

III-220 - AVALIAÇÃO DO TRATAMENTO COMBINADO DE LIXIVIADO DE ATERRO SANITÁRIO E ESGOTO DOMÉSTICO EM SISTEMA DE LODOS ATIVADOS EM BATELADAS SEQUENCIAIS (SBR)

Edilinson Martins de Albuquerque⁽¹⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Amazonas (UFAM). Mestre em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), Universidade de São Paulo (USP).

Fernanda de Matos Ferraz

Bacharel em Química Ambiental pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP). Mestre e Doutoranda em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), Universidade de São Paulo (USP).

Rafaella Campos

Engenheira Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Mestranda em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), Universidade de São Paulo (USP).

Jurandyr Povinelli

Engenheiro Civil e Engenheiro Sanitarista pela Universidade de São Paulo (USP). Especialização em Engenharia Sanitária e mestrado em Saúde Pública pela USP. Doutor em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela EESC-USP. Livre-Docente e professor titular da EESC-USP.

Endereço⁽¹⁾: Av. Trabalhador São-carlense, 400 - Centro –São Carlos - SP- CEP: 13566-590 - Brasil - e-mail: edilinsonalbuquerque@yahoo.com.br

RESUMO

O lixiviado de aterro sanitário é uma água residuária com elevado potencial poluidor devido, principalmente, à sua elevada concentração de matéria orgânica, rica em substâncias húmicas e de matéria inorgânica, como cloretos e nitrogênio amoniacal. O presente trabalho teve como objetivo, em linhas gerais, avaliar três proporções de mistura de lixiviado e esgoto doméstico e suas influências sobre o processo aeróbio de lodos ativados em escala de bancada. Nesta pesquisa foram realizados ensaios de tratabilidade utilizando as proporções volumétricas de 0% (controle), 0,2%, 2% e 5% de lixiviado em relação ao esgoto em duas diferentes condições experimentais: lixiviado bruto (Experimento E1) e lixiviado pré-tratado por alcalinização e remoção de amônia em torre de *air stripping* (Experimento E2). Os resultados indicaram que a proporção de 5% de lixiviado comprometeu significativamente a eficiência do sistema aeróbio de tratamento. Foram obtidos os melhores resultados em termos de eficiência de remoção de matéria orgânica nos reatores alimentados com 0,2% de lixiviado, mantendo a eficiência de remoção de DQO, DBO e COD acima de 76, 95 e 66%, respectivamente. Na condição em que foi utilizado lixiviado pré-tratado, o sistema teve um bom desempenho até a proporção de 2%, alcançando eficiências de remoção de DQO, DBO e COD de 97, 82, 60%, respectivamente.

PALAVRAS-CHAVE: Tratamento consorciado, Resíduos sólidos, Lodos ativados, *Air stripping*, Microbiologia de lodos ativados.

1. INTRODUÇÃO

Embora já seja proibida a construção de aterros sanitários em alguns países desenvolvidos como Alemanha, Estados Unidos, Itália e Holanda, no Brasil ainda são considerados a melhor alternativa para disposição final dos resíduos sólidos, em decorrência da maior viabilidade técnica e econômica, e pela legislação vigente. Todavia, ainda que operados em conformidade com a NBR 8419/1992, há nos aterros sanitários a geração de gases de efeito estufa e lixiviado (Bidone e Povinelli, 2010).

O lixiviado é uma água residuária potencialmente poluidora, principalmente devido às elevadas concentrações de nitrogênio amoniacal, presença de matéria orgânica biodegradável e refratária. Caso não seja coletado, transportado e tratado adequadamente, pode causar impactos ambientais como a poluição dos recursos hídricos, além de problemas de saúde pública (Bocchiglieri, 2010).

O tratamento consorciado de lixiviado com esgoto doméstico tem sido empregado em diversos países como forma de se reduzir custos de implantação de unidades de tratamento nos aterros e custos operacionais por longo período de tempo. No Brasil, seu emprego está sendo cada vez mais difundido. Os aterros sanitários Bandeirantes, São João, Vila Albertina e Santo Amaro, em São Paulo (SP), da Extrema, em Porto Alegre (RS), Salvaterra, em Juiz de Fora (MG), CTR-BR040, em Belo Horizonte (MG) e o aterro do Morro do Céu, em Niterói (RJ), são exemplos brasileiros de experiências de tratamento combinado de lixiviado e esgoto doméstico (Facchin *et al.*, 2000; Paganini *et al.*, 2003; Ferreira *et al.*, 2005).

