

II-353 - TRATAMENTO CONJUGADO DE ESGOTO DOMÉSTICO E LIXIVIADO DE ATERRO SANITÁRIO EM REATORES ANAERÓBIOS DE MANTA DE LODO

Priscila Liane Biesdorf Borth⁽¹⁾

Engenheira Ambiental pela Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO). Mestra em Engenharia de Edificações e Saneamento pela Universidade Estadual de Londrina (UEL). Doutoranda em Engenharia Civil na UEL.

Renan Borelli Galvão

Engenheiro Civil pela Universidade Estadual de Londrina (UEL). Mestre em Engenharia de Edificações e Saneamento pela UEL. Doutorando em Engenharia Civil na UEL.

Luana Pereira Sampaio

Graduanda em Engenharia Civil pela Universidade Estadual de Londrina (UEL).

Arthur Ribeiro Torrecilhas

Engenheiro Civil pela Faculdade Pitágoras. Mestrando em Engenharia de Edificações e Saneamento pela Universidade Estadual de Londrina (UEL).

Fernando Fernandes

Engenheiro Civil pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Mestre e doutor em engenharia civil pelo Institut National Polytechnique de Toulouse (INPT).

Endereço⁽¹⁾: Rodovia Celso Garcia Cid PR 445, Km 380, s/n - Campus Universitário - Londrina - PR - CEP: 86057-970 - Brasil - Tel: (43) 99614-7878 - e-mail: pri_biesdorf@hotmail.com

RESUMO

O tratamento conjugado de esgoto sanitário e lixiviado de aterro sanitário, em reatores anaeróbios de manta de lodo, tem sido estudado devido ao grande uso destes reatores em estações de tratamento de esgoto, e também devido à complexidade geralmente encontrada para o tratamento de lixiviado. Contudo, ainda há algumas incertezas em relação aos efeitos causados pela adição do lixiviado no tratamento do esgoto, como a possível redução da eficiência do tratamento devido a efeitos tóxicos do lixiviado aos processos biológicos e pela presença de matéria orgânica recalcitrante. Neste contexto, o objetivo principal deste trabalho é avaliar os impactos da adição de lixiviado no tratamento de esgoto, em reatores anaeróbios de manta de lodo tipo UASB em escala piloto. Para isto, foram construídos 4 reatores com volume de 14,14 L, que foram operados com TDH de 8 horas em temperatura ambiente controlada de $25 \pm 2^\circ\text{C}$. Optou-se por utilizar o esgoto sintético em substituição ao esgoto natural e foram adicionadas porcentagens volumétricas de lixiviado de 0; 1,0; 2,5; 5,0; 7,5 e 10% em relação ao volume de esgoto. O lixiviado de estudo apresentou-se estabilizado biologicamente e com baixa concentração de nitrogênio amoniacal (148 mg L^{-1}). Os resultados de tratamento conjugado em reatores UASB em escala piloto demonstraram que houve diminuição da eficiência devido à adição do lixiviado, contudo este não interferiu de forma significativa no tratamento do esgoto. Foram obtidas porcentagens de remoção dentro da faixa esperada para reatores UASB para todas as águas de estudo. Para a porcentagem volumétrica com 10% de lixiviado, obteve-se remoção média de DQO de 69,3%, enquanto que para o tratamento apenas com esgoto, a eficiência de remoção de DQO foi de 82,4%.

PALAVRAS-CHAVE: Reator UASB, esgoto sanitário, esgoto sintético, tratamento anaeróbio.

INTRODUÇÃO

O aterro sanitário é uma forma de disposição de resíduos sólidos muito utilizada, principalmente devido ao seu baixo custo e simplicidade operacional. Um dos produtos gerados na disposição de resíduos em aterros é o lixiviado, formado pela infiltração da água da chuva e pelos produtos da biodegradação dos resíduos. O lixiviado possui alto poder poluidor, pois apresenta elevada concentração de compostos orgânicos e inorgânicos, além de alto teor de nitrogênio amoniacal (RENOU et al., 2008).

O tratamento do lixiviado para lançamento em níveis aceitáveis em corpos d'água, exige uma sequência de processos e isto implica em custos elevados e complexidade na operação do sistema. Por isso, uma alternativa

que vem sendo estudada é o tratamento conjugado com o esgoto sanitário. Esta proposta consiste em transportar o lixiviado até a ETE - Estação de Tratamento de Esgoto e adicionar uma pequena proporção no esgoto bruto.

