

II-228 - AVALIAÇÃO DE ETE – PILOTO NO MELHORAMENTO DE QUALIDADE FÍSICO-QUÍMICA E MICROBIOLÓGICA DE ESGOTO SANITÁRIO

Raphael Corrêa Medeiros⁽¹⁾

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa. Mestre e Doutor em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Professor Adjunto da Universidade Federal de Santa Maria – Campus Frederico Westphalen.

Luiz Antonio Daniel

Professor Doutor do Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo - SHS/EESC/USP, São Carlos/SP. Brasil.

Maria Teresa Hoffmann

Química, com Mestrado e Doutorado em Química (USP). Especialista em laboratório da Escola de Engenharia de São Carlos EESC/USP.

Endereço⁽¹⁾: Linha 7 de Setembro, s/n, BR 386, km 40, Departamento de Engenharia e Tecnologia Ambiental, UFSM – Frederico Westphalen – RS - CEP:98400-000 – Brasil – Tel: (55) 3373-0600 (ramal 740) – email: medeiroscg@yahoo.com.br.

RESUMO

O tratamento de esgoto sanitário apresenta-se de suma importância para manutenção da Saúde Pública, ao reduzir carga orgânica e microbiológica que, em muitos exemplos no Brasil, chegam aos cursos d'água sem tratamento, com agravante de serem utilizados como mananciais de abastecimento de água. Tanto a tecnologia do reator UASB como Lodos Ativados são bastante implementadas no país, sendo alvo de inúmeras pesquisas. Este trabalho teve por objetivo averiguar o melhoramento de características físicas, químicas e microbiológicas de efluente sanitário, no decorrer do tratamento composto por: reator anaeróbio, aeróbio e filtração lenta em areia. O acréscimo dessa última etapa teve o intuito de promover o efluente a características que possibilitem um futuro reuso ou posterior desinfecção. Apesar de o efluente bruto possuir grande variabilidade, o tratamento proposto obteve remoções de DQO, sólidos, turbidez, absorbância 254 nm, coliformes totais e *Escherichia coli* próximas às encontradas na literatura. O filtro lento ajudou à ETE alcançar mais de 97% de remoção de DQO, 99% de remoção de turbidez, bem como mais de 3 unidades logarítmicas dos indicadores de contaminação fecal, podendo ser alternativa de pós-tratamento de grande interesse, principalmente, para pequenas ETE.

PALAVRAS-CHAVE: Tratamento de Efluente, Reator UASB, Lodos Ativados, Filtração Lenta, Saneamento Básico.

INTRODUÇÃO

O lançamento de esgoto *in natura* em corpos d'água é um dos principais problemas de saúde pública e investimentos em reúso de águas residuárias devem fazer parte de metas de gestão de recursos hídricos (ROSE, 2007). A concentração de microrganismos patogênicos existente no esgoto pode ser muito grande, o que representa risco direto à população quando lançado em um curso d'água.

Segundo Plutzer et al. (2010), o tratamento efetivo do esgoto é crítico para manter a segurança à Saúde Pública contra infecções por doenças de veiculação hídrica, devido à proteção das fontes hídricas da contaminação, dentro do conceito de "barreiras múltiplas".

Dentre as inúmeras tecnologias de tratamento de águas residuárias, o reator UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) apresenta características de: baixo custo, simplicidade operacional e baixa produção de sólidos e são cada vez mais frequentes no Brasil (CHERNICHARO, 2016).

O tratamento anaeróbio promovido pelo reator UASB muitas vezes não consegue atingir os requisitos para lançamento de efluentes impostos na legislação (Resolução CONAMA 430, 2011); havendo, portanto, necessidade de pós-tratamento (VON SPERLING, 2011). Várias ETEs fazem uso do lodo ativado como tratamento secundário aeróbio com bons resultados quanto à qualidade do efluente final (VAN HAANDEL; MARAIS, 1999).

