

II-285 - AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE LODOS ATIVADOS EM UM REATOR COM BIOFILME EM LEITO MÓVEL (SMBBR) PARA O TRATAMENTO DE LIXIVIADO DE ATERRO SANITÁRIO

Rodrigo de Freitas Bueno⁽¹⁾

Biólogo e Engenheiro Ambiental, Mestre em Saúde Pública – Área: Saúde Ambiental pela Faculdade de Saúde Pública da USP, Doutorando em Engenharia Civil – Área: Engenharia Hidráulica e Ambiental na Escola Politécnica da USP.

Roque Passos Piveli

Engenheiro Civil e Mestre em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos da USP, Doutor em Engenharia Civil-Área: Engenharia Hidráulica e Sanitária pela Escola Politécnica da USP, Professor Associado do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Escola Politécnica da USP.

Fábio Campos

Biólogo, Mestre em Engenharia Civil-Área: Engenharia Hidráulica e Sanitária pela Escola Politécnica da USP, doutorando em Saúde Pública – Área: Saúde Ambiental pela Faculdade de Saúde Pública da USP.

Luis Otavio Kaneioshi Montes Imagiire

Engenheiro Ambiental – Área: Ambiental e Saneamento pelo Centro Universitário do SENAC.

Robson Faria de Souza

Engenheiro Ambiental – Área: Ambiental e Saneamento pelo Centro Universitário do SENAC.

Endereço⁽¹⁾: Rua Belo Jardim, 118 – Jd. Mutinga – São Paulo - SP - CEP: 05159200 - Brasil - Tel: (11)983962421- e-mail: robueno@usp.br

RESUMO

O objetivo deste estudo foi avaliar a remoção de material orgânico e nitrogenado em um sistema com biofilme em leito móvel operado em bateladas sequenciais (SMBBR), tratando em conjunto esgoto sanitário e lixiviado. A concentração de OD foi mantida na faixa de 1,0-1,5mg/L e a proporção de lixiviado combinado ao esgoto sanitário foi de 5, 7 e 10%. Na remoção de material orgânico o sistema mostrou-se eficiente em todas as condições, resultando eficiências de DQO superiores a 80%. No entanto em termos de COT o sistema apresentou baixa eficiência de remoção quando operado com 5 e 10% de lixiviado com eficiências entre 50-70%. Em termos de nitrificação e desnitrificação o sistema mostrou-se eficiente quando a fase de aeração e anóxica foi aumentada nas Etapas 2 e 3, resultando um efluente final com baixas concentrações de amônia e nitrato.

PALAVRAS-CHAVE: Lodo ativado, reator em bateladas sequenciais, SMBBR, lixiviado, tratamento em conjunto.

INTRODUÇÃO

O tratamento e disposição adequada dos efluentes gerados nos aterros sanitários representam, ainda, um desafio para a engenharia sanitária e ambiental, haja vista a grande variabilidade de compostos que podem estar presente nestes efluentes. Diferente do tratamento de esgotos sanitários de origem tipicamente doméstica, onde é possível utilizar dados de literatura para seleção e dimensionamento dos processos para adequação, descarte e/ou reúso do esgoto, o tratamento de lixiviado requer estudos experimentais em unidades pilotos, uma vez que a característica e tratabilidade desses efluentes são altamente variáveis e específicas para o seu local de geração. No entanto, apesar do impacto ambiental significativo devido a elevada concentração de material orgânico e nutrientes, sobretudo amônia, esforços expressivos no seu controle ainda são mal documentados, dificultando a tomada de decisão para a escolha da tecnologia de tratamento mais adequada. São muitos os sistemas de tratamento de lixiviados atualmente pesquisados e dentre estes sistemas podem-se destacar a recirculação no próprio aterro sanitário (DIAMADOPOULOS, 1994), tratamento por osmose reversa (CHIANESE *et al.*, 1998), tratamento por lodos ativados seguido por ultrafiltração e precipitação química (BOHDZIEWICS *et al.*, 2001), tratamentos físico-químicos (AMOKRANE, *et al.* 1997), tratamento direto e em conjunto em reatores UASB (KETTUNEN & RINTALA, 1998; LIN, *et al.* 2000), tratamento conjunto de esgoto sanitário em sistemas australianos de lagoas (CASTRO, 2001), tratamento anaeróbio em bateladas sequenciais (KENNEDY