Os reatores de manta de lodo são muito utilizados para o tratamento de esgoto, pois apresentam diversas vantagens em relação aos processos aeróbios convencionais, principalmente quando utilizados em locais de clima quente. Entre as vantagens pode-se citar que são sistemas compactos, com baixa demanda de área, baixo custo de implantação e de operação, baixa produção de lodo, baixo consumo de energia e satisfatória remoção de DBO/DQO (65-75%). Entre as desvantagens desse sistema, há a possibilidade de maus odores, baixa capacidade em tolerar cargas tóxicas e necessidade de pós-tratamento (CHERNICHARO, 1997).

Ainda há dúvidas em relação aos efeitos causados pela adição de lixiviado no tratamento de esgoto, como a possível redução da eficiência do tratamento devido aos efeitos tóxicos do lixiviado aos processos biológicos, baixa estabilização da biomassa, acúmulo de metais no lodo, presença de compostos recalcitrantes, entre outros (ALBUQUERQUE, 2012). Nesse contexto, o objetivo principal deste trabalho é avaliar os impactos, em relação à remoção de matéria orgânica, da adição de lixiviado de aterro sanitário no tratamento de esgoto, em reatores anaeróbios de manta de lodo tipo UASB em escala piloto.

METODOLOGIA

ÁGUAS RESIDUÁRIAS DE ESTUDO

O lixiviado de estudo foi coletado em uma lagoa de armazenamento no aterro sanitário do Centro de Tratamento de Resíduos – CTR na cidade de Londrina-PR. O aterro sanitário está sendo operado desde o ano de 2010 e o lixiviado apresentou-se estabilizado biologicamente.

O esgoto sintético utilizado nesta pesquisa, em substituição ao esgoto natural, foi produzido diariamente a partir da formulação proposta por Torres (1992) para uma DQO de 500 mg L⁻¹.

O lodo de inóculo para os reatores foi coletado no sistema de descarga de um Reator Anaeróbio de Leito Fluidizado – RALF, da Estação de Tratamento de Esgoto – ETE Norte da Sanepar, localizada na cidade de Londrina - PR.

Os experimentos em reatores UASB em escala piloto foram realizados com misturas preparadas diariamente de esgoto sintético e lixiviado bruto em diferentes porcentagens volumétricas (1,0; 2,5; 5,0; 7,5 e 10,0%), conforme a seguinte denominação:

- Água residuária de estudo controle contendo apenas esgoto sintético – AEs;
- Água residuária de estudo contendo 1,0% (v:v) de lixiviado bruto em esgoto sintético – AE1%;
- Água residuária de estudo contendo 2,5% (v:v) de lixiviado bruto em esgoto sintético – AE2,5%;
- Água residuária de estudo contendo 5,0% (v:v) de lixiviado bruto em esgoto sintético – AE5%;
- Água residuária de estudo contendo 7,5% (v:v) de lixiviado bruto em esgoto sintético – AE7,5%;
- Água residuária de estudo contendo 10,0% (v:v) de lixiviado bruto em esgoto sintético – AE10%.

CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS

Foram construídos 4 reatores tipo UASB em tubos de PVC de 100 mm de diâmetro e altura útil de 1,80 m, proporcionando um volume útil de 14,14 L. O Tempo de Detenção Hidráulica - TDH empregado na operação dos reatores foi de 8 horas. Cada reator era composto por dispositivos intermediários para coleta de amostras e lodo, separador de gases interno de material plástico e uma saída para coleta do efluente tratado. Cada reator possuía também uma placa perfurada na sua parte inferior, para distribuição homogênea do efluente na sua entrada. O sistema experimental foi instalado em uma sala climatizada, com temperatura ambiente controlada de 25 ±2°C. Os procedimentos para a partida dos reatores anaeróbios foram realizados segundo as recomendações de Chernicharo (1997).

Os reatores anaeróbios foram operados pelo período de 147 dias, sendo que nos primeiros 44 dias foram

abastecidos apenas com esgoto sintético para estabilização do sistema. Após este período, cada reator foi operado com uma porcentagem volumétrica de lixiviado diferente (0; 1,0; 2,5 e 5,0%) por 70 dias. Posteriormente, manteve-se a porcentagem de 5% e foram aumentadas de forma gradual as demais porcentagens de lixiviado, atingindo as proporções de 7,5% e 10%, as quais foram monitoradas por um período adicional de 33 dias. Os parâmetros analisados durante o monitoramento dos reatores foram pH, alcalinidade, ácidos graxos voláteis - AGV e Demanda Química de Oxigênio - DQO com frequência entre 1 e 2 vezes por semana.

