

## II-551 - AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO PROCESSO OSA NA REDUÇÃO DA PRODUÇÃO DE LODO EM UM SISTEMA DE TRATAMENTO PILOTO DE LODO ATIVADO

**Cláudia Lavina Martins<sup>(1)</sup>**

Engenheira Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina. Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina. Doutora em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina.

**Ana Sara Correio Duarte Pires**

Mestre em Engenharia ambiental pelo Instituto Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa, Portugal.

**Viviane Furtado Velho**

Engenheira Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina. Doutora em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina.

**Elizabeth da Costa Neves Fernandes de Almeida Duarte**

Professora Doutora do Departamento de Química Agrícola e Ambiental, Instituto Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa, Portugal.

**Rejane Helena Ribeiro da Costa**

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

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Trajano Manoel dos Anjos, 40 – Barra da Lagoa - Florianópolis - SC - CEP: 88061-030 - Brasil - Tel: (48) 32323543; (48) 91056351 - e-mail: lavina8@hotmail.com

### RESUMO

O presente estudo teve como objetivo avaliar a inserção de um tanque anaeróbio na linha de recirculação de lodo de um sistema de tratamento de efluentes, do tipo lodos ativados, conhecido como processo OSA (*Oxic-Settling-Anaerobic*), usado como estratégia operacional para minimização da produção de lodo em excesso. Foram estudadas três fases distintas: fase LAC (lodo ativado convencional), fase OSA<sub>24h</sub> (24 horas) e fase OSA<sub>12h</sub> (12 horas). O sistema absorveu bem as flutuações de cargas, apresentando em todas as fases eficiências de remoções superiores a 80% para DQO<sub>T</sub> e SST; e superiores a 70% para NH<sub>3</sub>. As análises microbiológicas revelaram a presença regular de flocos densos e organismos indicadores de estabilidade no sistema de tratamento, como *Vorticellas* sp., *Epistylis* sp., rotíferos, *Arcellas* sp. e *Aspidisca* sp. A produção de lodo alcançada foi de 0,393 g SST/ g DQO na fase LAC; 0,072 g SST/ g DQO na fase OSA<sub>24h</sub>, e 0,187 g SST/ g DQO na fase OSA<sub>12h</sub>, com minimização na produção de lodos de 82% (OSA<sub>24h</sub>) e 52% (OSA<sub>12h</sub>) quando comparado à fase controle (LAC).

**PALAVRAS-CHAVE:** Lodos ativados, minimização de lodo, *Oxic-Settling-Anoxic*.

### INTRODUÇÃO

O sistema de lodos ativados é um processo amplamente empregado no tratamento de efluentes devido a sua eficiência e confiabilidade. No entanto, a grande quantidade de lodo em excesso gerada nestes sistemas tem se tornado um dos desafios mais importantes na área de tratamento de efluentes (Pérez-Elvira et al., 2006). Os custos operacionais associados às normas mais rigorosas para o gerenciamento deste resíduo têm contribuído para que as atuais alternativas de tratamento e disposição final de lodos tornem-se limitadas ou até mesmo inviáveis em um futuro próximo (Liu & Tay, 2001).

Nesse sentido, o desenvolvimento de tecnologias que possibilitem minimizar a produção de lodo em excesso tem sido alvo de intensas pesquisas, buscando solucionar este problema através da redução da produção de lodo durante o próprio processo de tratamento do efluente. O ideal é que estas técnicas sejam econômicas e não afetem a eficiência do tratamento como a qualidade do efluente e as propriedades de sedimentação do lodo (Easwaran, 2006).

O processo OSA (*Oxic-Settling-Anaerobic*) modifica o sistema de lodos ativados convencional por meio da introdução de um reator anaeróbio de lodo concentrado na linha de recirculação do sistema. É uma técnica promissora para reduzir com eficiência a produção de lodo a baixo custo, apresenta boa estabilidade de operação, melhorando inclusive a qualidade do efluente e as características de sedimentação do lodo (Wang et al., 2008; Foladori et al., 2010.). As principais hipóteses para a redução de lodo associadas a este processo são a lise celular, o metabolismo desacoplado e o decaimento endógeno. Estes mecanismos são obtidos submetendo-se o lodo a ciclos alternados de condições aeróbias e anaeróbias. Estudos mostram uma capacidade de redução na produção de lodo de 20% a 70%. O desempenho da redução de lodo é normalmente influenciado por: variações na alimentação do sistema, tipo de efluente, razão de recirculação, níveis de potencial redox (ORP), idade do lodo e tempo de retenção hidráulica no reator anaeróbio (Saby et al., 2003; Wang et al., 2008; Foladori et al., 2010).

