

PÓS-TRATAMENTO DE EFLUENTES DE REATORES ANAERÓBIOS EM LAGOAS DE ALTA TAXA DE PRODUÇÃO DE ALGAS

Jean Ricardo da Silva do Nascimento^{1}; Djalema Marques de Melo¹ & Claudio Damasceno de Souza¹*

Resumo: Os sistemas convencionais de tratamento de águas residuárias por si só não são capazes de promover um tratamento satisfatório para serem lançados em corpos hídricos que estejam enquadrados em classes de qualidade mais restritas. O trabalho teve como objetivo geral o estudo do processo de Lagoas de Alta Taxa de Produção de Algas, para pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios tratando esgotos sanitários, com ênfase na definição de parâmetros de projeto e condições operacionais, válidas para regiões de clima subtropical. Tem-se como objetivos específicos: definir parâmetros básicos de projeto, tais como tempo de detenção hidráulico e profundidade útil; identificar as relações existentes entre condições climáticas, em especial temperatura e penetração de luz solar sobre a eficiência na produção de oxigênio, remoção de patogênicos e remoção de matéria orgânica. Como objeto de estudo construiu-se 3 (três) lagoas experimentais, onde foram obtidos os seguintes resultados: eficiência na remoção de DQO em torno de 65% com lâminas d'água variando de 30 a 45 cm, remoção de patogênicos situando-se na faixa de 99,2381% e alta produção de oxigênio no período de 10:00 às 18:00 horas.

Palavras-Chave: Lagoas de Alta Taxa de Produção de Algas, tempo de detenção hidráulico, produção de oxigênio.

POWDERS-HANDLING OF EFLUENTES OF REACTORS ANAERÓBIOS IN PONDS OF HIGH SEAWEED OUTPUT RATE

Abstract: The conventional treatment systems for wastewater alone are not able to promote a satisfactory treatment to be released in water bodies that are classified into quality classes more restricted. The work aimed to study the process of Ponds High Rate Production of Algal for post-treatment of effluents from anaerobic reactors treating sewage, with emphasis on the definition of design parameters and operating conditions, valid for climates subtropical. Has the following objectives: to define the basic parameters of the project, such hydraulic detention time and useful depth, identifying the relationship between climatic conditions, especially temperature and sunlight penetration on the efficiency in the production of oxygen and removal of pathogenic removal of organic matter. As study object was constructed three (3) experimental ponds, where the following results were obtained: COD removal efficiency around 65% with water depths ranging from 30 to 45 cm, removing pathogenic standing in 99.2381% range and high oxygen production in the period from 10:00 to 18:00 hours.

Keywords: Ponds High Rate Production of Algal, hydraulic detention time, oxygen production.

^{1*} Pesquisador em Geociências no Serviço Geológico do Brasil, rua Goiás, 312, Ilhotas, Teresina – PI. Jean.nascimento@cprm.gov.br, djalema.melo@cprm.gov.br, claudio.damasceno@cprm.gov.br.

1. INTRODUÇÃO

Os sistemas de lagoas de estabilização constituem-se na forma mais simples para o tratamento dos esgotos. Há diversas variantes dos sistemas de lagoas de estabilização, com diferentes níveis operacionais e requisitos de área. De maneira geral, as lagoas de estabilização são bastante indicadas para as condições brasileiras Von Sperling, (1996).

As lagoas de estabilização também podem se apresentar como uma alternativa atraente para pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios de manta de lodo, também conhecidos como UASB (reator anaeróbio de fluxo ascendente), pelo fato de se manter num todo a simplicidade conceitual reconhecida para os reatores anaeróbios. Esta linha de se combinar reatores de manta de lodo com lagoas de estabilização afigura-se como de aplicabilidade extremamente ampla para o Brasil Von Sperling, (1996).