Na Figura 1 é apresentado um esquema do sistema experimental empregado neste trabalho.

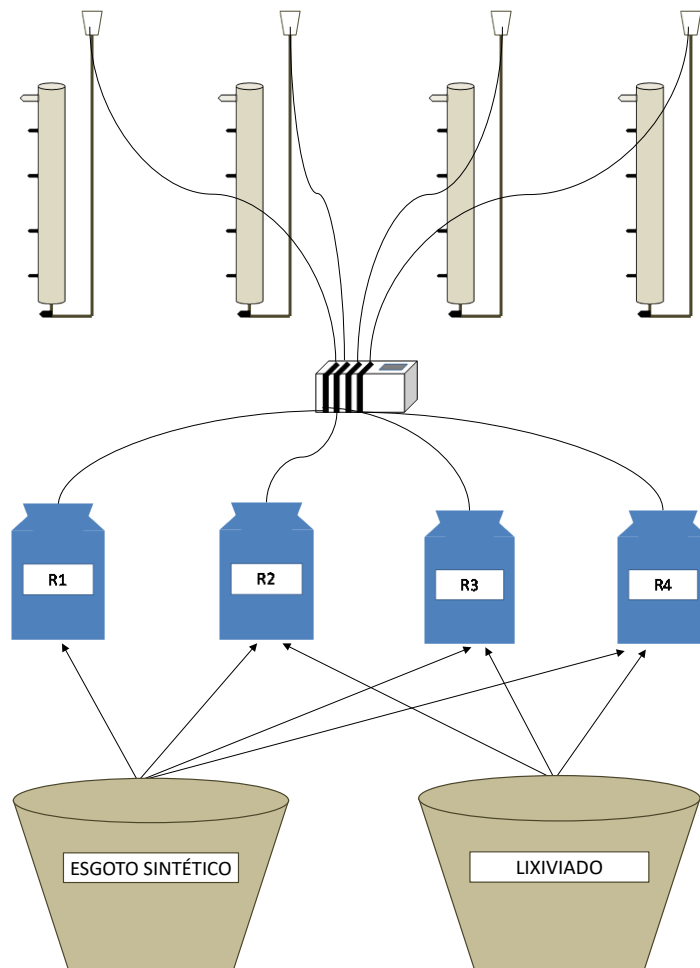


Figura 1: Esquema do sistema experimental utilizado

A caracterização das Águas residuárias de Estudo – AE, antes e após o tratamento anaeróbio, foi realizada segundo as recomendações de APHA (2012).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 são apresentadas as características do lixiviado utilizado neste estudo.

Tabela 1: Caracterização do lixiviado de estudo

PARÂMETRO	UNIDADE	VALOR MÉDIO
pH	-	8,64
ALCALINIDADE	mg CaCO ₃ L ⁻¹	2433
DQO	mg L ⁻¹	1199
DBO	mg L ⁻¹	68
COR APARENTE	uH	4231
COR VERDADEIRA	uH	3894
AGV	mg L ⁻¹	152
N-AMONICAL	mg N-NH ₄ L ⁻¹	148
NKT	mg N-NH ₄ L ⁻¹	239

A relação DBO/DQO pode ser utilizada para indicar a biodegradabilidade do lixiviado, e de acordo com Alvarez-Vazquez; Jefferson e Judd (2004), esta relação é encontrada geralmente entre 0,05 e 0,8 para lixiviado de aterro sanitário. Neste estudo, o lixiviado apresentou relação DBO/DQO de aproximadamente 0,06, o que indica baixa biodegradabilidade deste efluente.

Observa-se também que o teor de nitrogênio amoniacal presente neste lixiviado é considerado baixo, pois para lixiviados estabilizados espera-se valores elevados deste parâmetro. De acordo com Kurniawan, Lo e Chan (2006) e dados obtidos por Felici *et al.* (2013), Kawahigashi *et al.* (2014) e Maler *et al.* (2015) para lixiviados estabilizados geralmente são encontradas concentrações acima de 400 mg L⁻¹ de nitrogênio amoniacal.