No entanto, ainda há muitas incertezas a respeito dos efeitos dos lixiviados sobre o tratamento de águas residuárias, tais como: a proporção da mistura lixiviado/esgoto doméstico; inibição dos processos biológicos devido ao acúmulo de metais e toxicidade causada pela elevada concentração de amônia (Uncommercial *et al.*, 2008. Ferreira *et al.*, 2009).

Estudos prévios com tratamento biológico convencional em sistema de lodos ativados indicaram que sua eficiência de tratamento é bastante afetada quando o lixiviado contém altas concentrações de amônia livre. Shiskowski *et al.* (1998); Calli (2005); Wiszniowski *et al.* (2007) e Contrera (2008) recomendam um pré-tratamento físico-químico do lixiviado para remoção de amônia, tais como precipitação, coagulação-floculação, adsorção, oxidação química e *air stripping*.

De acordo com os trabalhos de Souto (2009) e Ferraz (2010), mostrou-se que é viável técnica e economicamente a remoção de nitrogênio amoniacal total (NAT) pelo emprego de torres de *air stripping*, já que os resultados indicaram eficiências de remoção em torno de 100 % em um curto prazo de aeração. Nesse contexto, este trabalho teve como objetivo avaliar a tratabilidade lixiviado (bruto e pré-tratado por *air stripping*) combinado com esgoto doméstico em sistema de lodos ativados, de forma a fornecer informações que esclareçam as referidas incertezas. Além disso, buscou-se investigar as condições operacionais ideais do tratamento combinado de lixiviado e esgoto doméstico em sistema de lodos ativados.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Lixiviado

O lixiviado foi coletado na extremidade do sistema de drenagem do aterro sanitário do município de São Carlos (SP).

2.2. Esgoto doméstico

O esgoto doméstico utilizado nos experimentos era proveniente da rede coletora pública da região residencial próxima à Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP).

O esgoto da rede local passa primeiramente por uma grade grossa, sendo então acumulado em um poço de sucção, de onde é recalado para alimentar os reatores utilizados.

2.3. Lixiviado pré-tratado

O lixiviado foi pré-tratado com o intuito de remover a amônia, substância potencialmente tóxica aos microrganismos aeróbios nas elevadas concentrações em que é encontrada no lixiviado (Renou *et al.*, 2008), para se verificar o efeito do pré-tratamento na tratabilidade da mistura. Para tanto, o lixiviado foi pré-tratado por precipitação química, a partir da adição de cal até que seu pH fosse ajustado para 11, e, em seguida, houve a remoção da amônia em torre de *air stripping*, até que sua concentração no efluente fosse de, no máximo, 20 mg/L (valor estabelecido pela Resolução 430/2011 do CONAMA).

2.4. Descrição da unidade experimental

A câmara de aeração utilizada nos experimentos em escala de bancada consiste em um reator dividido em quatro câmaras (R1, R2, R3 e R4, ilustrado na Figura 1) com volume individual de 10 L. Em cada câmara há um tanque de aeração e um decantador, separados por uma cortina fixa. Essa unidade encontra-se instalada no Laboratório de Tratamento de Resíduos Orgânicos e vem sendo utilizada em diversas pesquisas desenvolvidas no Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos.



Figura 1 – (1) Célula de aeração com 4 reatores de 10 L cada e (2) unidades de sedimentação, utilizada nos experimentos em escala de bancada.

Para evitar o crescimento de microrganismos fotoheterotróficos como as algas, envolveu-se a célula de aeração com papel alumínio em toda sua parede externa.

Durante os experimentos, a totalidade da câmara funcionou como tanque de aeração, ininterruptamente. Por isso a sedimentação foi realizada em frascos de 8 litros, um para cada câmara, os quais desempenhavam a função de decantadores secundários (Figura 1 (2)).

2.5. Inoculação e adaptação da biomassa

Todos os reatores de lodos ativados foram inoculados com lodo aeróbio proveniente do sistema de tratamento por lodos ativados em batelada da Indústria Faber Castell LTDA, fábrica II – Cedrinho, localizada na cidade de São Carlos (SP). O lodo coletado apresentava boa sedimentabilidade e baixa concentração de microrganismos filamentosos. O volume de inóculo (25% do volume do reator) foi adotado de modo que, após a inoculação e enchimento dos reatores com esgoto, o tanque de aeração ficasse com concentração de sólidos suspensos em torno de 2000 mg/L.

A adaptação foi feita em um reator com capacidade de 60 litros, no qual foram colocados 30 litros de esgoto e 10 litros de lodo aeróbio. Essa mistura foi submetida à aeração e após 22 horas de aeração retiravam-se 20 litros do conteúdo do reator, descartando o sobrenadante após 2 horas de sedimentação. O lodo sedimentado era retornado ao reator e completava-se o volume com esgoto. O procedimento foi repetido até estabilização, e esse tempo foi definido de acordo com exames microscópicos, em torno de 7 dias.

