

III-053 - AVALIAÇÃO DO DECAIMENTO DA MATERIA ORGÂNICA DE LIXIVIADOS DE ATERROS SANITARIOS EM LAGOAS ANAEROBIAS

Ellen Caroline Baettker

Engenheira Ambiental pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Mestre em Engenharia Civil pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC) da UTFPR. Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental (PPGERHA), na Universidade Federal do Paraná (UFPR).

Julio Cezar Rietow

Engenheiro Ambiental pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR). Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho pela PUCPR. Mestrando do PPGERHA na UFPR.

Miguel Mansur Aisse

Engenheiro Civil, Doutor em Engenharia Civil pela Escola Politécnica (EP/USP). Professor do PPGERHA na UFPR.

Endereço: Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental (PPGERHA) da Universidade Federal do Paraná (UFPR), Campus Centro Politécnico, Setor de Tecnologia, Bloco V - Jardim das Américas - Curitiba - PR - CEP:81531-990 - Tel: +55 (41) 3361-3144 - e-mail: ebaettker@gmail.com

RESUMO

Percolado ou lixiviado é o líquido gerado durante o processo da decomposição, predominantemente anaeróbia, dos resíduos sólidos dispostos em aterro sanitário. Um arranjo muito utilizado no tratamento de lixiviados é o denominado sistema australiano, que conjuga lagoa anaeróbia e lagoa facultativa em série. No entanto os critérios de dimensionamento são geralmente os utilizados para tratamento de esgotos sanitários. O presente trabalho teve por objetivo avaliar o comportamento do decaimento da matéria orgânica do lixiviado, proveniente de aterro sanitário, em uma lagoa anaeróbia, visando rever os critérios de projeto utilizados. O lixiviado foi armazenado em um tanque de 7.500 L, devidamente coberto, e o conteúdo, monitorado regularmente, funcionou como uma lagoa anaeróbia. Desta maneira foi possível estimar o decaimento da matéria orgânica, avaliada como DBO e DQO, ao longo do tempo, em quatro bateladas. Os resultados indicaram que os valores da constante de remoção (K) encontrados foram inferiores aos citados para o tratamento de esgotos brutos. Nos experimentos com lixiviado obteve-se a amplitude de 0,008 a 0,017 e 0,031 na quarta batelada, utilizando-se o parâmetro DBO. A amplitude do coeficiente de remoção da DQO foi 0,006 a 0,016, inferior ao obtido para o parâmetro DBO. A análise dos critérios de dimensionamento de Lagoas Anaeróbias, para lixiviados, apoiou-se na observação do tempo de detenção (td) nos experimentos para se obter uma Eficiência de 50% na remoção da DBO. Para as quatro bateladas o tempo apresentou uma grande amplitude, de 30 a 120 dias. Para a DQO, o td evoluiu de 90 a 120 dias, com exceção da batelada 4 que se mostrou atípica (menor tempo), convergente aos valores obtidos por outros autores.

PALAVRAS-CHAVES: Cinética de reatores, constante de remoção de primeira ordem, critérios de dimensionamento de lagoas de estabilização.

INTRODUÇÃO

Lixiviado de Aterro Sanitário

Ao líquido gerado durante o processo da decomposição, predominantemente anaeróbia, de resíduos sólidos dispostos em aterro sanitário dá-se o nome de percolado ou lixiviado. O lixiviado possui composição química e microbiológica complexa, com elevada concentração de matéria orgânica e substâncias inorgânicas. Além disso, as características variam, pois, além de depender dos resíduos depositados, são influenciadas pelas condições ambientais, tempo e forma de operação do aterro e, principalmente, pela dinâmica dos processos de decomposição que ocorrem no interior das células. Estudos com lixiviado de aterros sanitários brasileiros apresentam teores de matéria orgânica em termos de DQO variando de 190 a 22.300 mg.L⁻¹ e concentrações de nitrogênio amoniacal variando de 0,4 a 1.800 mg.L⁻¹, além da presença de compostos recalcitrantes como ácidos húmicos e fúlvicos (LANGE; AMARAL, 2009). Ahmed e Lan (2012) relataram que o lixiviado, quando novo, apresenta altas concentrações de matéria orgânica biodegradável, favorecendo assim a elevada razão de

DBO/DQO. Esta razão diminui com o tempo, resultante dos processos de estabilização da matéria orgânica biodegradável, restando apenas a matéria orgânica de difícil biodegradação.