PARÂMETROS DE MONITORAMENTO DOS REATORES UASB

Na Tabela 2 são apresentados os valores médios e o Desvio Padrão – DP, obtidos no monitoramento dos parâmetros pH, alcalinidade, AGV e DQO antes e após o tratamento em reatores UASB em escala piloto.

Tabela 2: Valor médio e DP dos parâmetros de monitoramento pH, alcalinidade, AGV e DQO

AE	pH ± DP	ALCALINIDADE (mg CaCO ₃ L ⁻¹) ± DP	AGV (mg L ⁻¹) ± DP	DQO (mg L ⁻¹) ± DP
AEs	6,74 ± 0,26	180 ± 12	58 ± 15	465 ± 69
AEs TRATADO	6,79 ± 0,20	282 ± 11	34 ± 9	82 ± 17
AE 1%	6,73 ± 0,23	205 ± 17	58 ± 12	472 ± 75
AE 1% TRATADO	6,86 ± 0,28	301 ± 8	36 ± 9	103 ± 17
AE 2,5%	6,80 ± 0,22	242 ± 24	63 ± 12	476 ± 88
AE 2,5% TRATADO	6,92 ± 0,31	337 ± 8	41 ± 14	107 ± 16
AE 5%	6,99 ± 0,26	295 ± 43	85 ± 20	501 ± 93
AE 5% TRATADO	7,00 ± 0,25	389 ± 11	46 ± 15	129 ± 13
AE 7,5%	7,31 ± 0,25	324 ± 19	99 ± 14	506 ± 37
AE 7,5% TRATADO	7,15 ± 0,29	433 ± 9	40 ± 10	147 ± 5
AE 10%	7,27 ± 0,27	390 ± 16	101 ± 13	526 ± 36
AE 10% TRATADO	7,25 ± 0,23	484 ± 13	40 ± 7	161 ± 4

De acordo com Chernicharo (1997), a faixa ideal de pH para que ocorra a estabilidade da formação de metano é de valores entre 6,6 e 7,4, contudo pode-se obter estabilidade em uma faixa mais ampla, entre 6,0 e 8,0. Valores fora desta faixa poderão inibir o processo da metanogênese no tratamento anaeróbico.

Com base nos resultados do monitoramento de pH apresentados na Tabela 2, observa-se que a adição do lixiviado ao esgoto nas porcentagens estudadas ocasionou um aumento gradativo de pH. Contudo, essa variação não foi elevada devido ao pH do lixiviado ser de 8,64 e a porcentagem volumétrica ser baixa, resultando em valor médio de 7,27 na água residuária com 10% de lixiviado (AEs 10%). Com isso, os valores de pH não extrapolaram a faixa mais ampla aceitável para o bom desempenho do tratamento anaeróbico.

A alcalinidade está relacionada à capacidade tampão, que pode ser descrita como a capacidade de uma solução em evitar alterações de pH. Nos processos anaeróbios, um dos principais fatores que interferem no pH e na alcalinidade são os AGV. A alcalinidade no efluente deve ser suficiente para neutralizar os ácidos formados no processo (CHERNICHARO, 2007). Neste trabalho, foi constatado um aumento da alcalinidade do efluente após o tratamento anaeróbio. O aumento de alcalinidade no reator anaeróbio pode ser consequência do processo de amonificação ou devido à remoção dos AGV, proporcionando a estabilidade do sistema e manutenção do pH (SILVA; LEITE, 2015).

A relação AGV/AT refere-se à capacidade da alcalinidade do efluente em neutralizar os ácidos formados no processo e evitar mudanças de pH, com valor máximo recomendado de 0,35 para esta relação (CHERNICHARO, 2007; SANTOS, 2009). Neste estudo, a relação máxima obtida foi de 0,12, para as AEs, AE1% e AE2,5%. Com o aumento da porcentagem de lixiviado, há diminuição na relação AGV/AT, devido ao incremento de alcalinidade do lixiviado à mistura e pequena variação do AGV no efluente tratado.

Na Figura 2 são apresentados os valores de DQO obtidos durante o monitoramento dos reatores UASB.