2.6. Operação do sistema

Foram realizados dois experimentos: no primeiro foi combinado esgoto doméstico e lixiviado bruto (Experimento E1); e no segundo, combinou-se esgoto doméstico com lixiviado pré-tratado (Experimento E2). As características das águas residuárias estão mostradas na Tabela 1. Foi avaliado o potencial de biodegradabilidade da mistura de lixiviado e esgoto nas proporções volumétricas de 0; 0,2; 2 e 5%.

Os quatro reatores foram operados com ciclo de 24 horas e, após 23 horas de aeração da mistura, retiravam-se 7 litros do conteúdo de cada câmara, descartando 5 litros do sobrenadante após 1 hora de sedimentação. O lodo sedimentado era retornado ao reator e completava-se o volume com a mistura lixiviado/esgoto. A mistura era preparada diariamente para cada reator. A aeração nas câmaras não foi interrompida durante o período de sedimentação. Este procedimento foi realizado até o término do experimento.

Cada experimento teve duração de 20 dias de operação e foi mantido um tempo de detenção hidráulica (TDH) de 2 dias e idade de lodo (θ_c) em torno de 30 dias.

Tabela 1 – Caracterização físico-química do esgoto doméstico, lixiviado bruto e pré-tratado.

Parâmetros	Esgoto Sanitário*	Lixiviado Bruto*	Lixiviado pré-tratado*
pH	7,3	8,4	9,6
Alcalinidade total (mg CaCO_3 /L)	135	9.301	2.650
DQO (mgO_2 /L)	300	4.625	2.772
DBO ₅ (mgO_2 /L)	154	1.007	380
COD (mg C/L)	44	1.208	1.098
NTK (mg N/L)	26,5	2.248	86,7
N-NH ₃ (mg N/L)	23,5	1.611	8,85
NO _x (mg N-NO ₃ /L)	0,7	N.D.	3,0
PO ₄ ⁻ (mg P-PO ₄ ⁻ /L)	8,6	18,5	2,1
Sólidos Totais (mg/L)	386	11.978	9.140
Sólidos Totais Voláteis (mg/L)	251	3.386	2.173
Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	191	169,5	103

N.D.: Não detectável; *Valores médios

2.7. Análises físico-químicas

As análises físico-químicas foram realizadas no Laboratório de Saneamento do Departamento de Hidráulica e Saneamento da EESC/USP, de acordo com os procedimentos descritos no *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2005).

Os exames microbiológicos de microscopia foram realizados no Laboratório de Processos Biológicos (LPB) – Campus 2. Foi utilizado o microscópio óptico Olympus, modelo DP-72, sendo o *Image-Pro Plus* o programa de aquisição e processamento das imagens.

As determinações de pH, OD e temperatura eram realizadas diariamente com o uso de equipamentos instalados na própria planta experimental (Laboratório de Tratamento de Resíduos Orgânicos). Os valores de pH do tanque de aeração foi ajustado para valores próximos de 7 com adição de uma solução de hidróxido de cálcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Demanda Química de Oxigênio-DQO

As eficiências médias de remoção da DQO no Experimento E1 em que foi adicionado lixiviado bruto nas proporções de 0; 0,2; 2 e 5% foram: 90; 76; 70 e 51%, respectivamente, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 – Eficiência média na remoção da DQO no sistema de lodos ativados em escala de bancada, tratando esgoto com 0 a 5% de lixiviado (E1).

Proporções de lixiviado (%)	Afluente (mg/L)	Efluente (mg/L)	Eficiência (%)
0	236	23	90%
0,2	234	56	76%
2	310	94	70%
5	430	210	51%

Pode-se observar que houve redução na eficiência de remoção da DQO à medida que a proporção de lixiviado aumentava, o que pode estar associado ao efeito da toxicidade da amônia livre e à presença de matéria orgânica de difícil degradação biológica (recalcitrante) presentes no lixiviado bruto. Observou-se maior efeito negativo na proporção de 5% de lixiviado que nas outras proporções.

As eficiências médias de remoção da DQO nos reatores do Experimento E2, em que foi adicionado lixiviado pré-tratado nas proporções de 0; 0,2; 2 e 5% foram 92; 87; 82; 69%, respectivamente, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 – Eficiência média na remoção da DQO no sistema de lodos ativados em escala de bancada, tratando esgoto com 0 a 5% de lixiviado pré-tratado (E2).