Nesse contexto, o objetivo deste estudo foi verificar o desempenho na redução da produção de lodo em um sistema de tratamento piloto de lodo ativado, inserindo o processo OSA na linha de recirculação de lodo. Para tal, foram estudadas duas diferentes configurações de operação, baseadas no tempo de retenção de sólidos no reator anaeróbio.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Caracterização e operação do sistema piloto

O sistema piloto de tratamento do tipo lodo ativado foi composto por três unidades principais: tanque de aeração (TA), decantador secundário (DS) e tanque anaeróbio (TAN), cujos volumes eram de 2,5 m<sup>3</sup>, 0,25 m<sup>3</sup> e 1,0 m<sup>3</sup>, respectivamente. O fluxograma do sistema de tratamento está apresentado na Figura 1.

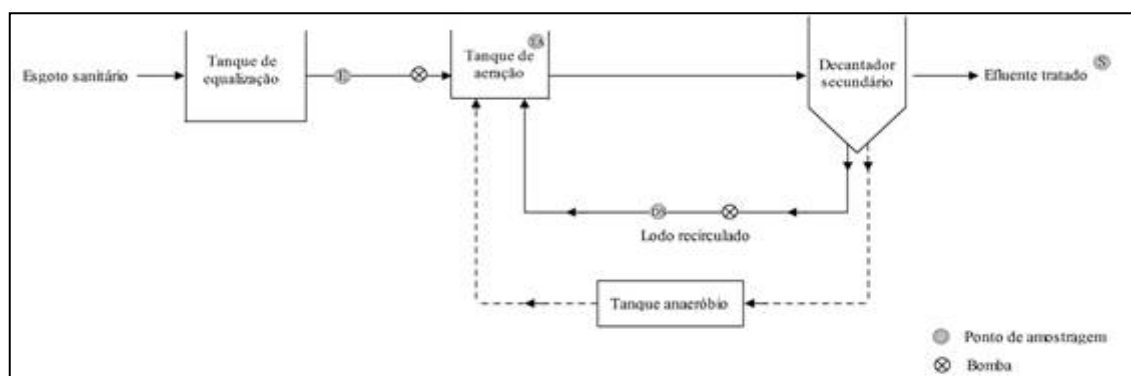


Figura 1. Fluxograma do sistema de tratamento. E – entrada; TA – tanque de aeração; DS – decantador secundário; S – saída

A alimentação do sistema de tratamento foi realizada em fluxo contínuo, o efluente bruto utilizado neste estudo era captado da rede municipal de esgoto sanitário e armazenado em um tanque de equalização de 5,0 m<sup>3</sup>. Do tanque de equalização, por meio de bomba centrífuga, o efluente bruto era encaminhado para as unidades de tratamento. O fornecimento de ar ao TA era realizado através de um soprador de ar, que distribuía a aeração por meio de quatro difusores circulares instalados no fundo do TA. Por gravidade, a mistura seguia para o decantador secundário, para separação líquido/sólido, visando o efluente clarificado. O efluente final tratado era lançado de volta à rede coletora municipal, em um ponto à jusante da captação.

O estudo foi dividido em três etapas: sistema funcionando como lodo ativado convencional (LAC); sistema funcionando com tanque anaeróbio OSA, com tempo de retenção dos sólidos de 24 horas (OSA<sub>24h</sub>); e sistema funcionando com tanque anaeróbio OSA, com tempo de retenção dos sólidos de 12 horas (OSA<sub>12h</sub>). Na Tabela 1 estão apresentadas as condições operacionais estabelecidas durante as diferentes fases do estudo.