Outro processo de pós-tratamento de efluentes é a filtração lenta. Ela é primeiramente um processo biológico, uma vez que há atividade biológica no biofilme aderido ao leito filtrante, mas também atua como processo físico e químico de tratamento, através do “peneiramento” e da adsorção de compostos pela areia (JORDÃO; PESSOA, 2005). Sistemas de tratamento como os lodos ativados e a filtração em areia podem também remover turbidez do efluente, o que contribui para uma posterior etapa de desinfecção.

Neste trabalho, o filtro lento em areia foi utilizado como alternativa de pós-tratamento do efluente secundário advindo do reator de lodos ativados, principalmente, pelas seguintes particularidades: simples construção; fácil operação e manutenção; baixos custos de implantação e operação; não requer produtos químicos; atividade biológica, além da ação física, para melhorar, sobretudo, a qualidade microbiológica do efluente (LANGENBACH et al., 2010; MURTHA; HELLER, 2003).

De modo geral, o objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência de ETE - piloto composta por: tratamento preliminar, reator UASB, sistema de lodos ativados e filtro lento em areia, no melhoramento da qualidade físico-química e microbiológica de esgoto sanitário.

MATERIAIS E MÉTODOS

O esgoto que chega à ETE - piloto era proveniente do Campus da USP - São Carlos e de bairros próximos. A ETE estudada possuía tratamento preliminar composto de: gradeamento, caixa de remoção de areia e gordura. Após essa etapa, o esgoto passava por uma elevatória, sendo bombeado para um tanque de equalização. Depois, havia a distribuição de esgoto por gravidade para o reator UASB, com volume útil de 18,8 m³, e que foi operado com tempo de detenção hidráulica (TDH) de 12 horas.

O sistema de lodos ativados, tanque de aeração e decantador, possuía 1,25 m³ e 112,5 litros, respectivamente; foi operado de modo convencional, com tempo de retenção celular (TRC) de 7 dias e também como aeração prolongada, com TRC de 20 dias. Para isso, houve recirculação do lodo sedimentado no decantador para o tanque de aeração e descarte de lodo excedente diretamente do tanque de aeração. Os descartes foram realizados manualmente, através de um registro de globo, localizado no fundo do tanque de aeração, duas vezes ao dia.

Para início da operação do sistema, foram acrescentados 80 litros de lodo, proveniente de outro sistema de lodos ativados, no tanque de aeração, juntamente com efluente do reator UASB. O sistema foi mantido aerado por 24 horas, sem entrada ou saída de esgoto. Após esse tempo, os registros de entrada e saída foram abertos e a bomba de recirculação foi ligada.

O filtro lento era composto, ao fundo, por camada de pedregulho, separada em três subcamadas; 0,18 m de areia grossa ($D_{10} = 1,0$ mm) e 0,60 m de areia fina ($D_{10} = 0,16$ mm, $D_{60} = 0,46$ mm, coeficiente de desuniformidade = 2,6); acima desse último leito, foram reservados 0,15 m para manutenção de carga hidráulica e proteção da camada biológica e 0,80 m para carga hidráulica disponível. Foram testadas duas taxas de filtração de: 4,26 e 2,0 m³/m².dia.

O tratamento preliminar, o reator UASB e o sistema de lodos ativados foram operados durante 21 meses, enquanto que o filtro lento de areia foi operado durante dois meses. As amostras de esgoto foram recolhidas após o tratamento preliminar (considerado como bruto, principalmente pela questão microbiológica), reator UASB, sistema de lodos ativados e filtro lento de areia. Elas eram armazenadas em frascos de 1 litro previamente lavados e desinfetados.

As seguintes análises físico-químicas e microbiológicas foram realizadas para caracterização e monitoramento de cada uma das etapas de tratamento da ETE - piloto, as quais seguiram o *Standard Methods for the*

Examination of Water and Wastewater (APHA et al., 2005): absorbância 254 nm; alcalinidade parcial; alcalinidade total; DQO; sólidos totais; sólidos suspensos totais; temperatura; turbidez; coliformes totais e *Escherichia coli*.