As Lagoas de Alta Taxa de Produção de Algas: (0,30 a 0,60m), podem substituir de forma vantajosa lagoas facultativas seguidas de lagoas de maturação. Neste aspecto, podemos destacar pesquisas desenvolvidas no estado da Califórnia/USA por Oswald et al. (1997), que, mediante o emprego de lagoa anaeróbia seguida de lagoas de alta taxa de produção de algas para tratamento de esgotos sanitários, demonstraram que podem ser obtidas vantagens significativas em termos de eficiência de tratamento, mediante remoção mais eficiente de matéria orgânica, nutrientes e organismos patogênicos.

Segundo Fallowfield (1996), a lagoa de alta taxa de produção de algas é uma adaptação das lagoas de estabilização que incorpora um sistema de mistura simples e “baffles” dentro da lagoa para controlar o fluxo hidráulico, assim incrementando a eficiência e reduzindo a sua área, otimizando-se a produção de oxigênio através da fotossíntese.

O oxigênio requerido pelas bactérias é, em parte, suprido principalmente pela atividade fotossintética das algas, que se desenvolvem naturalmente nas lagoas, quando há a disponibilidade de nutrientes e energia luminosa. À medida que as bactérias e outros microrganismos heterotróficos aeróbios alimentam-se da matéria orgânica presente e respiram, consumindo oxigênio, esta mesma respiração vai liberando, no meio, grandes quantidades de gás carbônico, que constitui a fonte primária de carbono para a síntese orgânica das algas. Desta forma, as algas utilizam o gás carbônico como fonte de carbono e outros compostos inorgânicos, liberados durante a oxidação aeróbia, para síntese de seu material celular Gloyna (1973); Branco (1978).

Por meio da clorofila a, as algas produzem oxigênio (O₂) absorvendo a energia solar e convertendo-a em calor e energia química Kellner e Pires (1998).

Segundo Gloyna (1971) e Uhera e Vidal (1989), o oxigênio produzido pela fotossíntese das algas é suficiente para, durante o dia, permitir sua respiração bem como a de outros microrganismos aeróbios. Além disso, as algas consomem o dióxido de carbono elevando o pH do meio durante as horas claras do dia. Silva e Mara (1979), Konig (1990), Nascimento (2001), e vários outros pesquisadores relataram a variação de pH das lagoas ao longo do dia.

2. MATERIAL E MÉTODOS

As etapas experimentais deste trabalho foram realizadas na estação de tratamento de esgotos do conjunto residencial Parque da Matriz, pertencente à CORSAN/RS, localizada na região metropolitana de Porto Alegre.

O experimento foi composto por três lagoas de alta taxa trabalhando em paralelo e com alimentação independente umas das outras. O trabalho foi dividido em três etapas com duração média de dois meses cada. Caracterizadas em função do tempo de detenção hidráulico, resultando em cargas orgânicas por unidade de área relacionadas aos valores de profundidade útil de 30, 45 e 60 cm. A velocidade longitudinal nas lagoas foi mantida em $0,10 \text{ m.s}^{-1}$ para garantia de adequada mistura. Na primeira etapa usou-se um tempo de detenção de 9 dias nas lagoas 1, 2 e 3, com profundidades de 60, 45 e 30 cm, respectivamente, onde as vazões aplicadas nas lagoas foram de 2,06; 1,55 e $1,03 \text{ l.min}^{-1}$. Na segunda etapa usou-se um tempo de detenção de 6 dias sendo que as vazões aplicadas nas lagoas foram de 3,10; 2,32 e $1,55 \text{ l.min}^{-1}$ e por último, numa terceira etapa, aplicação de um tempo de detenção de 3 dias e vazões aplicadas nas lagoas sendo de 6,19; 4,64 e $3,10 \text{ l.min}^{-1}$. O monitoramento constituiu em determinar a eficiência das unidades de tratamento em termos de remoção da matéria orgânica, remoção de nutrientes, remoção de microrganismos patogênicos, levantamento de perfis horários de pH, alcalinidade nas lagoas e no afluente, temperatura e oxigênio dissolvido. As unidades experimentais de lagoas de alta taxa foram implantadas junto ao reator anaeróbio (UASB) e operadas de forma contínua no período de julho de 1999 a janeiro de 2000. Dotadas de impulsores mecânicos de eixo horizontal com o nível de água controlado por vertedor triangular de saída com altura variável. A área superficial ocupada pelas lagoas foi de $133,71 \text{ m}^2$, com dimensões de 12,00 m de comprimento por 4,00 m de largura e 0,80 m de altura. As amostras de cada uma das três lagoas e dos pontos de entrada/ saída do reator eram usadas nas análises de alcalinidade, pH, sólidos, coliformes, nitrito, nitrato, fosfato, sulfato, clorofila *a*, DQO, NTK e NH_3 , turbidez. Durante as coletas eram feitas medidas de penetração da luz com um disco de Secchi. As determinações físico-químicas e biológicas eram realizadas seguindo-se recomendações e métodos de Earton et. al. (1995) e, também com recomendações e/ ou uso de outros autores e equipamentos. O sistema de mistura/ propulsão da massa líquida no interior de cada lagoa é composto por seis pás de dimensões de 1,90 m de comprimento por 55 cm de altura, dispostas horizontalmente e fixados em um eixo de aço. O acionamento do eixo foi obtido por um moto/redutor. As coletas das amostras eram feitas na entrada e saída das lagoas e do UASB durante o turno da manhã.