**Tabela 1. Condições operacionais do sistema de tratamento.**

	LAC	OSA <sub>24h</sub>	OSA <sub>12h</sub>
Vazão afluente (m <sup>3</sup> /d)	2,1	3,0	3,0
Vazão de recirculação de lodo (m <sup>3</sup> /d)	2,1	2,0	2,0
Tempo de detenção hidráulica no TA (horas)	29	20	20
Idade do lodo (dias)	21,8	17,0	19,8
Carga orgânica volumétrica (kg DQO/m <sup>3</sup> d <sup>-1</sup> )	0,82	1,08	0,63

O monitoramento foi realizado durante 198 dias, divididos nas três fases operacionais do sistema: 1) LAC – com duração de 57 dias, utilizado como fase controle; 2) OSA<sub>24h</sub> – com duração de 67 dias, quando 50% da vazão total de recirculação (biomassa acumulada no decantador) era encaminhada para o tanque de aeração e 50% seguiam para o tanque anaeróbio; 3) OSA<sub>12h</sub> – com duração de 74 dias, onde 100% da vazão total de recirculação do lodo era encaminhada para o tanque anaeróbio.

### Procedimento de amostragem e métodos analíticos

O monitoramento foi realizado 2 vezes por semana nos seguintes pontos amostrais: Efluente bruto (E), tanque de aeração (TA), decantador secundário (DS) e saída do efluente final (S), conforme destacados na Figura 1. Foram medidos o oxigênio dissolvido (OD) (mg/L), temperatura (°C), pH e potencial redox (ORP) (mV) *in loco* com sonda multiparâmetros YSI 6600 V2. As variáveis físico-químicas e biológicas analisadas foram: demanda química de oxigênio total (DQO<sub>t</sub>) (mg/L), demanda bioquímica de oxigênio (DBO<sub>5</sub>) (mg/L), sólidos suspensos totais (SST) (mg/L), sólidos suspensos voláteis (SSV) (mg/L), nitrogênio amoniacal (NH<sub>3</sub>-N) (mg/L) e fósforo total (P<sub>t</sub>) (mg/L), realizados segundo recomendações do *Standard Methods* (APHA, 2005). Além destes parâmetros, também foram realizadas análises microscópicas do licor misto do TA, utilizando microscópio óptico binocular Olympus, modelo BX-41.

### Coefficiente de produção celular, Y<sub>obs</sub>

A estimativa da produção de lodo foi determinada em função do coeficiente de produção celular observado (Y<sub>obs</sub>), conforme metodologia apresentada por Chon et al. (2011). Segundo os autores, este coeficiente considera a parcela de sólidos inertes e lentamente biodegradáveis na geração de lodo no sistema e pode ser determinado pela relação entre os sólidos formados acumulados e o substrato consumido acumulado (gSST/gDQO<sub>t</sub>) conforme equação 1, aplicando o método da regressão linear.

$$Y_{obs} = \frac{\Delta X_{TA} V_{TA} + \sum (X_{DS} Q_{DS} + X_S Q_S) \Delta t}{\sum (S_E Q_E + S_S Q_S)} \quad \text{Equação (1)}$$

Onde:

$\Delta X_{TA}$  e  $\Delta t$ : Variação de lodo (g SST/m<sup>3</sup>) e variação do tempo (dias) no TA, respectivamente.

$X_{DS}$  e  $X_S$ : Concentração de lodo (g SST/ m<sup>3</sup>) na recirculação e no efluente final (saída do sistema), respectivamente.

$V_{TA}$  e  $V_{DS}$ : Volumes (m<sup>3</sup>) no TA e DS, respectivamente.

$S_E$  e  $S_S$ : Concentração de substrato (g DQO<sub>t</sub>/L) no afluente e efluente, respectivamente.

$Q_E$  e  $Q_S$ : Vazão (m<sup>3</sup>/dia) do afluente e efluente, respectivamente.

### Índice volumétrico de lodo

O índice volumétrico de lodo - IVL (mL. gSSV<sup>-1</sup>) foi determinado via volume sedimentado em proveta graduada de 1000 mL durante 30 minutos e a fração de sólidos suspensos voláteis correspondentes, com interpretação de sua qualidade de acordo com Von Sperling (2002).

## RESULTADOS

### Caracterização do esgoto sanitário

Na Tabela 2 estão apresentadas as características físico-químicas do efluente bruto em estudo. Este apresentou uma grande variabilidade na concentração de DQO<sub>T</sub>, oscilando entre 282 e 960 mg/L durante as fases de operação do sistema de tratamento.