Proporções de lixiviado (%)	Afluente (mg/L)	Efluente (mg/L)	Eficiência (%)
0	288	25	92%
0,2	299	38	87%
2	342	59	82%
5	422	130	69%

Pode-se observar na Tabela 3 que também houve redução na eficiência de remoção da DQO à medida que a proporção de lixiviado aumentava neste experimento. No entanto, para as condições do Experimento E2 essa redução da eficiência foi menos acentuada, especialmente ao se comparar com o reator controle (0%), resultando em um efluente com menor concentração da DQO para todas as proporções, quando comparado ao Experimento E1.

Para fins de comparação entre as condições dos quatro experimentos, na Figura 2 são apresentadas as eficiências médias de remoção da DQO dos Experimentos E1 e E2.

De maneira geral, observou-se nos dois experimentos que ocorreu redução da eficiência de remoção da DQO bruta à medida que a proporção de lixiviado aumentou em relação ao esgoto, o que também foi constatado por Ehrig (1998), Borghi *et al.* (2001), Turetta (2011). Para a proporção de 5% de lixiviado, o sistema se mostrou ineficiente em ambas as condições testadas (eficiências inferiores a 70%), resultando em concentrações da DQO efluentes superiores a 100 mg/L.

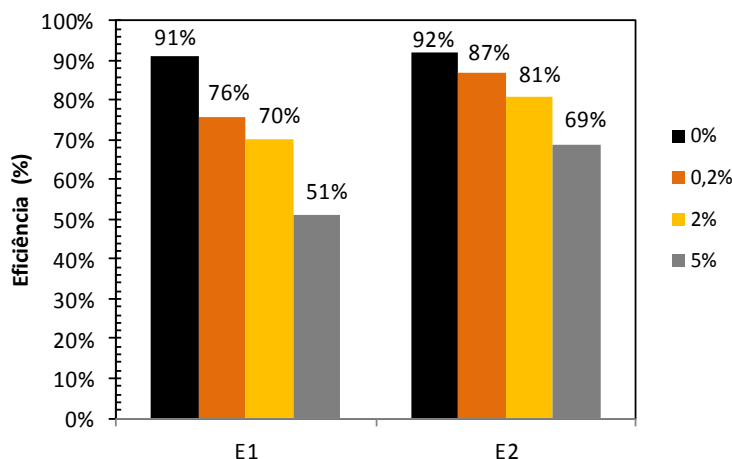


Figura 2 – Eficiência média de remoção da DQO nos experimentos para as proporções de 0 (controle); 0,2; 2 e 5% de lixiviado em diferentes condições: E1-lixiviado mais esgoto; E2-lixiviado pré-tratado mais esgoto.

Em termos gerais, os resultados indicaram que o Experimento E2 sofreu menores interferências do lixiviado e obteve maiores eficiências, resultando em concentrações da DQO efluente inferiores a 60 mg/L até a proporção de 2% de lixiviado pré-tratado. No Experimento E1, o sistema se mostrou mais vulnerável, apresentando concentrações da DQO efluente superiores a 80 mg/L para a proporção de 2% de lixiviado bruto.

As maiores eficiências no Experimento E2 podem estar associadas à redução do efeito da toxicidade da amônia livre, que foi removida na torre de *air stripping* (até uma concentração de NAT inferior a 20 mg/L) e à precipitação de parte da matéria orgânica recalcitrante promovida pela pré-alkalinização do lixiviado bruto.

3.2. Demanda Bioquímica de Oxigênio-DBO

As eficiências médias de remoção da DBO nos reatores do Experimento E1 em que foi adicionado lixiviado pré-tratado nas proporções de 0; 0,2; 2 e 5% foram 92; 95; 65; 18% respectivamente conforme apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 – Eficiência média na remoção da DBO no sistema de lodos ativados em escala de bancada, tratando esgoto com 0 a 5% de lixiviado (E1).

Proporções de lixiviado (%)	Afluente (mg/L)	Efluente (mg/L)	Eficiência (%)
0	172	4	97%
0,2	168	9	95%
2	181	63	65%
5	190	156	18%

Pode-se observar na Tabela 4 que a adição de 2 e 5% de lixiviado afetou significativamente a eficiência do sistema, quando comparado ao controle (0%), que foi alimentado apenas com esgoto bruto. As menores concentrações efluentes da DBO foram de 4 e 9 mg/L para as proporções de 0 e 0,2% de lixiviado bruto.

Quanto ao Experimento E2, as eficiências de remoção da DBO nos reatores em que foi adicionado lixiviado pré-tratado nas proporções de 0; 0,2; 2 e 5% foram: 97; 97; 97 e 95%, respectivamente, conforme indicado na Tabela 5.

