obtidos na LAT 2 (com 9% de cobertura), que foi a unidade com maior conversão de nitrogênio amoniacal a nitrato.

Além dessa relação com a alcalinidade, o comportamento das formas de nitrogênio pode sofrer interferência direta das concentrações de sólidos suspensos voláteis e oxigênio dissolvido. As Figuras 4 e 5 apresentam os resultados para essas variáveis.



**Figura 4 - Resultados para concentração de SSV.**

**Figura 5 - Resultados para concentração de OD.**

Nota-se que a LAT 2 apresenta maior concentração de SSV, ou seja, maior concentração de biomassa. Muito embora essa variável indique a concentração de biomassa total, formada por bactérias e microalgas, a maior produção de OD nessa LAT pode representar uma consequência da maior presença de microalgas nessa unidade. Esse fato pode interferir na dinâmica das formas de nitrogênio, contribuindo, tanto para a nitrificação, quanto para o aumento do pH e a consequente volatilização do nitrogênio amoniacal.

A menor concentração de SSV e OD, e a provável menor concentração de microalgas na LAT 3 pode ser atribuída à cobertura de 60% implantada sobre a unidade. A interceptação dos raios solares pode ter sido excessiva, de modo a prejudicar a atividade fotossintética das microalgas. Já na LAT 1, o ponto de saturação luminosa pode ter sido atingido. Segundo Chisti (2007), as constantes de saturação de luz para as microalgas tendem a ser mais baixo do que o nível máximo de luz solar, e com isso, o crescimento de biomassa algal pode ter sido prejudicado.

Diante do exposto, foi possível observar que em lagoas de alta taxa, que se baseiam em processos biológicos, diferentes mecanismos de remoção de nitrogênio podem ocorrer simultaneamente, sendo que as condições ambientais e operacionais interferem na predominância de um mecanismo em relação aos demais. Nas condições aqui avaliadas, percebeu-se a importância da biomassa gerada nas LATs para a ocorrência da nitrificação e da remoção de nitrogênio por assimilação.

## CONCLUSÃO

Os resultados mostraram que as LATs são eficientes na remoção de nitrogênio. Além disso, foi possível concluir a respeito da importância dos níveis de radiação solar na dinâmica do nitrogênio. Muito embora os mesmos mecanismos de remoção tenham ocorrido em todas as LATs, a interceptação de 9% da radiação favoreceu a ocorrência da nitrificação e da concentração de biomassa algal.

Foi visto também que não existe consenso a respeito da importância da volatilização do nitrogênio amoniacal nesses sistemas, sugerindo que outros estudos com esse foco precisam ser realizados a fim de preencher tal lacuna.

Uma vez confirmado que as condições existentes nas LATs favorecem a assimilação de nitrogênio por parte da biomassa, evidencia-se também a importância de mecanismos de separação a jusante das mesmas. Se por um lado isso pode acarretar em maiores custos de implantação, por outro, a eficiência de remoção não só de nitrogênio, mas também de sólidos e matéria orgânica será potencializada.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA, A. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater., 21 Ed., Washington, D.C. 2005.
2. BABU, M.A., HES, E.M.A, VAN DER STEEN, N.P., HOOIJMANS, C.M., GIJZEN, H.J. Nitrification rates of algal-bacterial biofilms in wastewater stabilization ponds under light and dark conditions. *Ecological Engineering*, pp.1741-1746. 2010.
3. CAMARGO VALERO, M.A. MARA, D.D., NEWTON, R.J. Nitrogen removal in maturation ponds via biological uptake and sedimentation of dead biomass. *Proceedings of 8th specialist wastewater stabilization pond*. 2009.
4. CHISTI, Y. Biodiesel from microalgae. In: *Biotechnology Advances*, pp. 294-306. 2007.
5. CRAGGS, R.J., SUTHERLAND, D., CAMPBELL, H. Hectare-scale demonstration of high rate algal ponds for enhanced wastewater treatment and biofuel production, *Journal of Applied Phycology*, 24, pp. 329-337. 2012.
6. CRAGGS, R.J., DAVIES-COLLEY, R.J., TANNER, C.C., SUKIAS, J.P.S. Advanced ponds systems: performance with high rate ponds of different depths and areas. *Water Science and Technology* 48, pp. 259-267. 2003.
7. CROMAR, N. J., FALLOWFIELD, H. J. E MARTIN, N. J. Influence of environmental parameters on biomass production and nutrient removal in a high rate algal pond operated by continuous culture. *Water Science and Technology*, 34(11), pp. 133-140. 1996.
8. de GODOY, I., VARGAS, V.A., BLANCO, S., GARCIA-GONZALEZ, M.C., SOTO, R., GARCIA-ENCINA, P.A., BECARES, E., MUNOZ, R. A comparative evaluation of micro algae for degradation of piggy wastewater under photosynthetic oxygenation. *Bioresour. Technol.* 101, pp. 5150–5158. 2010.
9. GARCÍA, J., GREEN, B. F., LUNDQUIST, T., MUJERIEGO, R., HERNÁNDEZ-MARINÉ, M. E OSWALD, W. J. Long term diurnal variations in contaminant removal in high rate ponds treating urban wastewater. *Bioresour. Technology*, 97(14), pp. 1709-1715. 2006.
10. GONZALES, C., MOLINUEVO – SALCES, B; GARCIA-GONZALES, M.C. Nitrogen transformations under different conditions open ponds by means of microalgae-bacteria consortium treating pig slurry. *Doi:10.1016/j.biortech.2010.09.052*. 2010.
11. HEUBECK, S., CRAGGS, R.J., SHILTON, A. Influence of CO<sub>2</sub> scrubbing from biogas on the treatment performance of a high rate algal pond. *Water Science and Technology* 55, pp. 193. 2007.
12. LAU, P. S., TAM, N. F. Y. E WONG, Y. S. Effect of algal density on nutrient removal from primary settled wastewater. *Environmental Pollution*, 89(1), pp. 59-66. 1995.
13. PARK, J., JIN, H.-F., LIM, B.-R., PARK, K.-Y. E LEE, K.. Ammonia removal from anaerobic digestion effluent of livestock waste using green alga *Scenedesmus* sp. *Bioresour. Technology*, 101(22), pp. 8649-8657. 2010.
14. PARK, J. B. K., CRAGGS, R.J. Nutrient removal in wastewater treatment high rate algal ponds with carbon dioxide addition, *Water Science and Technology*. 63(8), pp.1758-64. 2011.
15. PARK, J.B.K., CRAGGS, R.J. Wastewater treatment and algal production in high rate algal ponds with carbon dioxide addition. *Water Science and Technology* 61, pp.633-639. 2010.
16. PARK, J.B.K., CRAGGS, R. J., SHILTON, A. N. Recycling algae to improve species control and harvest efficiency from a high rate algal pond. *Water Research*, 45 pp. 6637-6649. 2011.
15. RICHMOND, A. Principles for attaining maximal microalgal productivity in photobioreactors: an overview, *Hydrobiologia*, pp. 33–37. 2004.
16. RICHMOND, A., CHENG-WU, Z., CHENG-WU, ZARMI Y. Efficient use of strong light for high photosynthetic productivity: interrelationships between the optical path, the optimal population density and cell growth inhibition. *Biomolecular Engineering*, 20 pp. 229–236. 2003.
17. WHITE, D. The physiology and biochemistry of prokaryotes, 2 Ed., Oxford University Press, New York. 2000.