**Tabela 2. Caracterização do esgoto sanitário.**

Variáveis	Média ± desvio padrão	N
pH	6,9 ± 0,5	138
Temperatura (°C)	23 ± 2	127
SST (mg/L)	308 ± 199	45
DQO <sub>T</sub> (mg/L)	641 ± 437	45
Nitrogênio amoniacal (mg/L)	38 ± 8	29
Fósforo total (mg/L)	6 ± 2	23

N: número de amostras

### pH, OD e Temperatura

No tanque de aeração foram obtidas temperaturas médias e desvio padrão de 26 ± 1,5 °C na fase LAC, 21 ± 1,4 °C na fase OSA<sub>24h</sub> e 21 ± 1,2 °C na fase OSA<sub>12h</sub>. O pH apresentou-se próximo da neutralidade com valores médios de 6,92, 7,12 e 6,94 para as três fases. Quanto ao OD, as concentrações médias encontradas tiveram uma grande variação, mantendo-se em 4,2 ± 2,1 mg/L (LAC), 5,3 ± 1,6 mg/L (OSA<sub>24h</sub>) e 4,8 ± 2,7 mg/L (OSA<sub>12h</sub>).

### Desempenho do sistema de tratamento

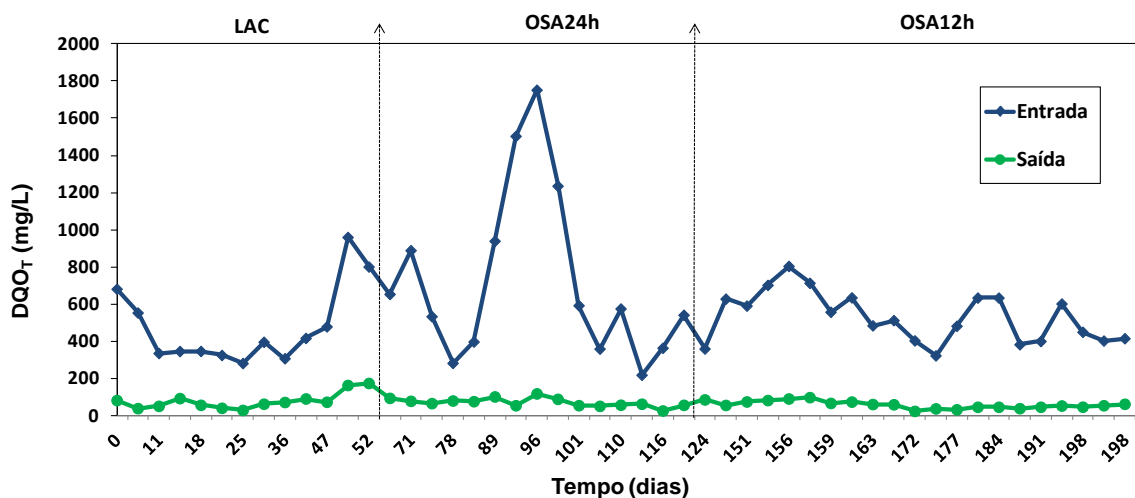
Na Tabela 3 estão apresentadas as concentrações médias das variáveis monitoradas no sistema de tratamento e nas Figuras 2 e 3 têm-se as variações da DQO<sub>T</sub> e NH<sub>3</sub> na entrada e saída do sistema de tratamento, nas fases LAC, OSA<sub>24h</sub> e OSA<sub>12h</sub>.

**Tabela 3. Concentrações médias e desvios padrão das variáveis monitoradas durante as fases do estudo, na entrada (E) e saída (S) do sistema de tratamento.**

Variáveis (mg/L)	LAC		OSA <sub>24h</sub>		OSA <sub>12h</sub>	
	E	S	E	S	E	S
DQO <sub>T</sub>	518 ± 226	81 ± 41	686 ± 464	69 ± 23	533 ± 134	58 ± 20
SST	246 ± 103	46 ± 32	336 ± 304	22 ± 10	311 ± 149	22 ± 15
NH <sub>4</sub> -N	42 ± 15	11 ± 4	40 ± 14	10 ± 7	35 ± 5	3 ± 3
PT	8,5 ± 3,2	2,3 ± 0,8	6,0 ± 3	3,4 ± 1,6	5,9 ± 1,4	3,9 ± 1,5