Lagoas Anaeróbias

Uma lagoa anaeróbia empregada no tratamento de águas residuárias é uma estrutura simples, na verdade um reservatório escavado no solo, com uma maior ou menor proteção dos taludes e do fundo, dependendo do tipo de terreno onde se esteja implantado. Quando as águas residuárias são lançadas na lagoa se realiza na mesma, de forma espontânea, um processo com o nome de autodepuração, ou estabilização natural, com a ocorrência de fenômenos do tipo físico, químico, bioquímico e biológico. Devido à elevada carga orgânica afluyente, não sobrevive o oxigênio dissolvido nestas lagoas. Os sólidos sedimentam no fundo da lagoa, aonde são digeridos anaerobiamente e as águas residuárias efluentes, clarificadas, são lançadas geralmente em uma lagoa facultativa para a complementação do seu tratamento (AISSE, 2000).

Um arranjo muito utilizado no tratamento de lixiviados é o denominado sistema australiano, que conjuga lagoa anaeróbia e lagoa facultativa em série (LEMOS, 2015). No entanto os critérios de dimensionamento são geralmente os utilizados para tratamento de esgotos sanitários. A Tabela 1 apresenta valores citados na Literatura técnica.

Tabela 1. Lagoas Anaeróbias tratando esgotos sanitários: Cargas Volumétricas, Eficiência de remoção de DBO e Tempo de detenção

Temperatura (°C)	Carga Volumétrica (g DBO/m ³ . dia)	Eficiência de Remoção de DBO ₅ (%)	Tempo de Detenção (dias)	
			final	inicial
< 10	100	40	> 4	< 6
11 - 19	200	50	> 4	< 6
> 20	300	60	> 3	< 5

OBS: Aisse (2000) citando Mara *et al.* e ABNT (Projeto Norma)

Decaimento de Matéria Orgânica em Lagoas Anaeróbias

Para o dimensionamento de lagoas anaeróbias, tratando esgotos sanitários, podem ser utilizadas recomendações de Mara e colaboradores, que sugerem Cargas Orgânicas Volumétricas de 100 a 300 g DBO.m⁻³.dia⁻¹, indicando ainda eficiências da ordem de 40 a 60 %, em função da temperatura do líquido (ver Tabela 1). Também são disponibilizadas na literatura técnica Correlações de Carga (kg.ha⁻¹.dia⁻¹), como as indicadas por Kaway e colaboradores, especialmente para a região de São Paulo e Paraná (AISSE, 2000).

Quando se utiliza um modelo em equilíbrio contínuo, baseado na cinética de primeira ordem, a equação que auxilia na estimativa da qualidade do efluente, ou na determinação do tempo de detenção, supondo um reator operando como batelada, ou seja, não ocorrendo vazão de entrada ou vazão de saída do volume de controle, é aquela apresentada na Equação 1 (AISSE, 2000):

$$Se = Sa.e^{-k.td} \quad \text{Equação 1}$$

Em que:

K: constante de remoção de primeira ordem (dia⁻¹);

td: tempo de detenção (dia);

Sa: concentração da DBO₅ afluyente (mg.L⁻¹);

Se: concentração da DBO₅ efluente (mg.L⁻¹).

O valor de K geralmente é referido na literatura técnica à temperatura de 20° C, sendo o ajuste realizado por meio da Equação 2:

$$K_T = K_{20} \cdot \theta^{(T-20)} \text{Equação 2}$$

Em que:

K_T : coeficiente de remoção da DBO_5 em uma temperatura do líquido qualquer (dia^{-1});

K_{20} : coeficiente de remoção da DBO_5 na temperatura do líquido de 20°C (dia^{-1});

θ : coeficiente de temperatura, cujo valor usualmente utilizado é 1,024 (VON SPERLING, 2014);

T : temperatura do líquido ($^\circ \text{C}$).