& LENTZ, 2000) e tratamento em conjunto de esgoto sanitário em sistemas com biofilme em leito móvel (MBBR/IFAS). Embora exista, atualmente, uma grande opção para o tratamento de lixiviados, o tratamento por processo biológico em conjunto de esgoto sanitário em sistemas com biofilme em leito móvel (MBBR) operado em bateladas sequenciais, tem ganhado grande interesse por parte dos pesquisadores e empresas de saneamento, devido às vantagens do SMBBR em relação às tecnologias de biomassa suspensa tais como: i) maior concentração de biomassa; ii) menor sensibilidade à compostos tóxicos; e iii) remoção de compostos orgânicos e amônia em um processo único. Como principal desvantagem do processo, pode-se destacar a maior demanda de oxigênio, acarretando, assim, um maior consumo de energia (JORDÃO & PESSOA, 2011). Dentro deste contexto, a pesquisa avaliou o comportamento de um sistema com biofilme em leito móvel na remoção de matéria orgânica e compostos nitrogenados tratando em conjunto esgoto sanitário e lixiviado em diferentes proporções.

MATERIAIS E MÉTODOS

Operação e configuração da planta piloto

A presente pesquisa foi conduzida por meio de um experimento em escala piloto. Foi posto em operação um reator biológico com biofilme em leito móvel, que recebeu anéis plásticos móveis do tipo Kaldnes®. Estes anéis possuem área superficial específica estimada em $310 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^3$ e ocuparam 50% do volume útil do reator. A Figura 1 mostra o arranjo experimental utilizado neste estudo. O sistema de aeração foi feito por ar difuso instalado no fundo dos reatores, garantindo o suprimento de oxigênio. Para evitar a sedimentação do lodo na fase de enchimento, foi instalado um misturador no reator. Uma válvula solenóide controlada por um medidor de oxigênio dissolvido (OD) foi utilizada para manter a concentração de OD na faixa de estudo (1,0- 1,5mg/L). A concentração de OD, pH, temperatura e potencial de oxidação-redução (ORP), foram monitorados online durante todas as etapas do estudo e os dados registrados em um computador, por meio de um data logger. O controle dos ciclos (enchimento, aeração, sedimentação, descarte e repouso) foi realizado por meio de um controlador automatizado. O reator é mantido em temperatura ambiente e o pH do lodo controlado próximo a 7,0.