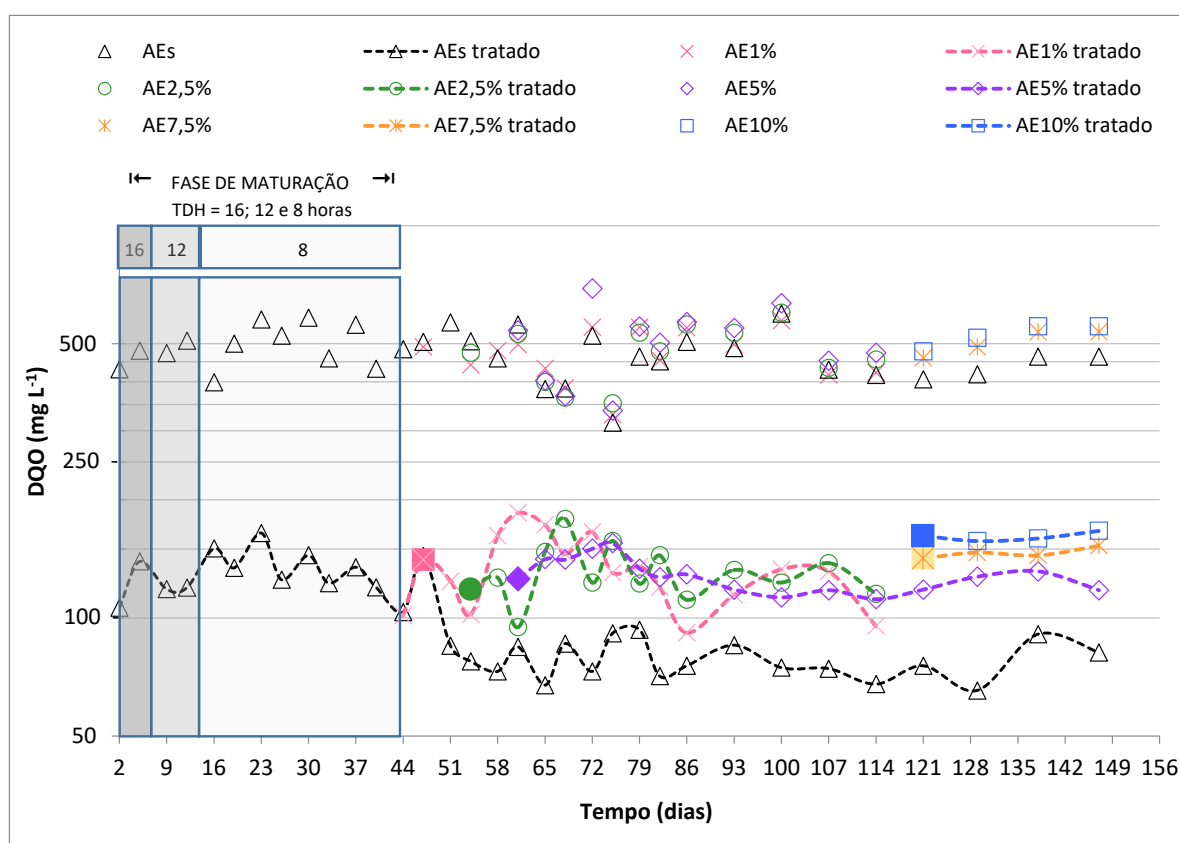


Figura 2: Monitoramento da DQO durante a operação dos reatores UASB.

Com os resultados apresentados na Figura 2, pode-se observar que houve um pequeno aumento da DQO com a adição de lixiviado no esgoto, tanto antes do tratamento como após o tratamento. Este fato foi ocasionado pelas características do próprio lixiviado, que apresentava DQO de 1199 mg L^{-1} e baixa biodegradabilidade. Verificou-se também uma diminuição da eficiência na remoção deste parâmetro (13%) em comparação com o tratamento controle.

Na Tabela 3 são apresentados os valores médios do incremento de DQO ocasionado pela adição do lixiviado, em comparação com os valores médios do tratamento controle realizado apenas com esgoto (AEs), para o afluente e efluente dos reatores, além da redução da eficiência em relação ao tratamento controle.

Tabela 3: Valores médios de incremento de DQO no afluente e efluente e redução da eficiência em relação ao tratamento controle

AE	INCREMENTO MÉDIO AFLUENTE (mg L⁻¹)	INCREMENTO MÉDIO EFLUENTE (mg L⁻¹)	REDUÇÃO DA EFICIÊNCIA (%)
AE 1%	6	21	4
AE 2,5%	11	25	5
AE 5%	36	47	8
AE 7,5%	40	65	11
AE 10%	61	79	13

Foram obtidas porcentagens de remoção médias de DQO de 82,4; 78,1; 77,5; 74,3; 71,0 e 69,3% para as AEs, AE1%, AE2,5%, AE5%, AE7,5% e AE10%, respectivamente. De acordo com a Tabela 3, em relação ao efluente tratado, percebe-se que os valores de incremento são maiores em comparação com o afluente, indicando perda de eficiência no tratamento. Este fato pode ser devido ao lixiviado possuir DQO recalcitrante que não é removida no tratamento biológico e também devido ao possível efeito tóxico de compostos presentes no lixiviado.