Tabela 5 – Eficiência média na remoção de DBO no sistema de lodos ativados em escala de bancada, tratando esgoto com 0 a 5% de lixiviado pré-tratado (E2).

Proporções de lixiviado (%)	Afluente (mg/L)	Efluente (mg/L)	Eficiência (%)
0	155	4	97%
0,2	153	7	97%
2	211	9	97%
5	274	18	95%

Pode-se observar na Tabela 5 que, nas condições do Experimento E2, apenas a adição de 5% de lixiviado pré-tratado (alcalinizado e com remoção de NAT por *air stripping*) afetou o sistema, mas ainda com elevada eficiência de remoção da DBO.

Assim como na eficiência de remoção da DQO, este experimento proporcionou maiores eficiências na remoção da DBO e, portanto, melhor desempenho do sistema. As eficiências de remoção da DBO se mantiveram acima de 90% em todas as proporções de lixiviado. As menores concentrações efluentes da DBO foram de 4 e 7 mg/L para as proporções de 0 e 0,2% de lixiviado pré-tratado, respectivamente.

A redução brusca na eficiência de remoção da DBO no Experimento E1, comparado ao Experimento E2, indica provável efeito tóxico dos compostos presentes no lixiviado bruto, como exemplo da amônia livre, que foi previamente removida no Experimento E2.

3.3. Carbono Orgânico Dissolvido-COD

Todas as determinações do COD foram realizadas com a amostra filtrada (membrana diâmetro médio de poro de 0,45 µm) e acidificada a pH em torno de 2.

As eficiências de remoção do COD nos reatores em que foi adicionado lixiviado bruto nas proporções de 0; 0,2; 2 e 5% foram: 69, 66, 52 e 44%, respectivamente, conforme apresentado na Tabela 6.

Tabela 6 – Eficiência média na remoção da COD no sistema de lodos ativados em escala de bancada, tratando esgoto com 0 a 5% de lixiviado (E1).

Proporções de lixiviado (%)	Afluente (mg/L)	Efluente (mg/L)	Eficiência (%)
0	48	15	69%
0,2	48	16	66%
2	69	32	52%
5	104	57	44%

Pode-se observar que a adição de 2 e 5% de lixiviado afetou significativamente o sistema, quando comparado ao reator com 0% de lixiviado (controle), alimentado apenas com esgoto bruto. As menores concentrações efluentes do COD foram de 15 e 16 mg/L para as proporções de 0 e 0,2% de lixiviado bruto.

Quanto ao Experimento E2, as eficiências de remoção do COD nos reatores em que foi adicionado lixiviado pré-tratado nas proporções de 0; 0,2; 2 e 5% foram: 65; 70; 60 e 54%, respectivamente, conforme indicado na Tabela 7.

Pode-se constatar que, nas condições do Experimento E2, a adição de 2% de lixiviado pré-tratado (alcalinizado e com remoção de NAT por *air stripping*) afetou levemente o sistema, enquanto que a adição de 5% afetou significativamente, quando comparado ao reator controle (0%) alimentado apenas com esgoto bruto.

Vale ressaltar ainda que no experimento com 0,2% de lixiviado pré-tratado foi alcançada uma eficiência de remoção do COD maior que o controle (0%), indicando que para essas condições o sistema teve uma resposta positiva sem afetar o desempenho do sistema de tratamento.

Tabela 7 – Eficiência média na remoção da COD no sistema de lodos ativados em escala de bancada, tratando esgoto com 0 a 5% de lixiviado pré-tratado (E2).

Proporções de lixiviado (%)	Afluente (mg/L)	Efluente (mg/L)	Eficiência (%)
0	46	16	65%
0,2	49	14	70%
2	65	25	60%
5	92	42	54%

Assim como na eficiência de remoção da DQO e DBO, este experimento proporcionou maiores eficiências na remoção do COD e, portanto, melhor desempenho do sistema.

Para fins de comparação, na Figura 3 são apresentadas as eficiências médias de remoção do COD dos experimentos de bancada.

As eficiências de remoção do COD apresentadas, de certa forma, são baixas, uma vez que as próprias concentrações afluentes já são reduzidas. Além disso, todas as amostras foram filtradas (0,45µm) e essas concentrações são relativas apenas à porção dissolvida do carbono orgânico.

De maneira geral, em todos os experimentos observou-se que ocorre diminuição da eficiência de remoção do COD, assim como da DQO, à medida que a proporção de lixiviado aumenta em relação ao esgoto, conforme também foi observado por Franco (2009) e Turetta (2011).