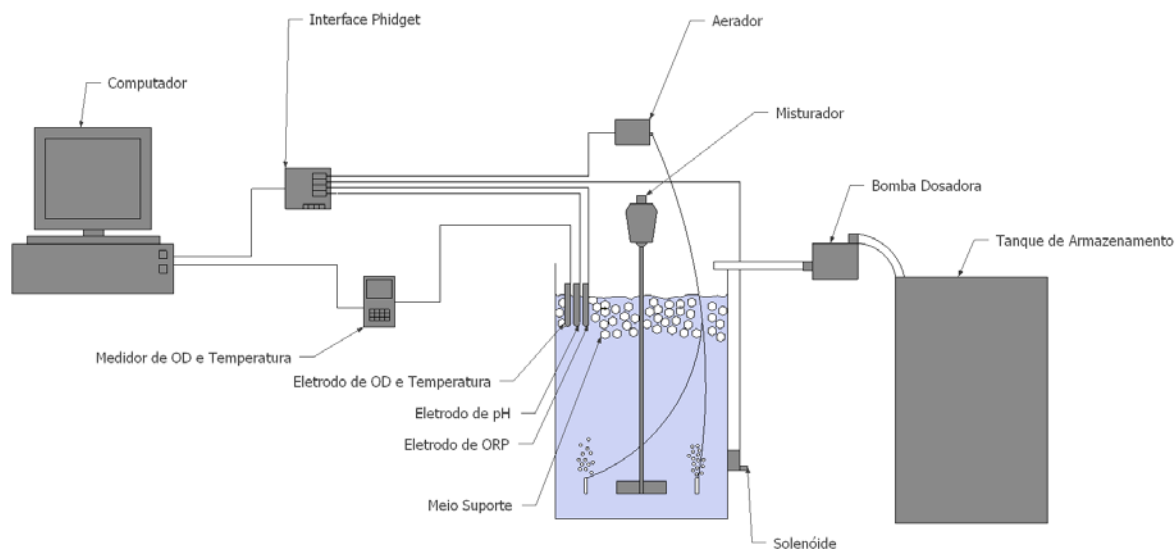


Figura 1: Corte esquemático do sistema de SMBBR com sensores de medição online

Características do esgoto sanitário e do lixiviado

O esgoto sanitário utilizado nesta pesquisa recebe tratamentos prévios de peneiramento, desarenação e remoção de gordura. O lixiviado também conhecido por Chorume – efluentes líquidos gerados como resultado da percolação de água de chuva através dos resíduos sólidos dispostos em aterros sanitários, bem como da umidade natural desses resíduos – é coletado na Estação Elevatória de Esgoto do Piqueri - SABESP, sendo proveniente do Aterro Sanitário de Caieiras no Estado de São Paulo.

Condições de operação e ensaios laboratoriais

O sistema de SMBBR em batelada será operado em três etapas, com variações na concentração de lixiviado, como mostra a Tabela 1. O ciclo com as fases de operação do reator estão descritos na Tabela 2.

Tabela 1: Resumo das principais condições de operação do reator

Parâmetros	Etapa I	Etapa II	Etapa III
Dias de operação	40	40	40
Volume útil do reator (Litros)	20	20	20
Volume do meio suporte (%)	50	50	50
Vazão de alimentação / ciclo (L/min)	1,0	1,0	1,0
Concentração de lixiviado	5%	7%	10%
TDH por ciclo (horas)	8	12	12
Concentração de OD (mg/L)	1,0-1,5	1,0-1,5	1,0-1,5
N (amostras)	10	10	10

Tabela 2: Ciclo de operação do reator

Ciclo operacional	Etapa I	Etapa II	Etapa III
	Tempo (horas)	Tempo (horas)	Tempo (horas)
Fase de enchimento com aeração	4,0	8,0	8,0
Fase anóxica	2,5	2,5	2,5
Fase de sedimentação	0,5	0,5	0,5
Descarte do sobrenadante	0,5	0,5	0,5
Repouso	0,1	0,1	0,1
Duração de cada ciclo	8,0	12,0	12,0

Análises laboratoriais

Os métodos analíticos utilizados foram descritos no *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*, 21th Edition (APHA, 2005). As concentrações de amônia, nitrito, nitrato e fósforo, serão quantificados em um cromatógrafo de íons (Dionex-100, coluna ASCR2_mm e CSCR2_mm).

Os principais parâmetros físico-químicos e a frequência de amostragem realizada são apresentados na Tabela 3. As determinações laboratoriais serão realizadas no Laboratório de Saneamento Prof. Lucas Nogueira Garcez - Escola Politécnica da USP.

Tabela 3: Programa de monitoramento no reator durante as Etapas I, II e III.