Número de amostras N=15

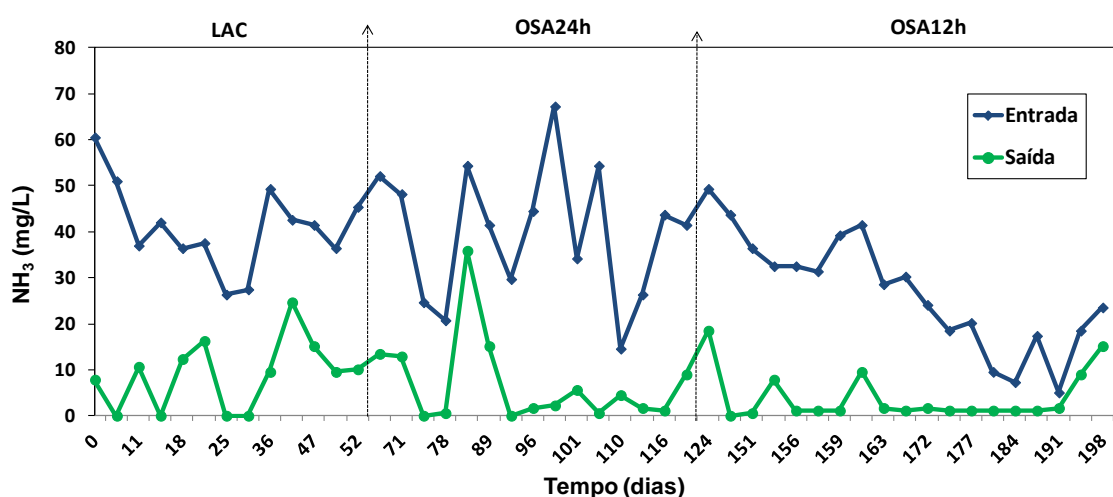
A eficiência de remoção de DQO<sub>T</sub> foi de 84% com concentração final de 80 mg/L na fase LAC enquanto que nas fases OSA<sub>24h</sub> e OSA<sub>12h</sub> este percentual de remoção foi de 87% e 89%, e com concentração média final de 69 mg/L e 58 mg/L, respectivamente. O sistema permaneceu eficiente após a inserção do processo OSA, e resistiu bem às variações na concentração de DQO<sub>T</sub> afluente.



**Figura 2 – Comportamento da  $DQO_T$  (esgoto bruto e efluente), ao longo do tempo, nas fases LAC,  $OSA_{24h}$  e  $OSA_{12h}$ .**

Em experimento tipo escala de bancada, Velho et al. (2013) avaliando a minimização de produção de lodo em sistema de lodo ativado acoplado a processo anaeróbio (OSA), utilizando reatores de 10 L com TDH de 16 horas no tanque anaeróbio, obtiveram eficiências de remoção de 87%, 94% e 7% para os parâmetros  $DQO_t$ ,  $DBO_5$  e SST, respectivamente.

Ainda, Velho et al. (2014), operando o processo anaeróbio para redução da produção de lodo em um sistema em escala real, apresentaram eficiências médias de remoção superiores a 95% para  $DQO_t$ ,  $DBO_5$ . Os autores verificaram que, embora uma considerável quantidade de compostos solúveis fossem gerados no tratamento anaeróbio ( $DQO_s = 226$  a  $255$  mg/L no lodo tratado anaerobicamente), as eficiência de remoção não foram alteradas.



**Figura 3 – Comportamento do nitrogênio amoniacal (esgoto bruto e efluente), ao longo do tempo, nas fases LAC,  $OSA_{24h}$  e  $OSA_{12h}$ .**

Observa-se na Figura 3 que o sistema apresenta para a fase LAC, remoção média de nitrogênio amoniacal de 77% com concentração média final de 11 mg/L. Nas fases  $OSA_{24h}$  e  $OSA_{12h}$  estas remoções foram de 73% e 87%, com concentrações médias finais de 10 mg/L e 3 mg/L, respectivamente. Os resultados obtidos para

remoção de nitrogênio amoniacal, em todas as fases estudadas, atenderam ao disposto na legislação brasileira (CONAMA 357/2005) para lançamento de efluentes em corpos receptores ( $\leq 20$  mg/L).