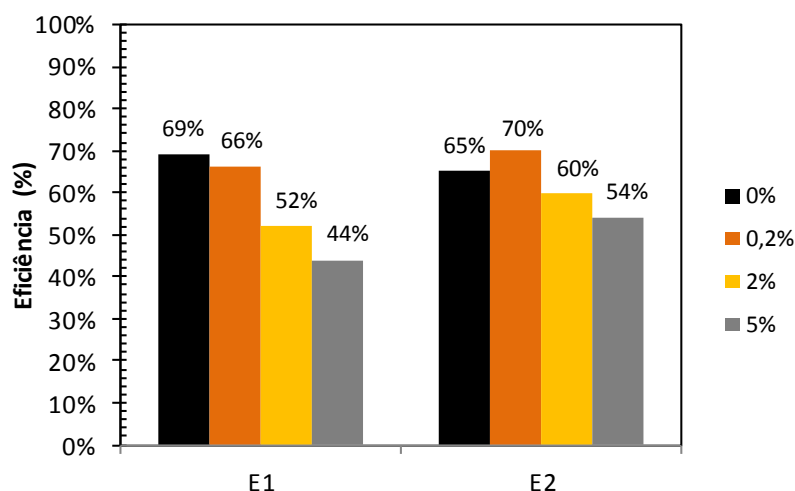


Figura 3 – Eficiência média de remoção do COD nos experimentos de bancada para as proporções de 0 (controle); 0,2; 2 e 5% de lixiviado em diferentes condições: E1-lixiviado mais esgoto; E2-lixiviado pré-tratado mais esgoto.

Com base nos gráficos apresentados, pode-se observar que no Experimento E2 foram obtidas as maiores eficiências de remoção do COD e menor interferência pela adição de lixiviado, quando comparado ao reator com 0% de lixiviado (controle) deste experimento.

3.4. Monitoramento microbiológico

O estudo microbiológico do sistema de lodos ativados, tratando a mistura de esgoto doméstico e lixiviado de aterro, consistiu no monitoramento microbiológico e característica dos flocos por microscopia óptica de campo claro para estudo comparativo da diversidade microbiana desenvolvida nos reatores nas diferentes condições em estudo. A frequência de microrganismos foi estimada subjetivamente observada a densidade populacional comparativa entre as amostras examinadas.

Baseado nos resultados do monitoramento microbiológico dos reatores dos experimentos E1 e E2, foi possível observar a presença de protozoários ciliados fixos em quase todas as condições deste experimento, especialmente dos gêneros *Vorticella* sp. e *Epistylis* sp. (Figura 4). Isso se deve, principalmente, às condições operacionais do sistema em estudo, tais como a elevada idade do lodo, a baixa carga orgânica e baixa relação A/M, conforme Jenkis (2003).

De acordo com os resultados do monitoramento microbiológico, a frequência destes protozoários foi decrescente à medida que se aumentava a proporção de lixiviado. Assim, constatou-se a baixa frequência desses protozoários ciliados fixos no reator R4 (5%) durante toda a operação.

No experimento E1 também foi possível verificar a presença de protozoários rizópodes (amebas) em todas as proporções de lixiviado, em maior frequência nos reatores R1(0%) e R2(0,2%), especialmente dos gêneros *Arcella* sp e *Euglypha* sp., que também estão associadas à ocorrência de nitrificação (Figura 4).

