

# Lagoa facultativa primária no nordeste do Brasil: interferência da sedimentação e do acúmulo de lodo na eficiência de remoção da matéria orgânica

L. B. Saraiva\*, C. G. R. Meneses\*\*, H. N. S. Melo\*\*, A. L. C. Araújo\*\*

\* Centro Federal de Educação Tecnológica do Amazonas, Brasil

(E-mail: [liberta.saraiva@cefetam.edu.br](mailto:liberta.saraiva@cefetam.edu.br))

\*\*Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil

(E-mail : [carlagracy@gmail.com](mailto:carlagracy@gmail.com), [henio@eq.ufrn.br](mailto:henio@eq.ufrn.br), [andrecajado@cefetrn.br](mailto:andrecajado@cefetrn.br))

**Resumo** O trabalho estudou a sedimentação e o acúmulo de lodo em uma lagoa facultativa primária de uma estação de tratamento de esgoto doméstico do bairro de Ponta Negra na cidade do Natal, RN, durante 44 meses com o objetivo de avaliar a interferência na eficiência da remoção de matéria orgânica. A lagoa foi dividida em áreas delimitadas por pontos sinalizadores e a camada de lodo foi mapeada pela determinação da distribuição espacial por batimetria e caracterização dos sólidos. A sedimentação foi estudada com o uso de armadilhas para coleta do material sedimentado. A influência da direção e velocidade do vento no fluxo de sedimentos foi avaliada através do estudo parcial do comportamento hidrodinâmico da lagoa pela técnica de estímulo-resposta. Isto mostrou que o vento na direção NE provoca uma mistura da coluna líquida e suspende novamente os sedimentos já depositados, favorecendo a digestão anaeróbia do lodo sedimentado. Com as espessuras da camada de lodo foi possível verificar que o maior acúmulo de sólidos se encontrava na área mais próxima à entrada. O regime de ventos da região e o posicionamento espacial da lagoa exercem uma grande influência no comportamento hidrodinâmico e na eficiência do sistema.

**Palavras-chave** Influência do vento; lagoa facultativa primária; sedimentação e acúmulo de lodo

## INTRODUÇÃO

A sedimentação de lodo primário em lagoas de estabilização diminui a eficiência de remoção de matéria orgânica pela mudança do fluxo hidráulico, aparecimento de zonas mortas e caminhos preferenciais. Os modelos racionais baseados no transporte de sedimentos e nas reações que ocorrem dentro da lagoa permitem avaliar o comportamento e evolução do processo, determinando pontos que não foram obtidos através das medições da camada. Para Saqqar e Pescod (1995), o volume de lodo em uma lagoa anaeróbia primária é controlado pela porção não biodegradável dos sólidos dissolvidos que tanto entram no sistema ou são produzidos como resultado da atividade biológica dos microrganismos.

A variação temporal do volume acumulado é dependente das condições climáticas principalmente temperatura que propicia aumento da velocidade de estabilização do lodo anaeróbio com o aumento da metanogênese e produção de biogás, o que causa uma pressão ascendente (Picot et al 2002). As partículas do sedimento se movimentam entre o leito e a camada de sólidos suspensos. Na coluna d'água a turbulência pode causar re-suspensão das partículas de fundo e assim as redistribuir, causando um fluxo de transporte ascendente. A re-suspensão também pode ocorrer se houver uma corrente de fundo que induza uma tensão de cisalhamento suficiente para romper a força de coesão dos sedimentos do leito.

O trabalho objetivou avaliar a sedimentação e o acúmulo do lodo primário em uma lagoa facultativa na cidade do Natal, RN.