A análise estatística foi realizada com a ajuda do software STATISTICA 7.0 (StatSoft, Inc, 2004). Os dados, quando necessários, foram transformados a fim de apresentarem distribuição normal – verificada por teste Shapiro-Wilk; a homogeneidade de variâncias foi verificada por teste de Lévene e as comparações entre médias foram feitas utilizando o teste "t" de Student. Para avaliar a correlação de parâmetros, o coeficiente "r" de Spearman foi encontrado. Em todos os testes, quando $p < 0,05$, a diferença entre as variáveis foi considerada significante.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados do monitoramento das variáveis físicas, químicas e microbiológicas da ETE - piloto estão sintetizados na tabela 1.

Tabela 1: Resumo dos dados obtidos durante o monitoramento da ETE – piloto (média ± desvio padrão).

Variável	Bruto	UASB	Lodo Ativado (Aeração Prolongada)	Lodo Ativado (Convencional)
pH	$6,55 \pm 0,35$	$6,81 \pm 0,32$	$7,16 \pm 0,53$	$6,82 \pm 0,84$
Temperatura (°C)	$22,8 \pm 2,1$	$22,8 \pm 2,0$	$21,8 \pm 2,1$	$24,5 \pm 0,9$
AP (mg CaCO₃.L⁻¹)	78 ± 29	191 ± 50	90 ± 70	89 ± 83
AT (mg CaCO₃.L⁻¹)	184 ± 60	285 ± 75	119 ± 87	117 ± 105
Absorbância 254 nm	$1,42 \pm 0,78$	$0,67 \pm 0,19$	$0,384 \pm 0,101$	$0,212 \pm 0,034$
Turbidez (UNT)	$432 \pm 790,3$	132 ± 68	$24,5 \pm 7,9$	$18,0 \pm 21,3$
DQO (mg.L⁻¹)	1131 ± 1197	316 ± 158	148 ± 55	70 ± 24
ST (mg.L⁻¹)	1112 ± 1042	390 ± 100	296 ± 99	284 ± 83
SST (mg.L⁻¹)	501 ± 833	103 ± 52	46 ± 24	31 ± 16
SDT (mg.L⁻¹)	579 ± 581	297 ± 68	250 ± 93	261 ± 76
Coliformes totais*	-	$0,9 (0,4 - 2,0)$	$1,15 (0,11 - 2,18)$	$1,76 (0,74 - 3,06)$
Escherichia coli*	-	$0,57 (0,02 - 2,15)$	$1,45 (0,0 - 2,64)$	$2,30 (1,54 - 3,21)$

Nota: AP: alcalinidade parcial; AT: alcalinidade total; ST: sólidos totais; SST: sólidos suspensos totais; SDT: sólidos dissolvidos totais; * média de remoção em unidades logarítmicas (valor mínimo – valor máximo).

Os valores de pH encontrados ficaram próximos à neutralidade durante os processos de tratamento, o que ajudou a manter o bom funcionamento dos processos biológicos de tratamento. A temperatura mais baixa registrada foi de 18,3°C, o que para reatores anaeróbios (reator UASB), permite a operação à temperatura ambiente, e na faixa ótima de grupos microbianos mesofílicos, como os acetoclásticos e hidrogenotróficos formadores de metano (METCALF; EDDY, 2003; CHERNICHARO, 2016).

Observou-se que o reator UASB produziu alcalinidade, o que se correlaciona ao aumento de pH registrado após o tratamento anaeróbio. Esta produção de alcalinidade se torna necessária também para manter o pH próximo à neutralidade no sistema de lodos ativados, onde a oxidação de nitrogênio amoniacal produz ácidos. Para reatores anaeróbios, o acúmulo de ácidos orgânicos voláteis pode representar desequilíbrio no sistema ao indicar baixa atividade de arqueas metanogênicas.

Dessa forma, relação entre alcalinidades intermediária e parcial superior a 0,3 pode indicar distúrbios no processo anaeróbio. Porém, a estabilidade do processo pode ocorrer em valores diferentes de 0,3 (CHERNICHARO, 2016). Poucas foram as amostras que apresentaram uma relação AI/AP menor que 0,3, porém mais de 80% das amostras, os valores foram menores que 0,6. Observou-se também que após, aproximadamente, dois meses de controle operacional, o reator mostrou tendência à estabilização. Na figura 1 podem ser visualizados os valores dessa relação, encontrados no efluente do reator UASB.