Os valores de decaimento da matéria orgânica K (dia^{-1}), utilizando-se o parâmetro DBO, obtidos na literatura são 0,30 - 0,40 para esgotos brutos em lagoas facultativas primárias (VON SPERLING, 2014). A Lagoa facultativa primária é utilizada em outros arranjos de tratamento em substituição a Lagoa anaeróbia.

Lagoas Anaeróbias tratando lixiviados

Apesar dos sistemas de lagoas ser largamente utilizado no tratamento de lixiviado no Brasil, estudos realizados relatam, no entanto, as dificuldades que esse sistema apresenta na remoção dos compostos refratários, causadores de elevada demanda química de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e na remoção de amônia (MARTINS et al., 2010). Na Tabela 2 são apresentados valores de dimensionamento e avaliação do desempenho de Lagoas Anaeróbias tratando lixiviado e esgotos domésticos combinados com lixiviado.

Tabela 2. Valores utilizados no dimensionamento e avaliação do desempenho de Lagoas Anaeróbias

Dimensão (m^3)	Substrato	DQOaflu (mg/L)	DQOeflu (mg/L)	E _{DQO} (%)	td (dias)	Autor
1	Lixiviado	2502	1955	22	13	Silva (2007)
5	Lixiviado	3188	2529	21	25	Fernandes et al. (2013)
3989	Lixiviado	2800	1400	50	131-214	Lemos (2015)
13700	Lixiviado	1360	897	34	64	Maia et al. (2015)
1148	Esgoto/Lixiviado	650	500	23	220	Leite et al. (2016)

OBJETIVO

Neste contexto, o presente trabalho teve por objetivo avaliar o comportamento do decaimento da matéria orgânica do lixiviado, proveniente de aterro sanitário, em uma lagoa anaeróbia piloto, visando rever os critérios de projeto utilizados.

MATERIAIS E MÉTODOS

O lixiviado foi transportado de Aterro localizado na Região Metropolitana de Curitiba, por meio de um caminhão tipo “limpa fossa”, e armazenado em um tanque de 7.500 L, devidamente coberto. O objetivo do armazenamento foi disponibilizar o lixiviado para um estudo de co-disposição em reator anaeróbio tipo UASB, conduzido em escala piloto e realizado em uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), onde esgoto bruto era mais facilmente obtido e não necessitava armazenamento.

O conteúdo do tanque foi monitorado regularmente e funcionou como uma lagoa anaeróbia, sendo desta maneira possível avaliar-se o decaimento da matéria orgânica, avaliada como DBO e DQO, ao longo do tempo. Para a caracterização do lixiviado foram utilizados os seguintes parâmetros físico-químicos: DQO, DBO, pH, nitrogênio amoniacal (N-NH_3) e cloretos (APHA, 2005). A interferência dos cloretos na determinação da DQO foi evitada adicionando mercurio ao catalizador de prata (Peixoto et al., 2018).

Na Tabela 3 são apresentados o número de bateladas previsto no experimento e as análises utilizada no cálculo de decaimento da matéria orgânica.

Tabela 3. Avaliação da Lagoa Anaeróbia experimental: bateladas realizadas, parâmetros avaliados e sua frequência.

Batelada: Início da Avaliação	Parâmetros Avaliados	Frequência de monitoramento
Jan/17	DBO e DQO (mg/L); T (°C);	Quinzenalmente
Jul/17		
Set/17		
Jan/18		

A partir dos resultados obtidos nas análises físico-químicas, utilizou-se as Equações 1 e 2 para determinação da constante de remoção de primeira ordem (K) e proceder uma análise crítica dos valores utilizados em projeto, incluindo eficiência e tempo de detenção. A Temperatura utilizada nos cálculos foi a temperatura do ar (média diária) obtida na própria ETE próximo ao aparato experimental.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Caracterização do Lixiviado de Aterro Sanitário

Na Tabela 4 são apresentados os valores médios dos parâmetros da caracterização do lixiviado no dia da coleta, em cada batelada.