As eficiências obtidas para o nitrogênio amoniacal neste estudo foram superiores aos relatados por Velho et al. (2013) onde alcançaram 61% de remoção. Por outro lado, Velho et al. (2014), observaram uma nitrificação completa, operando o sistema de lodo ativado modificado com tratamento anaeróbio para redução de lodo, as concentrações de amônia no efluente ficaram abaixo de 2 mg/L, resultando em uma remoção de 98%.

Quanto aos sólidos suspensos totais, observa-se na Tabela 3 que as concentrações médias afluente de SST foram superiores na fase OSA<sub>24h</sub> e OSA<sub>12h</sub> quando comparados com as concentrações afluentes obtidas na fase LAC, fato que não comprometeu a eficiência de remoção no sistema nas fases OSA<sub>24h</sub> e OSA<sub>12h</sub>, que foram superiores a 80% com concentrações finais de 22 mg/L para ambas as etapas.

Para o fósforo total, as remoções foram de 52%, 34% e 34% nas fases LAC, OSA<sub>24h</sub> e OSA<sub>12h</sub>, respectivamente, com concentrações médias no efluente final (Tabela 3) abaixo do que estabelece a legislação ambiental do Estado de Santa Catarina (Lei No. 14.675/2009), que determina o valor de 4 mg Pt/L como concentração máxima para lançamento em ambientes lênticos.

O processo OSA pode contribuir para remoção de fósforo, possivelmente devido ao ambiente anaeróbio presente na linha de recirculação do lodo, o que favorece o crescimento das bactérias fermentativas e a remoção do fósforo (Goel and Nogueira, 2006; Novak et al., 2007).

Alguns estudos sobre o processo OSA demonstraram que a presença do reator anaeróbio contribui para a liberação de fósforo e um possível aumento das concentrações de Pt e PO<sub>4</sub> no efluente (Chen et al., 2001; Saby et al., 2003). Entretanto, Velho et al. (2014), verificaram que a concentração de fósforo no efluente não foi alterada com aplicação do processo anaeróbio, mostrando eficiências de 67 a 71% e concentrações abaixo de 2 mg/L.

#### Eficiência da redução da produção de lodo

O coeficiente específico de produção de lodo (Y<sub>obs</sub>) no sistema experimental foi de 0,393, 0,072 e 0,187 g SST/g DQO na fase LAC, OSA<sub>24h</sub> e OSA<sub>12h</sub>, respectivamente, resultando em redução de 82% (OSA<sub>24h</sub>) e 52% (OSA<sub>12h</sub>) do lodo gerado quando comparado à fase controle (LAC) (Figura 4).