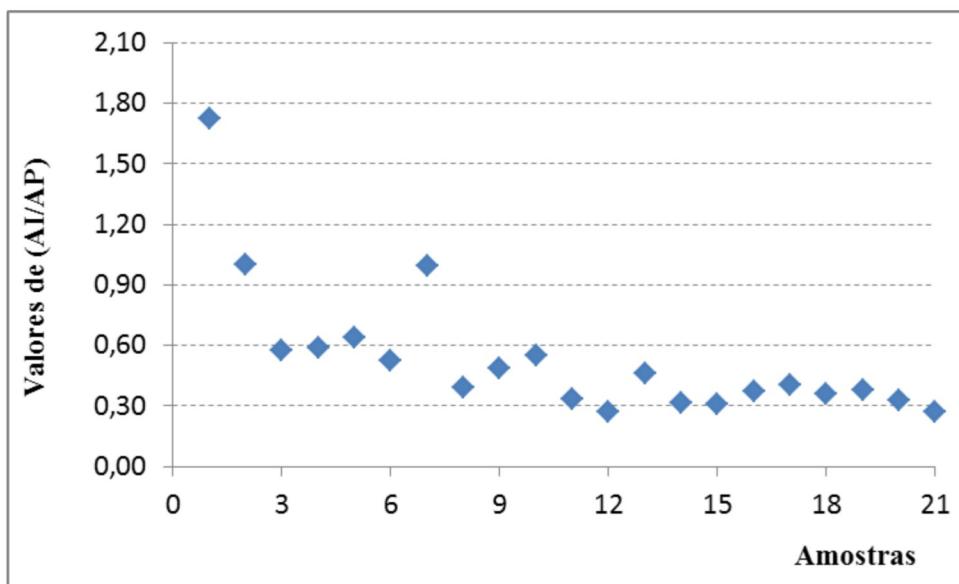


Figura 1: Relação entre alcalinidades intermediária e parcial (AI/AP) nas amostras de efluente do reator UASB.

A absorbância em 254 nm é um parâmetro de fácil monitoramento e de grande importância para uma futura desinfecção por radiação ultravioleta. A contínua diminuição dos valores de absorbância pode ser verificada à medida que se avança no tratamento do efluente, chegando próximo a 80% de redução.

No esgoto bruto, foram verificados valores elevados em algumas amostras, até mesmo superiores que 3.000 UNT. O reator UASB não apresentou remoção significativa de turbidez, possivelmente devido ao arraste de sólidos por bolhas de gases para o efluente tratado deste reator. Com relação aos sistemas de lodos ativados, as remoções acima de 85% evidenciam a presença de flocos biológicos com boa sedimentação no decantador secundário.

A DQO do esgoto bruto foi bastante variável, com valores acima de 4.000 mg.L^{-1} , sendo válido relatar que aconteceram alguns episódios de entrada de efluentes de origem desconhecida, provavelmente, efluente industrial têxtil ou de lavanderia, devido à sua coloração.

Este fato pode explicar a variabilidade do reator UASB em remover a DQO. No entanto, a média de remoção ficou próxima à relatada por Oliveira e von Sperling (2005) de 59%. Mesmo assim, após os sistemas de lodos ativados, observam-se remoções médias de 79 e 87%, para aeração prolongada e convencional, respectivamente.

Em artigo de revisão sobre reatores UASB, Chong et al. (2012) relatam que, quando o sistema de lodos ativados é utilizado como pós-tratamento, há remoções entre 84 e 99 % de DQO, enquanto Mungray e Patel (2011) citam valores médios de remoção de DQO de 82 e 86% de duas ETEs (UASB + lodos ativados), valores próximos aos encontrados neste trabalho.