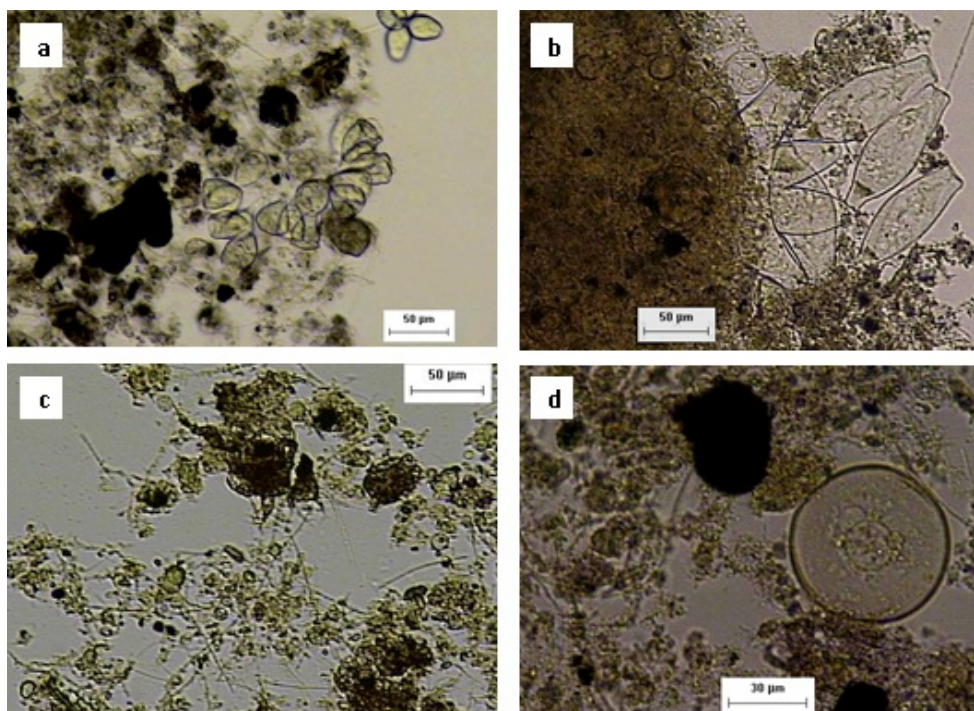


Figura 4 - Grupo de microrganismos encontrados no sistema de lodos ativados em batelada por microscopia óptica de campo claro: ciliados fixos (a) *Vorticella* sp. and (b) *Epistylis* sp.; bactérias filamentosas - formadoras do floco (c); tecameba *Arcella* sp. (d). Aumentos de 300x, (a); 100x, (b); 150x, (c) e 200x, (d).

No Experimento E1, a microbiota se manteve diversificada e equilibrada até 2% de lixiviado. A proporção de 5% de lixiviado provocou uma diminuição significativa da diversidade, especialmente de protozoários ciliados fixos e elevou bruscamente a presença de bactérias filamentosas, provocando a redução da eficiência de tratamento do sistema.

No experimento E2, a diversidade microbiana sofreu menor efeito da adição de lixiviado em relação ao Experimento E1, permanecendo elevada em todas as proporções de lixiviado. É importante salientar que a proporção de 5% promoveu uma estabilização defasada em relação às demais, corroborando com a menor eficiência de remoção de DQO e DBO neste experimento. Os microrganismos indicadores de nitrificação se mantiveram em elevada frequência durante todo o experimento, indicando ocorrência de nitrificação em todas as proporções.

4. CONCLUSÕES

Diante dos resultados obtidos nos experimentos realizados em escala de bancada, é possível concluir que:

- No experimento E1, o sistema manteve a eficiência de remoção de DQO, DBO e COD de 76, 95 e 66%, respectivamente, e o equilíbrio da microbiota até a proporção de 0,2% de lixiviado bruto.
- Quanto ao Experimento E2 (mistura de esgoto doméstico com lixiviado pré-tratado), as condições se mostraram mais favoráveis. Foram alcançadas maiores eficiências de remoção da DBO, da DQO e do COD, uma vez que foram mantidas eficiências acima de 97, 82, 60%, respectivamente, até a proporção de 2% de lixiviado pré-tratado. As concentrações efluentes da DBO e da DQO foram inferiores a 9 e 61 mg/L, respectivamente.
- O tratamento combinado do lixiviado estudado com esgoto doméstico se mostrou viável na proporção volumétrica de 0,2% de lixiviado bruto e até a proporção máxima de 2% de lixiviado pré-tratado, com remoção prévia de amônia, nas condições experimentais estudadas.
- A proporção de 5% de lixiviado se mostrou inviável tecnicamente nas duas condições estudadas, com eficiências de remoção da DQO abaixo de 69% e concentração efluente acima de 112 mg/L. Nessa proporção também foi observado redução significativa da diversidade microbiana e elevação da frequência de microrganismos filamentosos, principalmente com a adição de lixiviado bruto.
- O pré-tratamento do lixiviado por *air stripping* promoveu aumento significativo na eficiência de remoção de matéria orgânica (de 10 a 20%). Foi nítida a menor interferência sobre o desempenho do sistema, de forma que a redução das eficiências à medida que se adicionava lixiviado foi menos acentuada nessa condição. Esse aumento da eficiência pode ter sido obtido pela a precipitação de substâncias húmicas ocasionada pela pré-alcalinização e remoção praticamente completa da amônia por arraste.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA, AWWA. (2005) **Standard Methods for Examination of Water and Wastewater**. 21 ed., New York, WPCF.
2. BIDONE, F.R.A. & POVINELLI, J. (2010) **Conceitos Básicos de Resíduos Sólidos**. São Carlos: EESC-USP. Projeto REENGE.
3. BOCCHIGLIERI, M. M. (2010). **O Lixiviado dos Aterros Sanitários em Estações de Tratamento dos Sistemas Públicos de Esgotos**. Tese doutorado, Universidade de São Paulo/ Faculdade de Saúde Pública.
4. BORGHI *et al.* (2001) **Combined Treatment of a Mixture of Old and Young Leachates with Wastewater by Activated Sludge System**. In: Proceedings of Sardinia – Eighth International Waste Management and Landfill Symposium, 2001, S. Margherita di Pula. Cagliari (Italy): CISA – Environmental Sanitary Engineering Centre.
5. CALLI, B.; MERTOGLU, B.; INANC, B; YENIGUM, O. (2005) **Effects of high ammonia concentrations on the performances of anaerobic bioreactors**. Process Biochemistry 40p. 1285-1292.
6. CONTRERA, R.C. (2008) **Estudo da tratabilidade de lixiviados de aterros sanitários em sistemas de reatores anaeróbios e aeróbio operados em bateladas sequenciais e em filtro biológico anaeróbio contínuo de fluxo ascendente**. 789 p. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação da Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, São Carlos.
7. FACCHIN, J.M.J; COLOMBO, M.C.R.; COTRIM, S.L.S.; REICHERT, G.A.(2000) **Avaliação do tratamento combinado do esgoto e lixiviado de aterro sanitário na ETE Lami (Porto Alegre) após o primeiro ano de operação**. In: Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, 27, Porto Alegre, RS. Anais...CD-ROM.
8. FERRAZ, F.M. (2010). **Recuperação da amônia liberada no processo de “air stripping” aplicado ao tratamento do lixiviado de aterros sanitários**. 129 p. Dissertação (Mestrado), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
9. FERREIRA, J.A.; CANTANHEDE, A.L.G.; LEITE, V.L.; BILA, D.M.; CAMPOS, J.C.; YOKOYAMA, L.; FIGUEIREDO, I.C.; MANNARINO, C.F., SANTOS, A.S., FRANCO, R.S.O.; LOPES, W.S.; SOUSA, J.T. (2009) **Tratamento combinado de lixiviados de aterros de resíduos sólidos urbanos com esgoto doméstico**. In: GOMES, L.P. Estudos de caracterização e tratabilidade de lixiviados de aterros sanitários para condições brasileiras. Livro 3 do Projeto PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, 2009a. 360 p.
10. FERREIRA, EDUARDO S. (2000) **Cinética Química e fundamentos dos processos de nitrificação e desnitrificação biológica**. In: XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental,