Tabela 4. Caracterização do Lixiviado de Aterro Sanitário

Parâmetros	Jan/2017	Jul/2017	Set/2017	Jan/2018
DBO (mg/L)	1.400	1.400	1.300	7.500
DQO (mg/L)	3.892	3.078	4.829	9.569
DBO/DQO	0,36	0,45	0,27	0,78
pH	8,10	8,10	8,20	8,00
Nitrogênio amoniacal (mg/L)	2.670	3.584	4.480	3.017
Cloretos (mg/L)	3.890	1.890	3.300	2.060

O lixiviado apresentou valores de DBO de cerca de 1400 mg/L, com exceção da quarta batelada de maior valor. A relação DBO/DQO é um importante indicador que caracteriza o grau de biodegradabilidade do lixiviado. De modo geral, relações superiores a 0,3 indicam elevada potencialidade da utilização de tratamentos biológicos. Já relações inferiores a 0,1 sugerem o emprego de processos físico-químicos de tratamento (VON SPERLING, 2014). Tratando-se dos lixiviados em questão a relação DBO/DQO apresentou um valor próximo de 0,3 e/ou acima, demonstrando a possível utilização de processos biológicos para seu tratamento.

Deve ser destacado que em janeiro de 2018 o lixiviado apresentou valores de DBO e DQO muito acima dos valores obtidos nas coletas anteriores. Este fato pode resultar em valores diferenciados do coeficiente de remoção a seguir calculado.

Entretanto, os dados de caracterização também apresentaram elevadas concentrações de amônia no lixiviado, isto é, de 2.670 a 4.480 mg/L. Valores superiores a 1.500 mg.L⁻¹ são, de acordo com McCarty (1964) e Chernicharo (2016) tóxicos aos processos anaeróbios de tratamento. As elevadas concentrações de cloreto no lixiviado em estudo exigem certo grau de atenção. Os cloretos são advindos da dissolução de sais e geralmente não constituem em um problema de toxicidade para os microrganismos responsáveis pela degradação biológica, pois segundo Chernicharo (2016), a toxicidade por sais está associada ao cátion, e não ao ânion do sal.

Decaimento de Matéria Orgânica em Lagoa Anaeróbia

Nas Tabelas 5 a 8 são apresentados os valores do decaimento da matéria orgânica observada nas coletas de Jan/2017, Jun/2017, Set/2017 e Jan/2018.

Os resultados indicam que os valores de K encontrados para as quatro coletas de lixiviado foram inferiores aos citados para esgotos brutos, tipicamente domésticos, conforme citado na literatura. Nos experimentos com lixiviado obteve-se a amplitude de 0,008 a 0,017 e 0,031 na quarta batelada, utilizando-se o parâmetro DBO. A

amplitude do coeficiente de remoção da DQO foi 0,006 a 0,016, inferior ao K obtido para o parâmetro DBO. Associa-se este fenômeno ao fato de que os lixiviados possuem uma alta concentração de matéria orgânica, com uma parcela orgânica refratária, reduzindo desta forma a velocidade de degradação da fração biodegradável. Os elevados valores do Nitrogênio amoniacal podem ter também interferido nesta degradação.