Os sólidos apresentaram grande variabilidade no afluente, o que possivelmente explica a variabilidade de DQO, turbidez, absorbância em 254 nm. A remoção média de sólidos suspensos totais pelo reator UASB ficou abaixo da relatada por Oliveira e von Sperling (2005), de 67 %. O lodo ativado operado tanto em aeração prolongada, quanto no convencional, apresentou remoções bastante similares, principalmente de sólidos suspensos totais.

Ao se analisar o reator UASB somado ao sistema de lodos ativados, observa-se que a aeração prolongada proporcionou remoções de ST, SDT e SST acima de 50%. No entanto, o sistema convencional de lodo ativado junto com o reator UASB mostrou remoção "satisfatória" apenas dos sólidos suspensos totais. Chong et al. (2012) relatam remoções entre 62 e 98%, enquanto Mungray e Patel (2011), 60 e 64% para a mesma configuração de tratamento: UASB seguido de lodos ativados.

Mesmo após o tratamento pelo sistema de lodos ativados, foram encontradas concentrações elevadas de coliformes totais e *E. coli*, como pode ser visualizado nas figuras 2 e 3. Deve-se fazer uma ressalva que os resultados estão em UFC/mL, visto que foi utilizado o método “pour plate”.

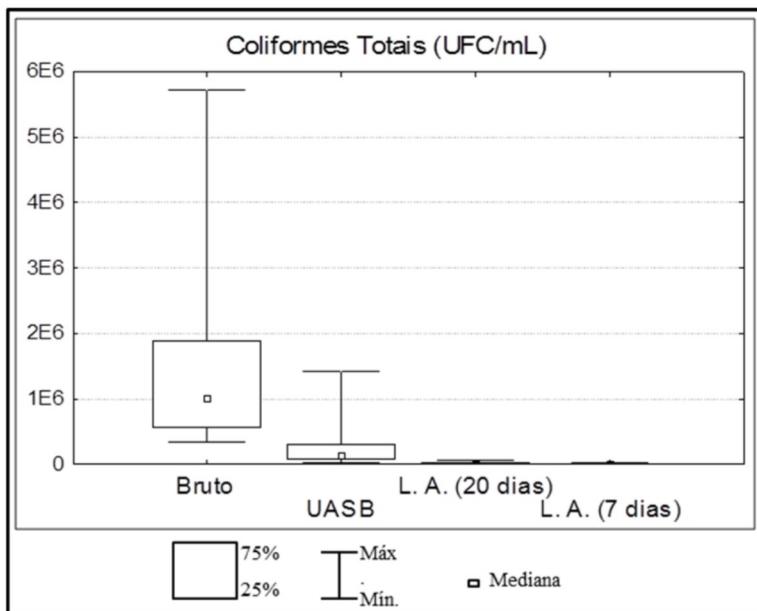


Figura 2: Concentração de coliformes totais nas unidades de tratamento da ETE - piloto.

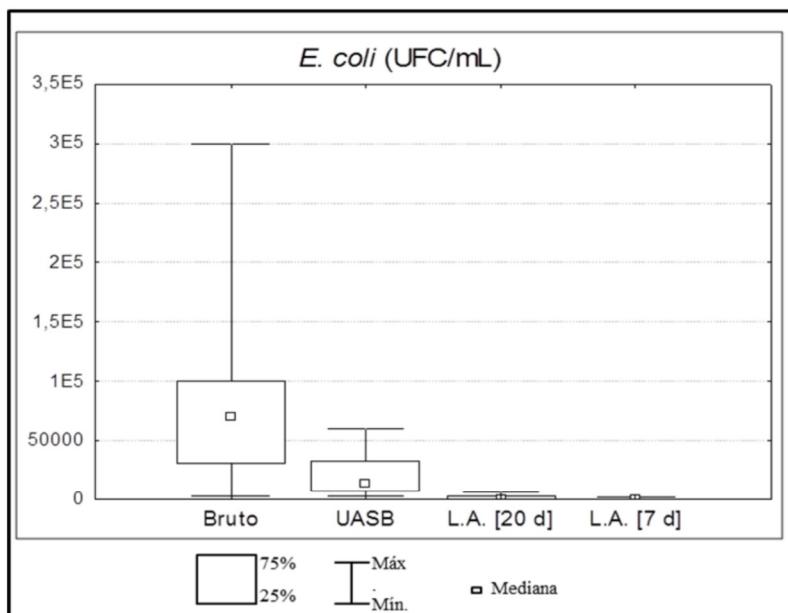


Figura 3: Concentração de *Escherichia coli* nas unidades de tratamento da ETE - piloto.