Foram feitas determinações perfis pH, oxigênio dissolvido, alcalinidade e temperatura em intervalos de hora em hora no interior da massa líquida das lagoas durante o dia, e de duas em duas horas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Abaixo segue planilha com valores médios para os parâmetros obtidos durante o período de monitoramento das unidades experimentais.

Quadro 1: Valores médios para um TDH de 9 dias

Parâmetros	Efl. UASB	L1(0,60m)	L2 (0,45m)	L3 (0,30m)	Unidade
SST	94	105	118	104	mg/l
SV	147	157	199	204	mg/L
Turbidez	35	21	21	16	mg/L
DQO total	163,44	148,52	165,99	173,26	mg O ₂ /L
DQO filtrada	70,57	56,55	55,82	67,88	mg O ₂ /L
Coli. fecal	2,1*10 ⁶	1,6*10 ⁴	6,5*10 ⁴	6,8*10 ⁴	NMP/100ml
Coli. total	6,3*10 ⁶	1,6*10 ⁵	1,6*10 ⁵	2,8*10 ⁵	NMP/100ml
NTK	40,29	32,92	17,74	20,70	mg/L
NH ₃ -N	30,92	23,76	6,01	8,89	mgNH ₃ - N/L
NO ₂ ⁻ - N	1,43	0,78	2,66	2,14	mgNO ₂ ⁻ - N/L
NO ₃ ⁻ - N	0,22	8,71	8,78	11,16	mgNO ₃ ⁻ - N/L
PO ₄ ⁻³ - P	3,65	3,03	2,08	2,69	mgPO ₄ ⁻³ - P/L
SO ₄	45,57	47,13	40,33	46,31	mgSO ₄ /L
Clorofila <i>a</i>	-	-	-	-	µg/L
Disco Secchi	-	16	16	16	cm
Temperatura	17	17	17	16	°C

Quadro 2: Valores médios para um TDH de 6 dias

Parâmetros	Efl. UASB	L1(0,60m)	L2 (0,45m)	L3 (0,30m)	Unidade
SST	68,95	106,43	101,45	102,18	mg/l
SV	136	189	193	196	mg/L
Turbidez	36	18	19	19	mg/L
DQO total	175,62	213,17	196,20	222,86	mg O ₂ /L
DQO filtrada	91,10	75,09	75,86	91,10	mg O ₂ /L
Coli. fecal	1,85*10 ⁶	2,99*10 ⁵	8,52*10 ⁴	2,99*10 ⁴	NMP/100ml
Coli. total	5,56*10 ⁶	2,51*10 ⁶	8,33*10 ⁵	1,34*10 ⁵	NMP/100ml
NTK	46,82	36,13	28,04	23,90	mg/L
NH ₃ -N	34,11	23,02	13,57	7,44	mgNH ₃ - N/L
NO ₂ ⁻ - N	1,61	5,23	3,80	2,13	mgNO ₂ ⁻ - N/L
NO ₃ ⁻ - N	1,79	2,72	5,16	4,51	mgNO ₃ ⁻ - N/L
PO ₄ ⁻³ - P	4,99	5,12	4,53	3,81	mgPO ₄ ⁻³ - P/L
SO ₄	42,26	46,14	44,00	42,85	mgSO ₄ /L
Clorofila <i>a</i>	-	1728,47	1922,14	1729,06	µg/L
Disco Secchi	-	18,43	18,64	17,00	cm
Temperatura	20,54	20,45	20,48	20,41	°C