## MÉTODOS

Os trabalhos experimentais foram desenvolvidos no período de 44 meses na ETE localizada no bairro de Ponta Negra na cidade do Natal, RN, que recebe esgoto doméstico de uma população de 25.000 habitantes. A lagoa facultativa tem uma forma trapezoidal com 58,4 m de largura no lado relativo à entrada de efluente e 168,1m na saída, com uma área de 5,5 hectares. Sua profundidade média é de 2,0 m. A alimentação da lagoa é distribuída em três tubulações a 50 cm do fundo. No período pesquisado o sistema operou com vazão média de  $56,1 \text{ L.s}^{-1}$ , temperatura média do ar de  $27,7 \text{ }^\circ\text{C}$  e temperatura média dentro da lagoa de  $29,5^\circ\text{C}$ . A carga orgânica superficial aplicada foi de  $342,10 \text{ kg DBO}_5 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$ .

A lagoa foi monitorada com os parâmetros: temperatura, pH, DBO, DQO, SS. A camada de sólidos foi avaliada por batimetria e a taxa de sedimentação por armadilhas de sedimentação. Para verificar a influência do vento no fluxo de sedimentos, foi feito um estudo parcial do comportamento hidrodinâmico da lagoa em 10% da área total, usando como traçador o corante de alimento (vermelho bordeaux), pela técnica de estímulo-resposta.

Os dados meteorológicos foram obtidos pela Estação Meteorológica da Base Aérea de Natal, medidos a 10 m de altitude. Os parâmetros analisados seguem os diferentes métodos em conformidade com a literatura existente (APHA/AWWA/WEF, 1998).

A lagoa foi dividida em três grandes áreas usando “pontos sinalizadores” posicionados por sistema de posicionamento geográfico (GPS II Plus-Garmin), referenciados aos quatro vértices. Com as coordenadas dos pontos extremos de cada área foi possível estimar as superfícies em 14.175, 17.168 e  $23.831 \text{ m}^2$  para A1, A2 e A3, respectivamente (Figura 1).

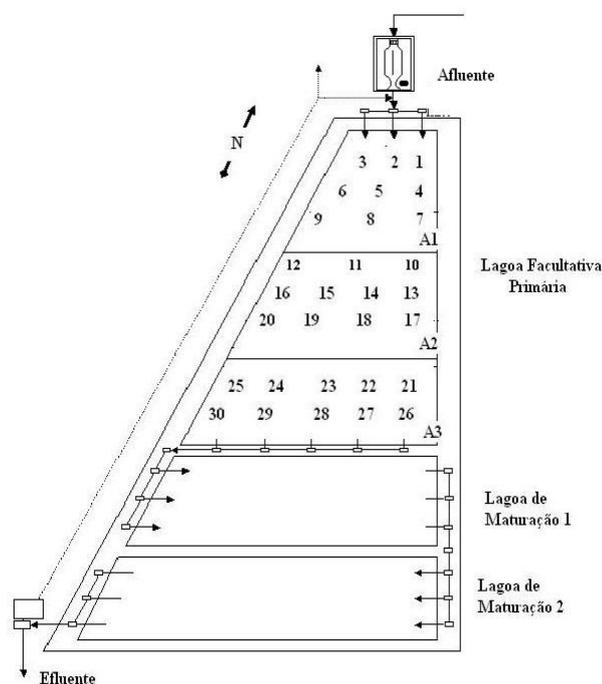


Figura 1: Pontos de coletas de amostras e de medida de espessura de camada de lodo.

Fonte: CAERN (Companhia de Água e Esgoto do Rio Grande do Norte)

A camada de lodo foi medida seis vezes durante o experimento, utilizando os pontos sinalizadores como guias para localização dos pontos de medição em todas as ocasiões. Para as medições foi

usado um Eco Batímetro Portátil e para confirmação o método empírico “White towel test”, descrito por Mara e Pearson em 1998.

O estudo da sedimentação dos sólidos foi realizado usando armadilhas (traps) para coleta do material sedimentado. Os experimentos foram realizados na direção transversal e longitudinal da lagoa. Na área A1 as armadilhas (12) foram distribuídas na direção transversal da lagoa a aproximadamente 50 m da entrada e suspensas abaixo da superfície de água a 0,5 e 1,0 m de profundidade, utilizando uma corda de sustentação onde eram presas juntamente com as bóias (Figura 2a). As armadilhas ficaram expostas ao fluxo de sedimentos durante um tempo que variou 7 a 15 dias. O material sedimentado foi coletado em cada uma das armadilhas e medido em proveta, (Figura 2b). A taxa de sedimentação foi determinada pela quantificação dos sedimentos depositados, calculados em relação à área da armadilha e ao tempo de permanência.