Oliveira e von Sperling (2005) relatam valores entre 3×10^4 e 3×10^5 coliformes fecais em 100 mL para efluentes de 13 ETEs com sistema de lodos ativados em operação no país. Chong et al. (2012) descrevem que efluentes de lodos ativados operados após reatores UASB conseguiram remoção média de 2,5 log, com efluente final contendo 9×10^4 coliformes fecais por 100 ml de amostra. Oliveira e von Sperling (2005) encontraram eficiência de remoção de até 1,3 log para coliformes fecais em 10 reatores UASB e 1,4 a 2,8 log em sistemas de lodos ativados, convencional e aeração prolongada respectivamente, em operação no país.

De modo geral, os tratamentos biológicos estudados (UASB seguido de lodos ativados aeração prolongada), juntos, obtiveram remoções médias de: 2,06 log (1,24 a 3,24) para coliformes totais, 2,10 log (0,35 a 3,40) para *E. coli*.

Ao se avaliar os dois tipos de sistemas de lodos ativados empregados, as remoções de micro-organismos não mostraram diferenças significativas, exceto para *E. coli*, cuja remoção através do sistema de lodos ativados por aeração prolongada foi menor que a remoção do sistema convencional.

Zhang e Farahbakhsh (2007) relatam média de 1,9 log de remoção para coliformes totais em sistema de lodos ativados. Mungray e Patel (2010) relatam remoção de coliformes totais de até 3 unidades logarítmicas, para ETE com reator UASB seguido de lodos ativados, enquanto que Francy et al. (2012) encontraram remoções médias de *E. coli* de 3,04 log (2,28 a 3,84) e de coliformes totais de 2,89 log (1,96 a 3,37), próximos aos do presente estudo.

Com relação às correlações entre as concentrações de microrganismos indicadores com variáveis físicas, a tabela 2 explicita os principais resultados.

Tabela 2: Resultados de correlação (coeficiente r - Spearman, teste não-paramétrico) entre as variáveis físicas e as concentrações de microrganismos indicadores.

Correlações	Bruto	UASB	Lodo Ativado (Aer. Prol.)	Lodo Ativado (Conv.)
Coliformes totais x <i>E. coli</i>	0,67	0,51	0,63	0,71
Turbidez x Coliformes totais	0,75	0,42	0,47	0,39
Turbidez x <i>E. coli</i>	0,37	-0,22	-0,06	-0,04
Abs 254 x Coliformes totais	0,67	0,58	0,59	0,93
Abs 254 x <i>E. coli</i>	0,33	0,06	0,42	0,64
SST x Coliformes totais	0,72	0,42	0,27	0,11
SST x <i>E. coli</i>	0,35	-0,11	-0,01	-0,04

Nota: em negrito, resultados significativos.

A variável turbidez esteve correlacionada significativamente apenas à concentração de coliformes totais e somente no esgoto bruto. Os valores de absorbância 254 nm foi o parâmetro que mostrou maior número de correlações significativas, com coliformes totais no decorrer de todo o tratamento. Ao correlacionar às concentrações de sólidos suspensos totais, apenas as concentrações de coliformes totais, no esgoto bruto, apresentaram-se significativas.

Para o pós-tratamento com filtro lento em areia, foram, ao todo, estudadas quatro carreiras de filtração: duas taxas (carreiras 1 e 3: 4,26 m³/m².dia; carreiras 2 e 4: 2,0 m³/m².dia) e dois tipos de efluente pós-lodos ativados, os quais foram segregados pela concentração orgânica e turbidez (Baixa concentração orgânica e turbidez – BCOT; alta concentração orgânica e turbidez – ACOT).