CONCLUSÕES

Neste estudo, não foram observados grandes impactos na eficiência do reator UASB com a adição do lixiviado no esgoto até a porcentagem volumétrica de 10%, devido às características peculiares deste lixiviado. No entanto, diferentes tipos de lixiviado poderão ocasionar maiores impactos no tratamento, devido principalmente à carga orgânica e nitrogênio amoniacal.

O tratamento conjugado apresentou eficiência dentro da faixa esperada para o tratamento de esgoto em reatores UASB, com remoção média de DQO de 69,3% para a porcentagem volumétrica de 10% de lixiviado, enquanto que para o tratamento controle (apenas com esgoto sintético) a eficiência de remoção média de DQO foi de 82,4%.

AGRADECIMENTOS

À SANEPAR e FUNDAÇÃO ARAUCÁRIA, pelo financiamento da pesquisa através do Programa Paranaense de Pesquisa em Saneamento Ambiental (Chamada 09/2014).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALBUQUERQUE, E. M. Avaliação do tratamento combinado de lixiviado de aterro sanitário e esgoto sanitário em sistemas de lodos ativados. Dissertação (Mestrado) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos. 2012. 280 p.
2. ALVAREZ-VAZQUEZ, H.; JEFFERSON, B.; JUDD, S. J. Membrane bioreactors vs conventional biological treatment of landfill leachate: A brief review. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*. 79: 1043-1049. 2004.
3. APHA, AWWA, WEF. (2012). *Standard Methods for the Examination of Water e Wastewater*. 22th ed. Washington. D.C: APHA. BRASIL.
4. CHERNICHARO, C. A. L. *Reatores anaeróbios - Princípios do tratamento biológico de águas residuárias*. 1. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, v. 5. 1997.
5. CHERNICHARO, C. A. L. *Anaerobic reactors*. In: *Biological Wastewater Treatment Series*. IWA publishing, London, 174 p, 2007.
6. FELICI, E. M.; KURODA, E. K.; YAMASHITA, F.; SILVA, S. M. C. P. Remoção de carga orgânica recalcitrante de lixiviado de resíduos sólidos urbanos pré-tratado biologicamente por coagulação química-floculação-sedimentação. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 18, p. 177-184, 2013.

7. KAWAHIGASHI, F.; MENDES, M. B. ; ASSUNÇÃO JÚNIOR, V. G. ; GOMES, V. H. ; FERNANDES, F. ; HIROOKA, E. ; KURODA, E. K. Pós-tratamento de lixiviado de aterro sanitário em carvão ativado. *Engenharia sanitária e ambiental*, v. 19, p. 178-185. 2014.
8. KURNIAWAN, T. A., LO, W. H., CHAN, G. Y. S. Physico-chemical treatments for removal of recalcitrant contaminants from landfill leachate. *Journal of hazardous materials*, v. B129, p. 80-100, 2006.
9. MALER, C. L.; SIMIONATO, L. R.; SANTOS, T. A.; FERNANDES, F. Sequência de tratamentos para lixiviado de aterro sanitário utilizando os processos físico-químico convencional e Fenton como pós-tratamento. *Revista DAE*, v. 63, p. 47-57, 2015.
10. RENO, S.; GIVAUDAN, J.G.; POULAIN, S.; DIRASSOUYAN, F.; MOULIN, P. Landfill leachate treatment: Review and opportunity. *Journal of Hazardous Materials*. V. 150 p. 468–493. 2008.
11. SANTOS, A. F. M. S., Tratamento anaeróbio de chorume em conjunto com esgoto sanitário. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2009.
12. SILVA, R. B.; LEITE, V. D. Tratamento conjugado de lixiviado de aterro sanitário e esgoto doméstico por processo anaeróbio seguido de aeróbio. *Revista DAE*, maio-agosto, 2015.
13. TORRES, P. Desempenho de um reator anaeróbio de manta de lodo (UASB) de bancada no tratamento de substrato sintético simulando esgoto sanitário sob diferentes condições de operação. Dissertação de mestrado. São Carlos, SP. 1992.