O volume de lodo sedimentado e acumulado foi estimado: a) pela taxa de sedimentação; b) pelas medidas da espessura da camada e c) por modelo matemático proposto (baseado no modelo de Saqqar e Pescod, 1995).



Figura 2. (a)Armadilhas sinalizadas por bóias, distribuídas na transversal da lagoa; (b) Coleta dos sedimentos nas armadilhas

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da pesquisa mostraram que a direção predominante do vento é de SE, com variações para NE, velocidades médias entre 1 e 4  $\text{m.s}^{-1}$  e máximas de até 10  $\text{m.s}^{-1}$ . As máximas velocidades acontecem no período da manhã entre 10 e 14:00hs e as mínimas entre 18 e 6:30 hs.

O monitoramento da lagoa facultativa mostrou a variação de pH entre 6,85 a 9,65 no afluente e 6,34 a 8,12 no efluente. As variações no afluente foram causadas pela necessidade de correção de pH, quando o esgoto bruto permanecia um tempo mais longo nas estações de bombeamento. A adição de hidróxido de cálcio se fazia necessária para a neutralização e evitar maus odores. Este produto tem baixa solubilidade, ocasionado oscilações no pH na entrada da lagoa, além de se depositar no lodo.

O sistema removeu 36,12% de DQO e 52% de DBO. A DQO apresentou valores afluentes entre 492 a 777  $\text{mg.L}^{-1}$ , enquanto a DBO afluente teve uma variação entre 300 e 495  $\text{mg.L}^{-1}$ , mostrado na Figura 3. Os valores médios de 625  $\text{mg.L}^{-1}$  e 384  $\text{mg.L}^{-1}$  para DQO e DBO, respectivamente, estão próximos aos valores de 551  $\text{mg.L}^{-1}$  e 283  $\text{mg.L}^{-1}$  encontrados por Araújo et al (2005), no mesmo sistema.

Os valores médios de sólidos suspensos totais afluente e efluente variaram entre 192 e 614 mg.L<sup>-1</sup> e 121 e 496 mg.L<sup>-1</sup> respectivamente, o que concorda com os valores de 168 e 566 mg.L<sup>-1</sup>. A eficiência média de remoção para SST e SSV foi de 37,5 e 31,9 %, respectivamente.