Tabela 5– Decaimento da matéria orgânica (DQO e DBO) para a coleta de Jan/2017

Período (dias)	DQO inicial (mg.L ⁻¹)	DQO final (mg.L ⁻¹)	Eficiência (%)	K _T (dia ⁻¹)	K ₂₀ (dia ⁻¹)
0 - 30	4.213	3.880	7,9	0,0027	0,0025
30 - 60	3.880	3.343	13,8	0,0050	0,0045
60 - 90	3.343	2.950	11,8	0,0042	0,0038
90 - 120	2.950	2.584	12,4	0,0044	0,0042
120 - 150	2.584	1.272	50,8	0,0236	0,0232
0 - 150	4.213	1.272	69,8	0,0080	0,0074
Período (dias)	DBO inicial (mg.L ⁻¹)	DBO final (mg.L ⁻¹)	Eficiência (%)	K _T (dia ⁻¹)	K ₂₀ (dia ⁻¹)
0 - 30	1.400	1267	9,5	0,0033	0,0030
30 - 60	1.267	1033	18,4	0,0068	0,0062
60 - 90	1.033	750	27,4	0,0107	0,0097
90 - 120	750	333	55,6	0,0270	0,0258
120 - 150	333	217	35,0	0,0144	0,0141
0 - 150	1.400	217	84,5	0,0124	0,0116

OBS: Temperatura média no período de 20,8 a 24,6 °C.

Tabela 6– Decaimento da matéria orgânica (DQO e DBO) para a coleta de Jul/2017

Período (dias)	DQO inicial (mg.L ⁻¹)	DQO final (mg.L ⁻¹)	Eficiência (%)	K _T (dia ⁻¹)	K ₂₀ (dia ⁻¹)
0 - 30	3.078	2.836	7,9	0,0027	0,0028
30 - 60	2.836	1.957	31,0	0,0124	0,0128
60 - 90	1.957	1.465	25,1	0,0096	0,0098
0 - 90	3.078	1.465	52,4	0,0082	0,0085
Período (dias)	DBO inicial (mg.L ⁻¹)	DBO final (mg.L ⁻¹)	Eficiência (%)	K _T (dia ⁻¹)	K ₂₀ (dia ⁻¹)
0 - 30	1.400	600	57,1	0,0282	0,0291
30 - 60	600	333	44,4	0,0196	0,0203
60 - 90	333	317	5,0	0,0017	0,0017
0 - 90	1.400	317	77,4	0,0165	0,0170

OBS: Temperatura média no período de 18,5 a 19,3 °C.

Tabela 7 – Decaimento da matéria orgânica (DQO e DBO) para a coleta de Set/2017

Período (dias)	DQO inicial (mg.L ⁻¹)	DQO final (mg.L ⁻¹)	Eficiência (%)	K _T (dia ⁻¹)	K ₂₀ (dia ⁻¹)
0 - 30	4.829	4.427	8,3	0,0029	0,0028
30 - 60	4.427	4.284	3,2	0,0011	0,0011
60 - 90	4.284	4.190	2,2	0,0007	0,0007
90 - 120	4.190	2.164	48,4	0,0220	0,0203
0 - 120	4.829	2.164	55,2	0,0067	0,0063
Período (dias)	DBO inicial (mg.L ⁻¹)	DBO final (mg.L ⁻¹)	Eficiência (%)	K _T (dia ⁻¹)	K ₂₀ (dia ⁻¹)
0 - 30	1.300	1.050	19,2	0,0071	0,0069
30 - 60	1.050	1.017	3,2	0,0011	0,0010
60 - 90	1.017	967	4,9	0,0017	0,0015
90 - 120	967	500	48,3	0,0220	0,0202
0 - 120	1.300	500	61,5	0,0080	0,0075

OBS: Temperatura média no período de 21,1 a 23,6 °C.

Tabela 8 – Decaimento da matéria orgânica (DQO e DBO) para a coleta de Jan/2018

Período (dias)	DQO inicial (mg.L ⁻¹)	DQO final (mg.L ⁻¹)	Eficiência (%)	K _T (dia ⁻¹)	K ₂₀ (dia ⁻¹)
0 - 30	7.500	2.833	62,2	0,0118	0,0109
30 - 60	2.833	1.100	61,2	0,0104	0,0093
60 - 90	1.100	367	66,7	0,0308	0,0288
0 - 90	7.500	367	95,1	0,0177	0,0162
Período (dias)	DBO inicial (mg.L ⁻¹)	DBO final (mg.L ⁻¹)	Eficiência (%)	K _T (dia ⁻¹)	K ₂₀ (dia ⁻¹)
0 - 30	7.500	2.833	62,2	0,0324	0,0300
30 - 60	2.833	1.100	61,2	0,0315	0,0283
60 - 90	1.100	367	66,7	0,0366	0,0343
0 - 90	7.500	367	95,1	0,0335	0,0308

OBS: Temperatura média no período de 24,5 a 25,8 °C.