Variáveis	Unidade	Afluente	Licor Misto	Efluente
Temperatura	°C	-	Online	-
REDOX	mV	-	Online	-
pH	-	2 x Semana	Online	2 x Semana
Oxigênio Dissolvido	mg/L	-	Online	-
COT	mg/L	2 x Semana	-	2 x Semana
DQO total	mg/L	2 x Semana	-	2 x Semana
Série de sólidos	mg/L	2 x Semana	2 x Semana	2 x Semana
N-NTK	mgN/L	2 x Semana	-	2 x Semana
N-NH ₃ ⁻	mgN/L	2 x Semana	-	2 x Semana
N-NO ₂ ⁻	mgN/L	2 x Semana	-	2 x Semana
N-NO ₃ ⁻	mgN/L	2 x Semana	-	2 x Semana
Alcalinidade	mgCaCO ₃ /L	2 x Semana	-	2 x Semana
COT	mg/L	2 x Semana	-	2 x Semana

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Aclimação do Lodo

No start up do sistema, o tanque de aeração foi preenchido com lodo biológico de um sistema de lodo ativado convencional (MBBR/IFAS) da EPUSP, tratando esgoto sanitário combinado com lixiviado. A concentração inicial de oxigênio dissolvido foi mantida na faixa de 1,0-1,5 mgO₂/L com troca volumétrica de 30%. Com ciclos iniciais de 8 horas, sendo: aeração de 4,0h, anóxica 2,5h, sedimentação 0,5h, descarte 0,5h e repouso 0,10h. A alimentação do sistema foi feita inicialmente com esgoto sanitário e a cada ciclo foram adicionados proporções gradativas de lixiviado até a combinação de 5% na mistura com esgoto. Manteve-se uma concentração de SSV acima de 2500mg/L no tanque de aeração e de biomassa aderida acima de 2000mg/L. Após 30 dias de operação observou-se que o sistema estava em condições estáveis, com taxa de remoção de DQO e de nitrogênio superiores a 80%, considerando o término da Fase de aclimação. Na Tabela 4 pode ser observada a caracterização do esgoto sanitário, do lixiviado e da mistura do esgoto sanitário com 5% de lixiviado.

Tabela 4: Caracterização do esgoto sanitário e do lixiviado utilizado no estudo.

VARIÁVEIS	ESGOTO SANITÁRIO	LIXIVIADO
Temperatura (°C)	23,2 ± 3,0	23,2 ± 3,0
REDOX (mV)	-170 ± 70	-198 ± 16
pH	7,0 ± 0,2	8,2 ± 1,0
COT (mg/L)	9,8 ± 2,0	899 ± 47
DQO total (mg/L)	1143 ± 200	10478 ± 3866
Sólidos Totais (mg/L)	820 ± 150	1117 ± 112
Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	184 ± 84	612 ± 230
Sólidos Suspensos Fixos (mg/L)	39 ± 10	308 ± 60
Sólidos Suspensos Voláteis (mg/L)	145 ± 35	304 ± 56
Sólidos Sedimentáveis (mL/L)	2,0 ± 1,0	4,0 ± 2,0
N-NTK (mgN/L)	87,4 ± 10,0	1366 ± 515
N-NH ₃ ⁺ (mgN/L)	58,8 ± 8,0	1213 ± 504
N orgânico (mgN/L)	28,6 ± 7,0	153 ± 71
N-NO ₂ ⁻ (mgN/L)	< 0,5	< 0,5
N-NO ₃ ⁻ (mgN/L)	< 0,5	< 0,5
P-PO ₄ total (mgP/L)	5,3 ± 2,0	7,4 ± 2,0
Alcalinidade (mgCaCO ₃ /L)	380 ± 100	7133 ± 567

* N = 10 amostras. Esgoto Combinado (esgoto sanitário + 5% de lixiviado)

VARIÁVEIS DE CONTROLE (MONITORAMENTO ONLINE)

Oxigênio dissolvido, ORP, Temperatura e pH no licor misto

Os valores médios das concentrações de OD, ORP, temperatura e pH foram obtidos por meio do monitoramento online do licor misto durante todos os ciclos do experimento (Tabela 5). Em todas as Etapas e ao longo do estudo foi possível manter as faixas de OD proposta, que garantiu a estabilidade e desenvolvimento dos processos.