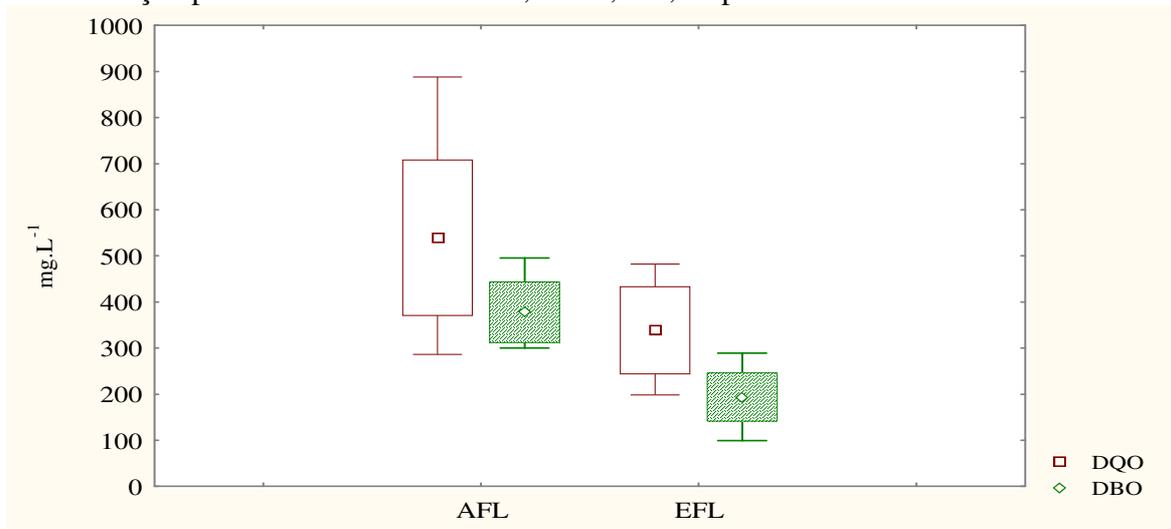


Figura 3. Médias e faixas de variação de DQO e DBO no afluente e efluente.

A relação SSV/SSF caracteriza a fração orgânica contida no esgoto bruto e efluente tratado. Os valores médios foram de 8,2 e 17,9 respectivamente. Um valor alto de SSV/SSF no efluente indica que estes são compostos por biomassa de bactérias e algas, estas últimas provavelmente do gênero *Chorella*, dominante (Meneses et al, 2005).

Com as medidas da camada de lodo foi possível verificar que o maior acúmulo de sólidos se encontrava na área mais próxima à entrada e se estendia até próximo do ponto sinalizador sete (área A1). Já nas áreas A2 e A3 a camada é quase inexistente, chegando ao máximo de 6,7cm de espessura (Tabela 1). Esta zona preferencial nem sempre é observada em outros sistemas, pois a sedimentação parece ser influenciada pelos ventos dominantes. Saqqar e Pescod (1995b) encontraram para uma lagoa anaeróbia do Sistema de Alsamra, na Jordânia, espessura de lodo perfeitamente distribuída de 0,2 m a 2,7m, enquanto nos sistemas estudados por Ghrabi e Ferchichi (1994) e Nelson e Jiménez (2000) os sedimentos se acumulavam em locais próximos das entradas de esgoto, nos cantos, formando curtos circuitos e próximos às paredes de saída das lagoas.

Tabela 1. Espessuras médias (ponderadas) das camadas de lodo nas áreas A1, A2 e A3, e direção predominante do vento.

Mês	Espessura da camada (cm)			Direção do Vento Frequência (%)			
	Área 1	Área 2	Área 3	NE	SE	WS	WN
Maio 2003	58	3,4	3,0	13,27	82,77	3,96	0,00
Agosto 2003	43	5,1	2,8	12,08	85,47	2,45	0,00
Novembro 2003	62	3,5	2,6	13,02	86,98	0,00	0,00
Fevereiro 2004	50	6,7	5,0	16,63	81,64	1,73	0,00
Agosto 2004	81	2,8	2,5	9,52	83,09	7,39	0,00
Novembro 2004	81	5,0	5,0	4,82	92,59	2,59	0,00

O fluxo vertical de sedimentos foi calculado pela concentração de sólidos suspensos em relação à área da armadilha de sedimentação, na área de influência. E, considerando que a camada de sedimentos é formada pela carga de sólidos afluentes, além dos sólidos produzidos dentro da lagoa, pode-se calcular a constante de proporcionalidade ou constante de sedimentação ( $K_s$ ) (Saraiva et al, 2005).

Pelos valores médios de  $K_s$  de 2,94 (A1) e 0,93 (A3) na profundidade de 0,5 m pode-se verificar que o fluxo de sedimentação é maior na região A1, o que leva a supor que as variações de velocidade e direção do vento fazem com que haja períodos de intensa mistura e outros de profunda calmaria, mudando o regime hidráulico ao longo do dia. Isto faz com que uma parcela dos sedimentos entrem novamente no fluxo e depois sedimentem. Os volumes de lodo calculados utilizando a taxa de sedimentação foram superiores aos medidos, o que contribui para afirmar que a sedimentação é muito mais influenciada pela re-suspensão, do que pelo aporte de sedimentos.