Quadro 3: Valores médios para um TDH de 3 dias

Parâmetros	Efl. UASB	L1(0,60m)	L2 (0,45m)	L3 (0,30m)	Unidade
SST	63,33	144,58	122,25	133,33	mg/l
SV	158,17	223,58	221,92	229,67	mg/L
Turbidez	42,00	29,25	29,00	26,75	mg/L
DQO total	179,21	213,16	222,95	245,74	mg O ₂ /L
DQO filtrada	75,22	82,96	85,25	86,69	mg O ₂ /L
Coli. fecal	3,65*10 ⁶	1,54*10 ⁶	5,86*10 ⁵	1,64*10 ⁵	NMP/100ml
Coli. total	5,08*10 ⁶	3,74*10 ⁶	4,31*10 ⁶	1,95*10 ⁶	NMP/100ml
NTK	65,09	52,48	46,65	41,09	mg/L
NH ₃ -N	44,44	31,95	23,82	15,77	mgNH ₃ - N/L
NO ₂ ⁻ - N	5,05	0,88	1,23	3,48	mgNO ₂ ⁻ - N/L
NO ₃ ⁻ - N	0,54	0,84	0,73	0,69	mgNO ₃ ⁻ - N/L
PO ₄ ⁻³ - P	4,96	4,08	4,27	3,82	mgPO ₄ ⁻³ - P/L
SO ₄	40,19	49,12	44,48	45,52	mgSO ₄ /L
Clorofila <i>a</i>	-	2342,63	2335,88	2228,88	µg/L
Disco Secchi		12,20	12,70	11,60	cm
Temperatura	26,3	25,9	26,1	26,0	°C

Onde: Efl. UASB - Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente; L1,2,3 – Lagoas 1, 2 e 3; SST- sólidos suspensos totais; SV- Sólidos Voláteis; DQO total - Demanda Química de Oxigênio Total; DQO filtrada – Demanda Química de Oxigênio Filtrada; Coli. Fecal – Coliformes Fecais; Coli. Total – Coliformes Fecais Total; NTK – Nitrogênio Total Kjeldahl; NH₃-N- Nitrogênio Amoniacal; NO₂⁻N - Dióxido de nitrogênio; NO₃⁻ - N - Nitrato de Nitrogênio; PO₄⁻³ – P- Fosfato; SO₄– Sulfato.

Abaixo são mostrados os perfis de OD realizados ao longo de todo o trabalho experimental.