Nas carreiras 1 e 2 (BCOT): a turbidez alcançou valores menores que 2 UNT a partir da 25^a hora de experimento, atingindo valores no final da carreira 1 de 1,18 UNT e de 0,88 UNT, no final da carreira 2. Além disso, não mostrou alterações durante as carreiras, mesmo com eventuais variações bruscas de turbidez do afluente ao filtro. Resultados semelhantes foram encontrados por Jenkins et al. (2011) onde, a partir da filtração lenta em areia do afluente com turbidez próxima a 50 UNT, o efluente filtrado manteve turbidez de 1,24 ± 0,53 UNT.

A DQO média no efluente filtrado, durante a carreira 1, foi de 14 (± 1) mg.L⁻¹, o que representou remoção média de 73,5%. Com relação à carreira 2, a DQO média no efluente filtrado foi de 25,7 (± 4) mg.L⁻¹, com remoção média de 54,1%. De igual modo que para a turbidez, o filtro lento em areia foi capaz de manter a DQO no efluente final praticamente constante, durante as duas carreiras, mesmo na ocorrência de picos de carga orgânica no afluente.

No entanto, para *E. coli* e coliformes totais, de acordo com o tempo de progressão da carreia de filtração, houve maior tendência de remoção, devido a uma maior atuação da camada biológica do filtro que em relação à

ação física (MURTHA; HELLER, 2003). Os resultados para coliformes totais e *E. coli* foram inferiores ao encontrados por Bauer et al. (2011); porém, próximos aos encontrados por Ellis (1987) e Jenkins et al. (2011). Esses últimos relatam ainda que maior tempo de contato (taxa de filtração menor) promove maiores remoções de microrganismos e turbidez.

Nas carreiras 3 e 4 (ACOT): em ambos efluentes filtrados, a turbidez se manteve inferior a 2 UNT e, de mesmo modo quando aplicada menores carga orgânica e turbidez, não oscilaram com o decorrer das carreiras de filtração. A DQO no efluente filtrado, durante a carreira 3, foi de 18 mg.L⁻¹, o que representa remoção de aproximadamente 85%. Com relação à carreira 4, a DQO no efluente filtrado foi de 21 mg.L⁻¹, com remoção média de 83%; ambos superiores aos resultados relatados por Tyagi et al. (2009). Em comparação às carreiras 1 e 2, as remoções foram maiores, podendo ser devido ao amadurecimento mais rápido da camada biológica do filtro durante as carreiras 3 e 4.

As remoções de coliformes totais e *E. coli* foram baixas quando comparadas a resultados de Ellis (1987), Langenbach et al. (2010) e Tyagi et al. (2009). Esses últimos autores relatam ainda que a eficiência de remoção de micro-organismos por filtração lenta em areia é devido, principalmente: à taxa de filtração baixa, ao tamanho efetivo da areia também baixo e à atividade biológica do "schmutzdecke".

A remoção global da ETE piloto provida de tratamento preliminar, tratamento primário (reator UASB), tratamento secundário (sistema de lodos ativados) e tratamento terciário (filtração lenta em areia), para variáveis físico-químicas e microbiológicas, a partir da média dos dados de caracterização do esgoto bruto e dos dados finais de cada carreira da filtração lenta, está apresentada na tabela 3.

Tabela 3: Remoções médias globais de variáveis físicas, químicas e microbiológicas da ETE - piloto após cada carreira do filtro lento em areia.

Variável	Carreira 1	Carreira 2	Carreira 3	Carreira 4
Turbidez	99,6 %	99,7 %	99,7 %	99,7 %
Absorbância 254 nm	88,7 %	86,8 %	88,2 %	88,9 %
DQO	98,8%	97,7 %	98,4 %	98,1 %
Coliformes totais (log)	3,64	3,56	3,00	2,98
Escherichia coli (log)	2,82	3,19	2,38	2,28

CONCLUSÕES

A ETE piloto, operada com o reator UASB seguido de sistema de lodos ativados, obteve aproximadamente duas unidades logarítmicas de remoção para coliformes totais e *E. coli*, o que ainda ressalta preocupação quanto à Saúde Pública, pois se apresentaram em elevadas concentração até mesmo no efluente tratado.