A determinação do regime hidráulico foi realizada em dois experimentos (intervalo de uma semana). As curvas de concentração mostraram que no primeiro experimento houve sedimentação do traçador no lodo de fundo e retornou à superfície juntamente com o sobrenadante no segundo experimento, o que confirma a re-suspensão ocasionada pela agitação da coluna líquida causada pela liberação de gases da metanogênese, pela proximidade dos dispositivos de entrada, variações de vazão e vento. O número de dispersão obtido foi de 0,4 com 21 h de tempo de detenção hidráulica (Meneses et al, 2006).

Tomando como base o modelo desenvolvido por Saqqar e Pescod (1995 b) e considerando: a massa específica do lodo de  $1200 \text{ kg.m}^{-3}$ ; o conteúdo médio de líquido na camada de lodo de 93% e a remoção média de SSV, SSF e DBO na lagoa facultativa de 35; 60 e 50%, respectivamente, foram calculados o coeficiente de acúmulo do lodo e o volume de lodo acumulado na lagoa facultativa pela equação (1):

$$V_{AS} = k_{AS} \frac{(0,8F_{XSSV,0} + 4,0F_{XSSF,0} + F_{CDBO,0})}{1000} \quad (1)$$

A variação do coeficiente de acúmulo de lodo ( $k_{AS}$ ), mostrou uma tendência de crescimento ao longo do tempo, variando entre 1,1 a 2,2 (média de 1,9). A partir dos valores de  $k_{AS}$  foi possível calcular os volumes de lodo e compará-los com os volumes medidos por batimetria. A Figura 5 apresenta os valores medidos e preditos.

As diferenças dos valores preditos e medidos se devem muito provavelmente ao número de medidas de lodo (máximo de 60 pontos ao longo da lagoa) e pelas variáveis que não foram consideradas pelo modelo como: pluviometria, direção e velocidade de vento. Além disto, a remoção diária da camada sobrenadante e bombeamento do lodo de fundo em ocasiões de chuva intensa, nem sempre foi anotada e computada nos relatórios operacionais, o que dá uma diferença no volume total de massa de sólidos.

O valor médio para a taxa de acúmulo de lodo na lagoa facultativa foi de  $0,17 \text{ m}^3 \cdot \text{hab}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ . Picot et al, 2002 encontraram taxas de  $0,017 \text{ m}^3 \cdot \text{hab}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$  para lagoa anaeróbia.