3.1. Oxigênio Dissolvido

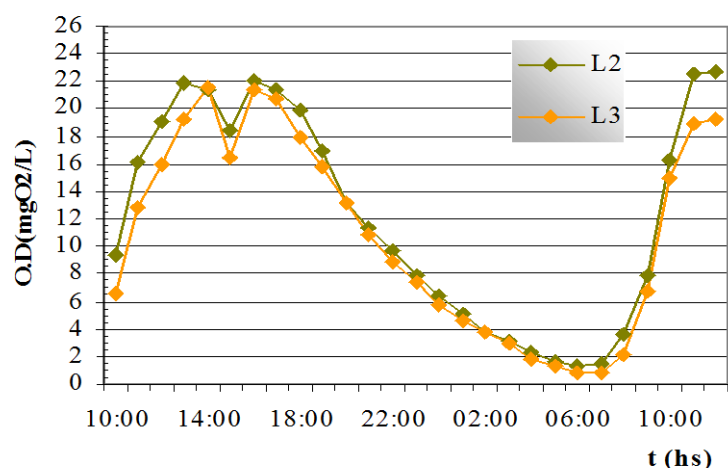


Figura 1 – OD para TDH = 9 dias

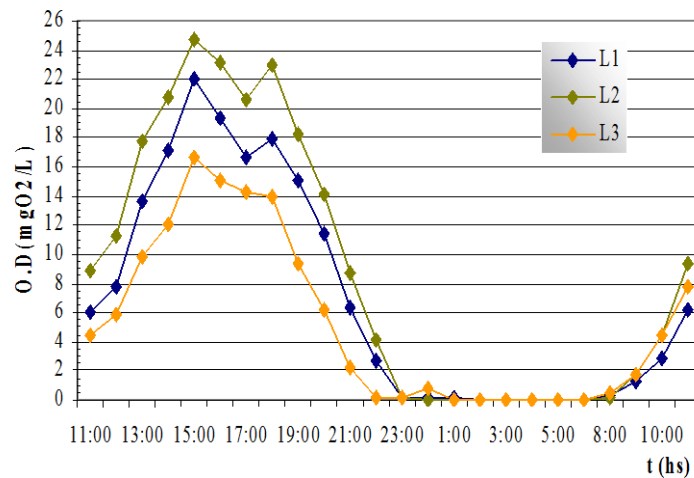


Figura 2 – OD para TDH = 6 dias

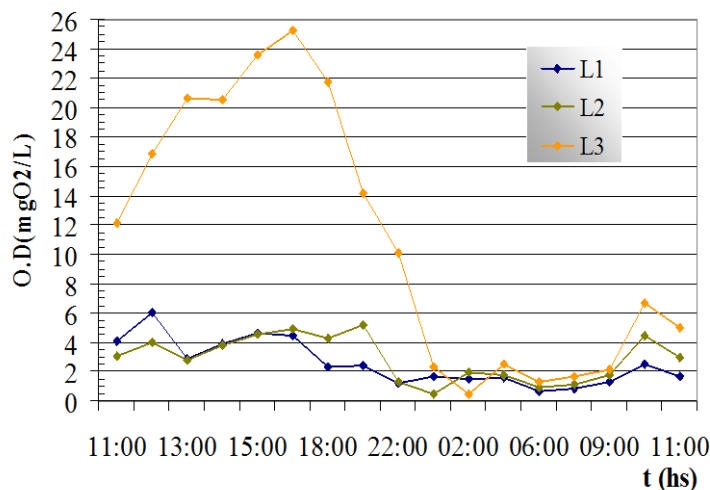


Figura 3 – OD para TDH = 3 dias

Os perfis de oxigênio dissolvido não mostraram uma estratificação nas camadas da massa líquida ao longo do tempo de operação do experimento, ou seja, os valores de OD foram os mesmos em todas as profundidades das lagoas. Períodos de super saturação ocorreram entre 10:00hs às 22:00hs para um TDH= 9 e 6 dias conforme figuras 1 e 2. O valor de máxima saturação foi de 22 mgO₂/L para TDH = 9; 25 mgO₂/L para um TDH=6 dias e de 10:00hs às 21:00hs quando operadas num TDH=3 dias conforme figura 3 com valor de máxima saturação igual 25 mgO₂/L. Esses altos valores de OD é obtido devido a alta concentração de algas, que é típica desse tipo de sistema.

De acordo com os resultados médios obtidos, os melhores valores de percentagens de remoção de organismos patogênicos, coliformes fecais, foram obtidos na lagoa 1, profundidade de 60 cm, sendo de 99,2381%; lagoa 2, profundidade de 45 cm, eficiência de 96,90476% e na lagoa 3, profundidade de 30 cm, foi obtido eficiência de 96,7619% num tempo de detenção hidráulica igual a 9 dias. Já para valores de tempo de detenção inferiores a 9 dias o percentual de remoção é bastante baixo onde os melhores resultados foram obtidos uma remoção de 98,38378%, 95,34959% e 83,837837% para um tempo de detenção hidráulica igual a 6 dias. Para um tempo de detenção

hidráulica igual a 3 dias os valores de percentagens também são bastante baixos chegando a uma máxima percentagem remoção de 95,50685% para a lagoa 3, 83,94521% para a lagoa 2 e de 57,8082% para a lagoa 1.