- 2000, Porto Alegre-RS. AIDIS - Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 2000. p. 1-25.
11. FRANCO, R. S. O. (2009) **Avaliação da eficiência do tratamento combinado de lixiviado com esgoto doméstico em estação de tratamento de esgoto**. 109 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
 12. JENKINS, D.; RICHARD, M.G.; DAIGGER, G.T. (2003) **Manual on the causes and control of activated sludge bulking, foaming, and other solids separation problems**. 3. ed. Boca Raton: Lewis Publishers.
 13. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (2011). Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 430, 13 de maio de 2011**, altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Diário Oficial da União, Brasília, 16 de maio de 2011. Seção 1, p. 69.
 14. PAGANINI, W. S.; BOCCHIGLIERI, M. M.; LOPES, G. F. (2003) **Avaliação da Capacidade das Estações de Tratamento de Esgotos do Sistema Integrado da Região Metropolitana de São Paulo – RMSP – para o Recebimento do Chorume Produzido nos Aterros Sanitários da Região**. In: Anais do 22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2003, Joinville. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2003.
 15. RENOU, S; GIVAUDAN, J; G.POULAIN, S; DIRASSOUYAN, F, MOULIN, P. (2008) **Landfill leachate treatment: Review and opportunity**. Journal of Hazardous Materials, v. 150, n.3, p 468-493.
 16. SHISKOWSKI, D.M.; MAVINIC, D.S. (1998). **Biological treatment of a high ammonia leachate: influence of external carbon during initial startup**. Water Research, v. 32, nº 8, p. 2533-2541.
 17. SOUTO, G.D.B. (2009) **Lixiviado de aterros sanitários brasileiros – estudo de remoção do nitrogênio amoniacal por processo de arraste com ar (“stripping”)**. 371 p. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação da Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, São Carlos.
 18. TURETTA, L. (2011) **Estudo da tratabilidade de efluente de reator anaeróbio e lixiviado de aterro sanitário utilizando o processo de lodos ativados**. 2011. 103 p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
 19. WISZNIEWSKI, J.; SURMACZ-GÓRSKA, J.; ROBERT, D.; WEBER, J.-V. (2007). **The effect of landfill leachate composition on organics and nitrogen removal in an activated sludge system with bentonite additive**. Journal of Environmental Management, v.85, p. 59- 68.