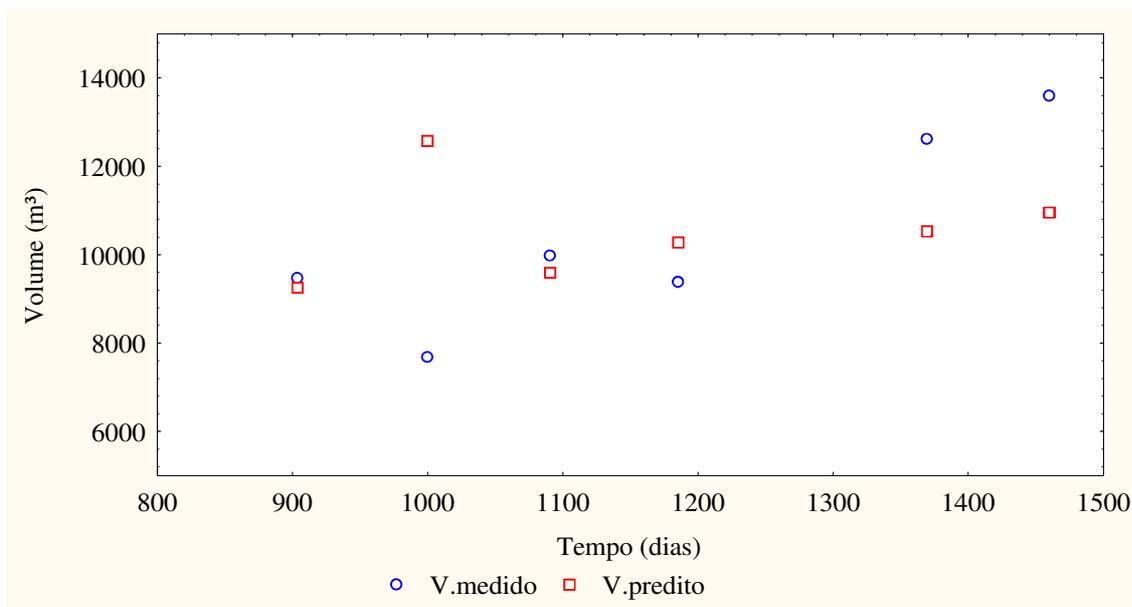


Figura 5. Volumes de lodo de fundo acumulado na lagoa facultativa: preditos e medidos.

## CONCLUSÕES

O regime de ventos da região e o posicionamento espacial da lagoa exercem uma grande influência no comportamento hidrodinâmico e na eficiência do sistema. A realização da avaliação parcial hidrodinâmica mostrou que o vento provoca uma mistura da coluna líquida e re-suspende os sedimentos já depositados, que são novamente depositados em horários de velocidades baixas de vento, causando uma nova sedimentação.

## REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, A.L.C.; DUARTE, M.A.C.; VALE, M.B. (2005). Considerations about the performance of real-scale WSP systems in northeast Brazil under different operational conditions. In: 6TH Specialist Group Conference on Waste Stabilization Ponds Pond Technology for the New Millenium. França. Conference Papers, v.1, p. 347 –355.
- GHRABI, A.; FERCHICHI, M. (1994). Sediment accumulation in a series of four pilot-scale stabilization ponds. *Water Science and Technology*, **30** (8), 281-284.
- MARA, D.; PEARSON, H.(1998) *Design manual for waste stabilization ponds in mediterranean countries*. Lagoon Technology International Leeds, England.
- MENESES, C.G.R; SARAIVA, L.B.; MELO, H.N.S.; MELO, J.L.S; PEARSON, H.W. (2005). Spacial and temporal variations in BOD and algal concentration and total organic matter biodegradation constants in a facultative tropical waste stabilization pond system mixed by wind action. *Wat. Sci. Tech.*, **51**(12), 183-190.
- MENESES, C.G.R.; SARAIVA, L.B.; MELO,H.S.; MELO, J.L.; ARAÚJO, A.L.C.; PEARSON, H.W. (2006). Alternative Method to Predict the Dispersion Number in a Real Scale Primary Facultative Pond. In 7TH IWA Specialist Conference on Waste Stabilization Ponds 2006, Bangkok, Thailand. Conference Papers, v.1, p. 1-4
- NELSON, K.L.; JIMÉNEZ, B.C. (2000). Sludge accumulation, properties and degradation in a waste stabilization pond in Mexico. *Water Science and Technology*, **42**(10), 231-236.
- PICOT, B.; PAING, J.; COSTA, R. H. R.; RAMBAUD, A. (2002). Biogas production, sludge accumulation and mass balance of carbon in anaerobic ponds. In: 5TH IWA Specialist Group Conference on Waste Stabilization Ponds Pond Technology for the New Millenium. Auckland, New Zealand. Conference Papers, v. 1, p. 381-388.
- SAQQAR, M.M.; PESCOD, M.B.(1995b). Modelling sludge accumulation in anaerobic wastewater stabilization ponds. *Water Science and Technology*, **31**(12),185-190.
- SARAIVA, L.B.; MENESES, C.G.R MELO, H.N.S; ARAÚJO, A.L.C; PEARSON, H.W.(2005). Determination of the sedimentation constants for total suspended solids and the algal component in a full-scale primary facultative pond operating at high wind velocities under tropical conditions. *Wat. Sci. Tech.*, **51**(12), 213-216.
- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (1998). 20th edn, American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation, Washington DC, USA.