Tabela 5: Variáveis de controle monitoradas online durante o estudo

Variáveis	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3
OD (mg/L)	0,9±0,3	1,0±0,3	1,0±0,4
pH	6,8 ± 2,0	6,8 ± 2,0	6,8 ± 2,0
T (°C)	23,2 ± 3,0	23,2 ± 3,0	23,2 ± 3,0
ORP (mV)	-150 a 200	-150 a 200	-150 a 200
Fase aerada e anóxica			
N	100	100	100

COMPORTAMENTO DO PROCESSO DE TRATAMENTO:

Remoção de Material Orgânico

Em relação à remoção de matéria orgânica, pode ser dito que o sistema (SMBBR) foi mantido sob operação estável e eficiente durante todo o período experimental nas Etapas 1, 2 e 3. Sendo que na Etapa 2, em termos de COT e DQO, os efluentes mantiveram-se relativamente estáveis, chegando a eficiências superiores a 83 e 90%, respectivamente (Tabela 6). No entanto, quando a proporção de lixiviado passou de 7 para 10% na Etapa 3 ocorreu a elevação de COT no efluente ao longo de todo o período operacional, resultando em uma eficiência média entorno de 51% similar ao obtido na Etapa 1 nesse caso essa diminuição ocorreu pela curta fase de adaptação do lodo frente a nova proporção de lixiviado. Observou-se baixa perda de sólidos junto com o efluente final, em ambas as etapas e ao longo de toda a operação.

Tabela 6 – Resultados de DQO, Série de sólidos e de COT

Variáveis	ETAPA 1			ETAPA 2			ETAPA 3		
	Combinado (mg/L)	Efluente (mg/L)	Efic. (%)	Combinado (mg/L)	Efluente (mg/L)	Efic. (%)	Combinado (mg/L)	Efluente (mg/L)	Efic. (%)
DQO _{total}	800±230	230±100	71,2	1075±225	112±50	90,0	1400±100	225±55	83,9
COT	28,1±5,0	13,7±4,2	51,2	45,1±5,0	7,5±2,2	83,4	58,2±4,0	18,9±3,2	67,5
ST	1098±170	150±50	86,3	1270±150	110±60	91,3	1320±150	90±25	93,2
SST	460±120	16±5	96,5	220±80	10±2,0	95,5	250±100	12±5	95,2
SSF	160±40	2±1	98,7	58±30	2,4±1,0	95,9	82±44	2,5±1	96,9
SSV	300±120	14±4	95,3	162±70	7,6±2,0	95,3	168±60	9,5±3	94,3
SS	6,0±2,0	0,5±0,5	91,7	5,0±2,0	0,2±0,0	96,0	4,0±1,0	0,5±0,5	87,5
Lixiviado	5%			7%			10%		

* N = 10 amostras. Esgoto combinado (Lixiviado+Esgoto Sanitário).

Oxidação de compostos nitrogenados

Em relação à oxidação dos compostos nitrogenados, observa-se na Etapa 1 uma baixa eficiência na oxidação da amônia, cerca de 50% foi liberada no efluente final. O ciclo nessa Etapa foi de 8 horas sendo o tempo de aeração de 6h com OD na faixa de 1,0-1,5 mg/L, essas condições não foram suficientes para o desenvolvimento eficiente do processo de nitrificação o que pode ser evidenciado pelo baixo consumo de alcalinidade. Na Etapa 2 e 3, adotou-se um ciclo de 12h sendo o tempo de aeração de 8h com o OD na faixa de 1,0-1,5 mg/L. Como se pode observar na Tabela 7, as concentrações de NKT e NH₃ foram relativamente baixas, com concentrações de amônia menor que 20,0 mg/L. A concentração média de alcalinidade no efluente final na Etapa 2 foi de 158±100. Considerando que 1,0 mgNH₄+ demanda 3,57 mg/L de alcalinidade em CaCO₃ para os processos de amonificação, nitrificação e desnitrificação. Quando as variações de nitrito e nitrato são negligenciadas, podemos observar que o balanço de alcalinidade no sistema é compatível. Este resultado confirma que todo o processo bioquímico envolvido aconteceu. Dependendo da concentração de amônia e da alcalinidade no afluente, torna-se necessário a introdução de alcalinizante artificial, para não ocorrer limitações no processo de nitrificação e desnitrificação.