Na Figura 1 estão apresentados os gráficos de decaimento da matéria orgânica em termo de DQO e DBO e as curvas de tendência bem como o a fórmula do modelo cinético de acordo com o descrito na Equação 1.

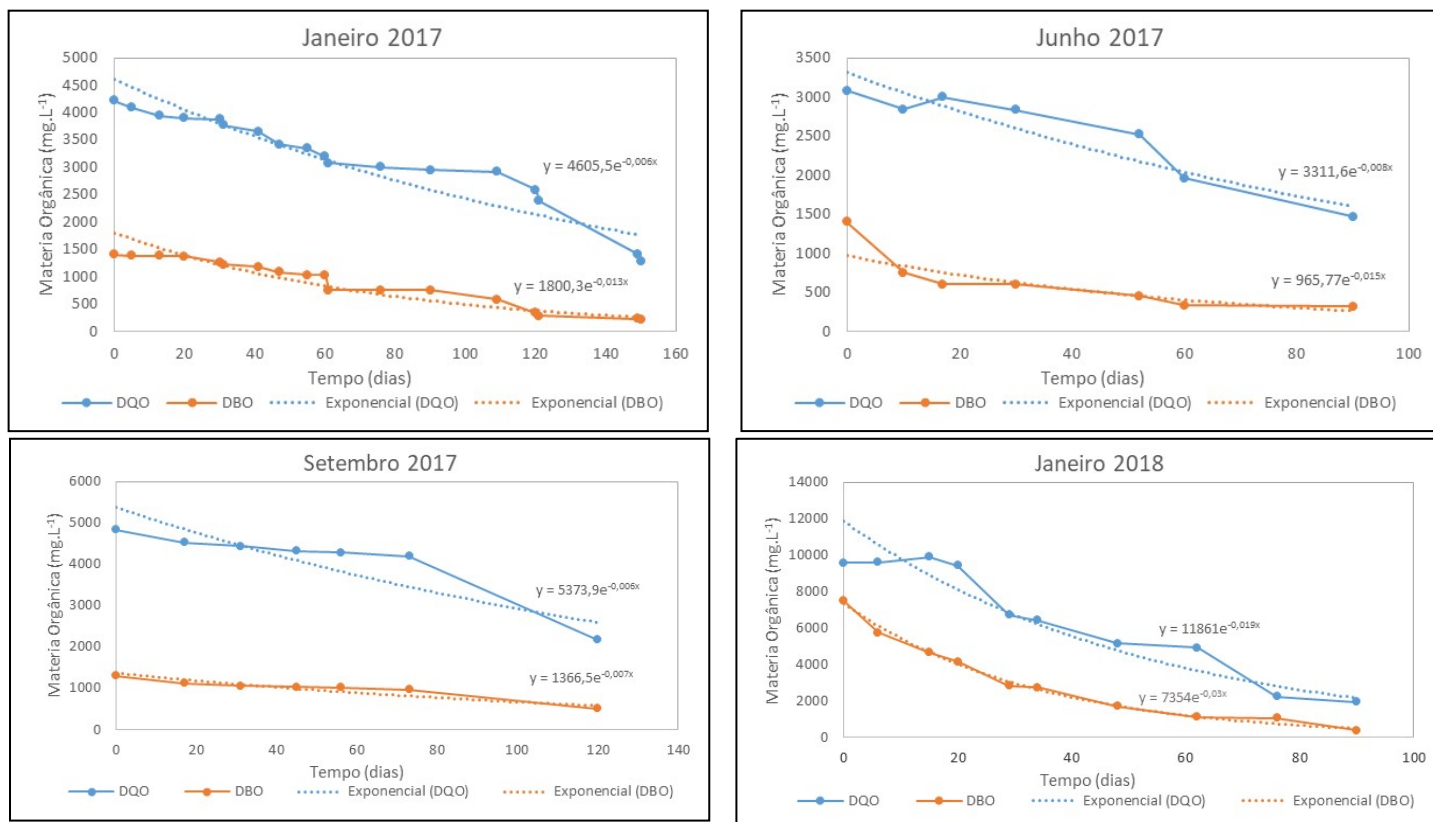


Figura 1. Gráficos de decaimento da matéria orgânica no lixiviado com as curvas de tendência e a fórmula do modelo cinético.