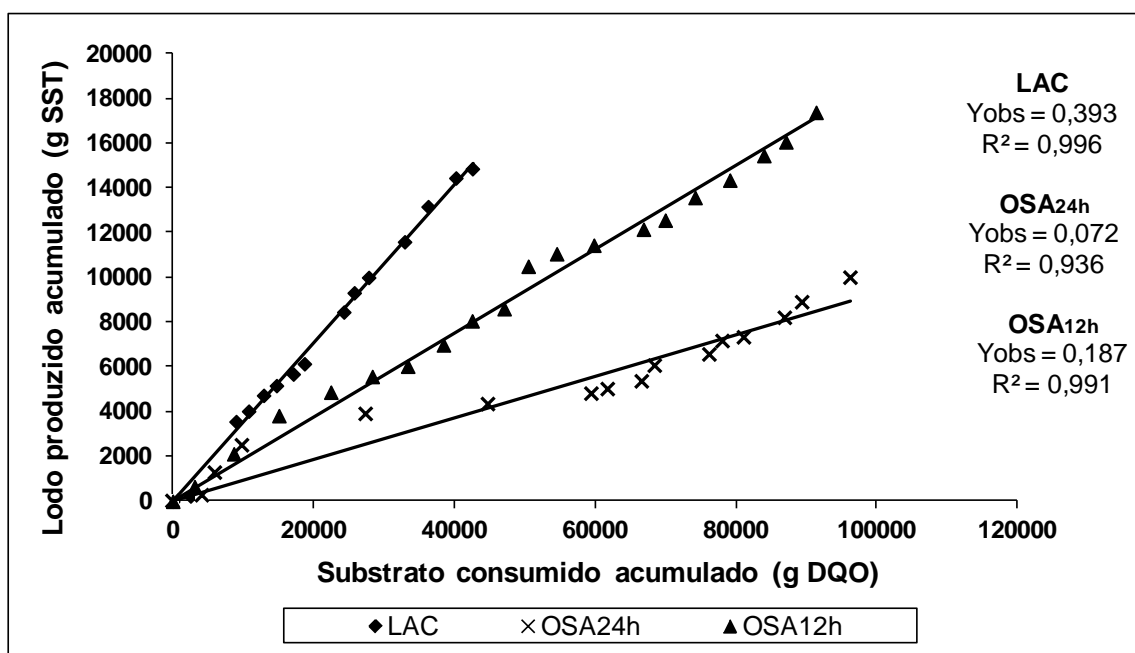


Figura 4. Coeficiente de produção celular observado.



O maior tempo de retenção de sólidos no tanque anaeróbio (24 horas) demonstrou ser um fator importante para se alcançar uma maior eficiência na redução de lodo, visto que quando reduzido este tempo pela metade, observou-se uma maior produção de lodo, no entanto ainda inferior à fase controle, com resultados comparáveis aos apresentados na literatura (Chudoba et al., 1992; Saby et al., 2003; Ye et al., 2008; Wang et al., 2008) com redução acima de 50%. Além da redução no coeficiente de produção de lodo (Yobs), o processo OSA, também foi capaz de produzir melhoras na sedimentabilidade do lodo, verificada nos valores de IVL, que passaram de 309 mL/g na fase LAC, caracterizado como de sedimentabilidade péssima, para 158 mL/g e 190 mL/g nas fases OSA<sub>24h</sub> e OSA<sub>12h</sub>, respectivamente, caracterizados como de média sedimentabilidade, segundo Von Sperling (2002).

### Análise microbiológica

A análise microbiológica realizada por meio de microscopia óptica avaliou semelhanças qualitativas dos microrganismos envolvidos no sistema de tratamento nas três fases de operação. As amostras coletadas do licor misto do tanque de aeração, nas fases de operação do sistema, revelaram a presença regular de flocos densos e organismos indicadores de estabilidade no sistema de tratamento segundo Canler et al. (1999), como *Vorticellas* sp., *Epistylis* sp., rotíferos, *Arcellas* sp. e *Aspidisca* sp.. Nas Figuras 5(a) e 5(b) estão apresentados exemplos dos microrganismos encontrados nas fases LAC, OSA<sub>24h</sub> e OSA<sub>12h</sub>.

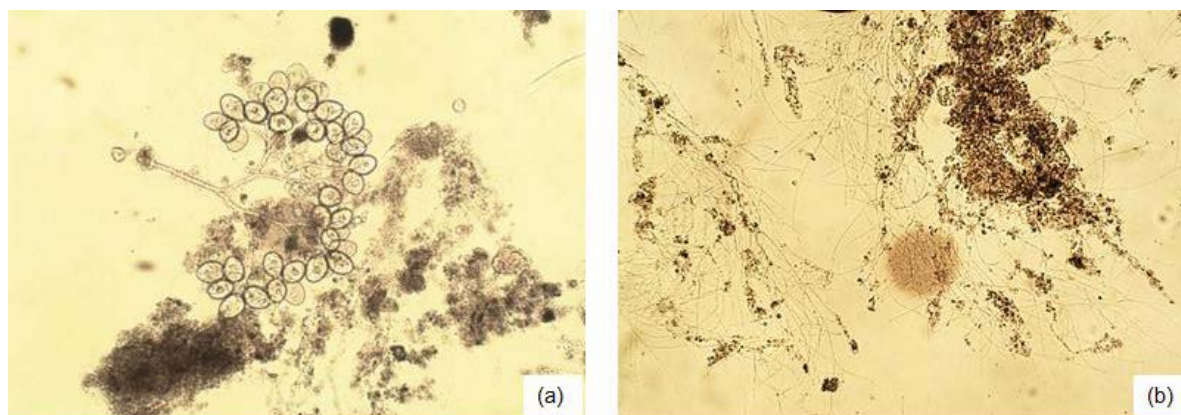


Figura 5 - (a) *Epistylis* sp. (aumento 100x); (b) Floco de lodo denso evidenciando boa estrutura e bactérias filamentosas (aumento 100x).