A mudança do tempo de residência celular no sistema de lodos ativos não promoveu melhorias significativas na remoção de microrganismos indicadores e na qualidade do efluente secundário.

O acréscimo de unidade de filtração lenta em areia apresentou melhora significativa no efluente final, tanto para variáveis físicas e químicas, quanto microbiológicas, sendo interessante para futuro reuso ou processo de desinfecção posterior.

Deve-se, no entanto, refletir sobre a viabilidade de utilizar a filtração lenta como pós-tratamento, principalmente, em relação ao custo e à área necessária; podendo ser interessante alternativa, principalmente, para ETEs de pequeno porte.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA, WEF, AWWA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st Edition, 2005.
2. BAUER, R. et al. Removal of bacterial fecal indicators, coliphages and enteric adenoviruses from waters with high fecal pollution by slow sand filtration. Water Research, v.45, p.439-452, 2011.

3. CHERNICHARO, C. A. L. Reatores Anaeróbios. Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias. v.5. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG. 2^a ed. 379 p, 2016.
4. CHONG, S. et al. The performance enhancements of upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactors for domestic sludge treatment - A state-of-the-art review. *Water Research*, v.46, n.11, p. 3434-3470, 2012.
5. ELLIS, K.V. Slow sand filtration as a technique for the tertiary treatment of municipal sewages. *Water Research*, v.21, n.4, p.403-410, 1987.
6. FRANCY, D. S. et al. Comparative effectiveness of membrane bioreactors, conventional secondary treatment, and chlorine and UV disinfection to remove microorganisms from municipal wastewaters. *Water Research*, v.46, p.4164-4178, 2012.
7. JENKINS, M.W.; TIWARI, S.K.; DARBY, J. Bacterial, viral and turbidity removal by intermittent slow sand filtration for household use in developing countries: Experimental investigation and modeling. *Water Research*, v.25, p.6227-6239, 2011.
8. JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A. Tratamento de Esgotos Domésticos. 4^a ed. Rio de Janeiro, p.932. 2005.
9. LANGENBACH, K. et al. Modeling of slow sand filtration for disinfection of secondary clarifier effluent. *Water Research*, v. 44, p.159-166, 2010.
10. METCALF; EDDY. Wastewater engineering: treatment and reuse. 4th Ed. McGraw-Hill Inc. New York. 1819p, 2003.
11. MUNGRAY, A. K.; PATEL. K. Coliforms removal in two UASB + ASP based systems. *International Biodeterioration and Biodegradation*, v.65, p.23-28, 2011.
12. MURTHA, N.A.; HELLER, L. Avaliação da influência de parâmetros de projeto e das características da água bruta no comportamento de filtros lentos de areia. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v.8, n.4, p. 257-267, 2003.
13. OLIVEIRA, S. M. A; VON SPERLING, M. Avaliação de 166 ETEs em operação no país, compreendendo diversas tecnologias. Parte I – análise de desempenho. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v.10, n.4, p.347-357, 2005.
14. PLUTZER, J.; ONGERTH, J.; KARANIS, P. Giardia taxonomy, phylogeny and epidemiology: Facts and open questions. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, v.213, p.321-333, 2010.
15. ROSE, J. B. Water reclamation, reuse and public health. *Water Science and Technology*, v.55 (1-2), p.275-282, 2007.
16. TYAGI, V.K. et al. Slow sand filtration of UASB reactor effluent: A promising post treatment technique. *Desalination*, v.249, p.571-576, 2009.
17. VAN HAANDEL, A.; MARAIS, G. O Comportamento do Sistema de Lodo Ativado – Teoria e Aplicações para Projetos e Operação. Campina Grande – PB. 488p. 1999.
18. VON SPERLING, Marcos. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 4. ed. Belo Horizonte: UFMG, 452p, 2011.
19. ZHANG, K.; FARAHBAKHSH, K. Removal of native coliphages and coliform bacteria from municipal wastewater by various wastewater treatment process: implication to water reuse. *Water Research*, v.41, p. 2816-2824, 2007.