Análise dos critérios de dimensionamento.

A análise dos critérios de dimensionamento de Lagoas Anaeróbias, para lixiviados de aterro sanitário, apoiou-se na observação do tempo de detenção (td) nos experimentos para se obter uma Eficiência de 50% na remoção da DBO. Para as quatro bateladas o tempo apresentou uma grande amplitude, de 30 a 120 dias, este valor para a DBO. Para a DQO o td evoluiu de 90 a 120 dias, com exceção da batelada 4 que se mostrou atípica (menor tempo). Autores como Lemos (2015), citado na Tabela 2, obteve eficiência de remoção de DQO próximo a 50%, com td acima de 100 dias, convergente aos valores obtidos.

Cumprir citar que os valores de desempenho obtidos em escala plena são geralmente inferiores aos obtidos em escala de bancada (batelada), atribuído relativos aos aspectos construtivos, como: número de pontos de entrada e saída, relação comprimento e largura, estratificação térmica, entre outros. O regime hidráulico que se aproxima de uma Lagoa (em escala plena) geralmente é fluxo tipo pistão e, de acordo com Von Sperling (2011), este tipo de regime hidráulico deveria promover maiores taxas de remoção no início do curso, pois a concentração de poluentes é maior que no final. Contudo, na prática, a condição ideal de fluxo em pistão em lagoas não é atingida, pois é impossível se evitar um grau significativo de mistura decorrente dos fatores naturais (ação dos ventos, estratificação térmica) ou mistura provocada pela subida de bolhas de biogás formadas no lodo no fundo das lagoas (Cavalcanti *et al.* 2000). Yáñez (1993) apresenta como uma pequena restrição ao modelo do fluxo em pistão o fato desse assumir que tanto a biomassa quanto o líquido se comportam sob o mesmo modelo, o que, segundo ele, é verdade para o líquido, mas não para a biomassa, que se sedimenta normalmente, no início do reator.

CONCLUSÕES

O lixiviado apresentou valores de DBO de cerca de 1400 mg/L com exceção da quarta batelada de maior valor. A relação DBO/DQO apresentou um valor próximo de 0,3 e/ou acima, demonstrando a possível utilização de processos biológicos para seu tratamento. Os dados de caracterização também apresentaram elevadas concentrações de amônia no lixiviado, isto é, de 2.670 a 4.480 mg/L.

Os valores do coeficiente de remoção (K) encontrados para as quatro coletas de lixiviado foram inferiores aos citados para esgotos brutos, tipicamente domésticos. Nos experimentos com lixiviado obteve-se a amplitude de 0,008 a 0,017 e 0,031 na quarta batelada, utilizando-se o parâmetro DBO. A amplitude do coeficiente de remoção da DQO foi 0,006 a 0,016, inferior ao K obtido para o parâmetro DBO.