### CONCLUSÕES

O sistema de tratamento apresentou-se eficiente com a mudança na configuração de operação (inserção do processo OSA), e também, frente às variações de carga orgânica afluyente, apresentando em todas as fases eficiências de remoções superiores a 80% para DQO<sub>T</sub> e SST, e superiores a 70% para NH<sub>3</sub>. A redução da produção de lodo alcançada foi de 52% para a fase OSA<sub>12h</sub> e de 82% para a fase OSA<sub>24h</sub> face ao sistema de lodos ativados convencional (LAC). Observou-se uma melhora no IVL na fase OSA e as análises microscópicas revelaram a presença regular de flocos densos e organismos indicadores de estabilidade do processo de tratamento

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 21<sup>a</sup> ed. Washington: American Public Health Association, 2005.
2. CANLER, J.P., PERRET, J.M., DUCHÈNE, P., COTTEUX, E. Aide au diagnostic des stations d'épuration par l'observation microscopique des boues activées. Cemagref Éditions, 1999.
3. CHEN, G.H., YIP, W.K., MO, H.K., LIU, Y. Effect of sludge fasting/feasting on growth of activated sludge cultures. *Water Research.*, v. 35, p. 1029-1037, 2001.

4. CHON D., ROME M., KIM Y. M., PARK K. Y., PARK C. Investigation of the sludge reduction mechanism in the anaerobic side-stream reactor process using several control biological wastewater treatment processes, *Water Research*, 45, 6021-6029, 2011.
5. CHUDOKA, P., MOREL, A., CAPDEVILLE, B. The case of both energetic uncoupling and metabolic selection of microorganisms in the OSA activated sludge system. *Environmental Technology*, 13(8), 761–770, 1992.
6. EASWARAN, S.P. Developing a mechanistic understanding and optimization of the Cannibal process, Masters Thesis, VPI & SU, VA, 2006.
7. FOLADORI, P. ANDREOTTOLA, G. and ZIGLIO, G., *Sludge Reduction Technologies in Wastewater Treatment Plants*. London: IWA Publishing, 2010.
8. GOEL R. K. AND NOGUERRA D. R. Evaluation of sludge yield and phosphorus removal in a Cannibal solids reduction process. *Journal of Environmental Engineering*, 132(10), 1331-1337, 2006
9. LIU Y., TAY J. Strategy for minimization of excess sludge production from the activated sludge process. *Biotechnology Advances*, 19, 97-107, 2001.
10. NOVAK J. T., CHON D. H., CURTIS, B-A, DOYLE M. Biological Solids Reduction Using the Cannibal Process, *Water Environment Research*, 79(12), 2380-2386, 2007
11. PÉREZ-ELVIRA, S. I. DIEZ, P. N. FDZ-POLANCO, F. Sludge minimization technologies. *Environmental Science and Biotechnology*, v. 5, p. 375- 398, 2006.
12. SABY S., DJAFER M. E CHEN G. H. Effect of low ORP in anoxic sludge zone on excess sludge production in oxic-settling-anoxic activated sludge process, *Water Research*, 37, 11-20, 2003.
13. VELHO V. F., COSTA R. H. R., NARDELLI, P FOLADORI P. Influence of sludge retention time in an anaerobic side-stream reactor to reduce excess sludge production in a full-scale plant. *In: IWA World Water Congress & Exhibition, 2014, Lisboa, Portugal. LONDON, UK: IWA, 2014.*
14. VELHO V. F., MAESTRI R. S., MARTINS C. L., BELLI FILHO P. E COSTA R. H. R. Estratégias para reduzir a produção de lodo, *Hydro*, 80, 52-55, 2013.
15. VON SPERLING, M. *Lodos Ativados*, v.4. 2.ed. Belo Horizonte:Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade de Minas Gerais, 428p, 2002.
16. WANG J. F., ZHAO Q. L., LIU Z. G., EDWARD L. K. H. Influence factors of excess sludge reduction of the oxic-settling-anaerobic technique, *Chinese Journal of Environmental Science*, 28, 427–432, 2008.
17. YE, F.-X., ZHU, R.-F., LI, Y. Effect of sludge retention time in sludge holding tank on excess sludge production in the oxic-settling-anoxic (OSA) activated sludge process. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 83(1), 109–114, 2008.