Para os valores de DQO, a análise foi feita em cima dos valores de DQO total na entrada pela DQO filtrada na saída das lagoas, pois se considerando a DQO total da saída das lagoas os valores de eficiências no sistema não justificariam o seu emprego. Para um tempo de detenção hidráulica de 9 dias a eficiência média ficou na faixa de 65% nas três lagoas; para um tempo de detenção de 6 dias a eficiência média foi de 55% para as três lagoas e para um tempo de detenção de 3 dias uma eficiência média de 50%.

4. CONCLUSÕES

Com tempos de detenção baixos nas lagoas de alta taxa conseguiu-se eficiências de remoção de DQO similares ao conseguidos em outros tipos de tratamentos aeróbios, ou seja, eficiências em torno de 65%.

Os melhores valores de remoção de patogênicos ficam para as lagoas operadas num tempo de detenção hidráulica de 9 dias.

A alta produção de oxigênio nas lagoas foi observada durante os período compreendido de 10:00 hs às 18:00 hs coincidindo com o período onde há a presença de luz e chegando a valores nulos em horário noturnos.

AGRADECIMENTO

Os autores agradecem a CPRM/SGB (Companhia de Pesquisa Recursos Minerais / Serviço Geológico do Brasil - Empresa Pública do Ministério de Minas e Energia) pelo fomento.

REFERÊNCIAS

BRANCO, S. M. (1978). Hidrologia Aplicada à Engenharia Sanitária. 2 ed. CETESB. São Paulo, 620 p.

EARTON, A. O.; CLESCERI, L. S.; GREENBERG, A. E. (1995). Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association; American Water Works Association; Water Environment Federation. Washington, 19 ed.

FALLOWFIELD, H. J.; CROMAR, N. J.; EVISON, L. M. (1996). Coliforme Die-off Rate Constants in High Rate Algal Pond and the Effect of Operational and Environmental Variables. Water Science Technology, v. 34, n 11, p 141-147.

GLOYNA, E. F. (1971). Waste Stabilization Ponds. World Health Organization, Geneva.

GLOYNA, E. F. (1973). Estanques de Estabilización de Aguas Residuales. Organización Mundial de la Salud. Ginebra 192 p.

KELLNER, E.; PIRES, E. C. (1998). Lagoas de Estabilização: Projeto e Operação. Rio de Janeiro: ABES, 244p.

KONIG, A (1990). Biologia das Lagoas: Algas In: MENDONÇA, Sérgio Rolim 1990. Lagoas de Estabilização e Aeradas Mecanicamente: Novos conceitos. João Pessoa, 388p.

NASCIMENTO, J. R. S. (2001). Lagoas de Alta Taxa de Produção de Algas para Pós-tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbio. Dissertação de Mestrado. UFRGS/IPH. Porto Alegre –RS. 86p.

OSWALD, W. J.; GOULEKE, C. G. & TYLER, R. W. (1997). Integrated Pond Systems for subdivisious. Jornal of the Pollution Control Federation. v. 39, p 1289-1304.

SILVA, S. A.; MARA, D. D. (1979). Tratamentos Biológicos de Águas Residuárias: Lagoas de Estabilização. Rio de Janeiro, ABES. 140p.

VON SPERLING, M., (1996). Princípios de Tratamento Biológicos de Águas Residuárias. Departamento de engenharia sanitária e ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais. Minas Gerais, V.3., 134p.

UEHARA, M.; VIDAL. W. L. (1989). Operação e Manutenção de Lagoas Anaeróbias e Facultativas. São Paulo, CETESB. (Série manuais), 89 p.