A análise dos critérios de dimensionamento de Lagoas Anaeróbias, para lixiviados de aterro sanitário, apoiou-se na observação do tempo de detenção (td) nos experimentos para se obter uma Eficiência de 50% na remoção da DBO. Para as quatro bateladas o tempo apresentou uma grande amplitude, de 30 a 120 dias. Para a DQO, o td evoluiu de 90 a 120 dias, com exceção da batelada 4 que se mostrou atípica (menor tempo). Autores como Lemos (2015), obteve eficiência de remoção de DQO próximo a 50%, com td acima de 100 dias, convergente aos valores obtidos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR) e a Fundação Araucária (FA) pelo aporte financeiro realizado nas pesquisas, desenvolvidas por meio do Programa Paranaense de Pesquisa em Saneamento (PPPSA). Agradeço pelo acesso e facilidades na coleta do lixiviado e à CAPES pela concessão das bolsas de mestrado e doutorado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AHMED, F.N; LAN, C. Q. Treatment of Landfill Leachate Using Membrane biorreactors: A **Review. Desalination**, v. 287, p.41-54, 2012.
2. AISSE, M. M. Lagoas de Estabilização. **In: Sistemas Econômicos de Tratamento de Esgotos**. ABES, Rio de Janeiro, 2000.
3. APHA, AWWA, WPCF. **Standard Methods for Examination of Water and Wastewater**. New York: 21th Ed. 2005.
4. CAVALCANTI, P.F.F., VAN HAANDEL, A.C.; LETTINGA, G. Polishing ponds for post treatment of digested sewage – part 1: flow-through ponds. **In: Oficina e Seminário Latino-Americano de digestão anaeróbia**, 6, 2000, Recife-Pe. p.352-358, 2000.
5. CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores anaeróbios**. 2ª ed., Belo Horizonte: Editora UFMG, 2016.
6. FERNANDES, H.; VIANCELLI A.; MARTINS C.; ANTONIO R. V.; COSTA, R. H. R. Microbial and chemical profile of a ponds system for the treatment of landfill leachate, **Waste Management**, n. 10, v. 33, p.2123-2128, 2013.
7. LANGE, L.C.; AMARAL, M. C. S. Geração e características do lixiviado. **In: GOMES, L.P. (coord.) Resíduos sólidos: Estudo da caracterização e tratabilidade de lixiviados de aterros sanitários para as condições brasileiras**. Rio de Janeiro: ABES, v. 1, p. 26-59. 2009.
8. LEITE, V. D.; OLIVEIRA, A. G.; CAMPOS, A. R. C.; SOUSA, J. T. ; LOPES, W. S. ; OLIVEIRA, E. G. . Tratamento Conjugado de Lixiviado de Aterro Sanitário e Esgoto Doméstico em Lagoas de Estabilização. **Revista DAE**, 65(207), p. 77-93, 2017.
9. LEMOS, T. S. Tratamento de **Lixiviado de Aterro Sanitário em Lagoas de Estabilização: Estudo de Caso do Aterro de Cianorte-PR**. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Londrina, 2015.
10. MAIA, I. S., RESTREPO, J. J. B., DE CASTILHOS JUNIOR, A. B., FRANCO, D. Avaliação do tratamento biológico de lixiviado de aterro sanitário em escala real na Região Sul do Brasil. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v. 20, n. 4, p. 665-675, 2015.
11. MARTINS, C. L.; FERNANDES, H.; COSTA, R. H. R. Landfill leachate treatment as measured by nitrogen transformations in stabilization ponds. **Bioresource technology**, v. 147, p. 562-568, 2013.
12. MCCARTY, P. L. Anaerobic waste treatment fundamentals. **Public works**, v. 95, n. 9, p. 107-112, 1964.

13. PEIXOTO, A. C.; SALAZAR, R. S.; BARBOZA, J. S.; IZÁRIO FILHO, H. J. Characterization of controlled landfill leachate from the city of Guaratinguetá-SP, Brazil. **Revista Ambiente&Água**, n. 2, v. 13, 2018.
14. SILVA, J. D. **Tratamento de lixiviados de aterro sanitário por lagoas de Estabilização em série – estudo em escala piloto**. 218 f. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina, 2007.
15. SOUTO, G. B.; POVINELLI, J. Características de lixiviados de aterros sanitários no Brasil. **In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, 24, 2007, Belo Horizonte, Minas Gerais, 2007.
16. VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4ª ed., Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014.
17. VON SPERLING, M. **Lagoas de estabilização**. 2ª ed., Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014.
18. YÁÑEZ, F. **Manual de Metodos Experimentales - Evaluacion de Lagunas de estabilizacion**. Ed. CEPIS, Lima, Peru, 379p., 1993.