Tabela 7: Resultados da série nitrogenada e de alcalinidade

Variáveis	ETAPA 1		ETAPA 2		ETAPA 3	
	Combinado (mg/L)	Efluente (mg/L)	Combinado (mg/L)	Efluente (mg/L)	Combinado (mg/L)	Efluente (mg/L)
N-NTK	201,6±20,0	94,1±6,7	263,2±40	41,4±15	250±35	45±13
N-NH ₃ ⁺	143,4±16,0	68,3±9,5	190,4±35	31,4±12	187±4,0	36±3,2
Norgânico	58,3±10,0	25,8±2,8	73±13	10±3,0	63±10	11±2,5
N-NO ₂ ⁻	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
N-NO ₃ ⁻	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 5,0	< 0,5	< 5,0
Alcalinidade	720±50	690±40	950±100	158±100	850±110	218±89
Lixiviado	5%		7%		10%	

N = 10 amostras. Esgoto combinado (Lixiviado+Esgoto Sanitário).

CONCLUSÕES

Dentre os aspectos mais importantes que foram observados, destacam-se o desempenho alcançado pelo SMBBR em termos de eficiências na remoção de matéria orgânicas e nitrogênio, bem como a estabilidade operacional resultante da aplicação desse processo ao tratamento combinado de esgoto sanitário e lixiviado. Os resultados demonstram que é possível aumentar as dosagens de lixiviado nesses sistemas com elementos suporte sem comprometer o processo de tratamento. Apesar de ser variável, pode-se afirmar que, aproximadamente, a adição dos corpos móveis garante a presença de biomassa aderida em quantidade da mesma ordem de grandeza de concentração da biomassa em suspensão, dobrando a capacidade do sistema.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. AMOKRANE, A.; COMEL, C. E VERON, J. (1997) *Landfill leachates pretreatment by coagulation-floculation*. Water Research, 31, No. 11, pp. 2775-2782
2. CASTRO, M.C.A.A. de (2001) *Avaliação de um sistema australiano de lagoas no tratamento de esgoto sanitário e líquidos percolados gerados em aterro sanitário*. São Carlos, 2001. 214p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
3. CHIANESE, A.; RANAURO, R.; VERDONE, N. (1999) *Treatment of landfill leachate by reverse osmosis*. Water Research, Volume 33, Issue 3, February 1999, Pages 647-652.
4. DIAMADOPOULOS, E. (1994) *Characterization and treatment of recirculation-stabilized leachate*. Water Research, v.28, p.2439-2445.
5. JORDAO, E. P.; PESSOA, C. A. *Tratamento de Esgotos Sanitários*. 6. ed. Belo Horizonte: Segrac Editora, vol. 1. p.941, 2011.
6. KENNEDY, K.J. E LENTZ, E.M. (2000) *Treatment of landfill leachate using sequencing batch and continuous flow upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactors*. Water Research, Volume 34, Issue 14, 1 October 2000, Pages 3640-3656.
7. KETTUNEN, R. H.; HOILJOKI, T.H. E RINTALA, J. A. (1996) *Anaerobic and sequential anaerobic-aerobic treatments of municipal landfill leachate at low temperatures*. Bioresource Technology, 58, pp. 31-40.