

## **II-101 – AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE FILTRO ANAERÓBIO SEGUIDO DE DESINFECÇÃO ULTRAVIOLETA NO TRATAMENTO DE ÁGUAS CINZA PRODUZIDAS EM AMBIENTES AEROPORTUÁRIOS**

**Eduardo de Aguiar do Couto<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Mestre em Engenharia Civil – Área de concentração Eng. Sanitária e Ambiental pela UFV. Doutorando em Engenharia Civil – Área de concentração Eng. Sanitária e Ambiental pela UFV.

**Maria Lúcia Calijuri**

Engenheira Civil pela Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo – USP. Doutora em Engenharia Civil pela Universidade de São Paulo.

**Paula Peixoto Assemany**

Engenheira Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Mestre em Engenharia Civil – Área de concentração Eng. Sanitária e Ambiental pela UFV. Doutoranda em Engenharia Civil – Área de concentração Eng. Sanitária e Ambiental pela UFV.

**Aníbal da Fonseca Santiago**

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Mestre em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESCUSP). Doutor em Engenharia Civil – Área de concentração Eng. Sanitária e Ambiental pela UFV.

**Lucas Sampaio Lopes**

Graduando em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa (UFV).

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Avenida Peter Henry Rolfs, s/n. Campus Universitário – Departamento de Engenharia Civil. Centro de Ciências Exatas. Sala 320. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa – MG – CEP:36570-000 – Brasil – Tel (31) 3899-3098. – e-mail:eduardo.acouto@hotmail.com

### **RESUMO**

O reuso de águas cinza é apontado como uma das principais alternativas para a redução do consumo de água potável em atividades exercidas em residências, indústrias e no comércio. A menor concentração de matéria orgânica e organismos patogênicos nesse efluente possibilita a adoção de tecnologia de tratamento simplificada, e muitas vezes, pouco onerosa. Complexos aeroportuários necessitam de grandes volumes de água em sua rotina de operação, e a substituição de água potável por águas cinza devidamente tratadas pode representar significativa economia de recursos financeiros e ambientais. O objetivo desse estudo foi avaliar sistema composto por filtro anaeróbio e dispositivo de desinfecção ultravioleta no tratamento de águas cinza geradas em ambientes aeroportuários, com vistas ao reuso desse efluente. O trabalho foi desenvolvido em aeroporto internacional de médio porte. A unidade de tratamento de águas cinza foi submetida a efluentes com características semelhantes às águas cinza produzidas nos edifícios do aeroporto. O filtro anaeróbio apresentou eficiência de 71%, 73%, 77%, 88% e 100% para DBO<sub>5</sub>, DQO, sólidos suspensos, turbidez e óleos e graxas, respectivamente. Além disso, a concentração máxima de *Escherichia coli* no efluente à desinfecção ultravioleta foi na ordem de 10<sup>0</sup> NMP/100mL. O estudo realizado permitiu afirmar que as águas cinza produzidas em aeroportos podem ser tratadas com eficiência pelo sistema proposto, viabilizando a prática de reuso não potável.

**PALAVRAS-CHAVE:** Águas Cinza, Filtro Anaeróbio, Desinfecção Ultravioleta, Ambientes Aeroportuários, Reúso.

### **INTRODUÇÃO**

As águas cinza são definidas como sendo efluentes domésticos, sem a contribuição de bacias sanitárias (Elmitwalli e Otterpohl 2007; Misra et al., 2010; Santos et al., 2011). Esses efluentes estão relacionados ao conceito de saneamento descentralizado e reuso que propõe a separação do esgoto doméstico em águas negras (efluentes de bacias sanitárias) e águas cinza, visando um tratamento mais específico de cada tipo de efluente, e obtendo recursos que seriam desperdiçados (Hernández Leal et al., 2010).

Gilboa e Friedler (2008) afirmam que o reuso de águas cinza, atualmente, representa um dos principais métodos para a redução no consumo de água potável, isso porque esse efluente apresenta menor concentração de poluentes quando comparada ao esgoto doméstico, e por outro lado, é responsável por uma fração significativa do volume, podendo contribuir, segundo Li et al (2009), com 50% a 80% do volume total do esgoto doméstico de uma residência.

Ambientes aeroportuários são grandes consumidores de água, já que para garantir a manutenção de sua infraestrutura e operação, necessitam de volumes semelhantes aos consumidos por municípios de médio e pequeno porte. Grande parte desse volume é destinada a atividades não potáveis, e pode ser substituída por efluentes devidamente tratados. Na rotina dos aeroportos, atividades como sistemas de refrigeração, reserva contra incêndio, descarga de bacias sanitárias, lavagem de pátios e veículos e irrigação de áreas verdes podem ser executadas a partir do reúso de águas cinza. Diante disso, tecnologias que propiciem o tratamento desse tipo de efluente são importantes objetos de pesquisa no contexto nacional e internacional.

Poucos aeroportos, em nível mundial, segregam esse efluente do restante do esgoto doméstico. No entanto, essa prática vem crescendo. Os principais exemplos são os aeroportos de Narita, no Japão, Hong Kong e Roma, na Itália. Nesses aeroportos, as águas cinza tratadas são reutilizadas em atividades como irrigação de áreas verdes, descarga de bacias sanitárias, sistemas de refrigeração de ar e reserva contra incêndio (NIAC 2010; HKIA 2010; RLVA 2010).

Essa pesquisa teve o objetivo de avaliar o desempenho de filtro anaeróbio seguido de desinfecção ultravioleta no tratamento de águas cinza produzidas em ambientes aeroportuários, com vistas ao reuso desse efluente.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido no Aeroporto Internacional Tancredo Neves (AITN), no município de Confins, a 35 Km de Belo Horizonte, Brasil. O aeroporto está situado entre os paralelos 19°39' – 19°37' de latitude sul e 43°59' – 43°57' de longitude oeste. O complexo aeroportuário do AITN possui área de 15 km<sup>2</sup> e capacidade para atender 10 milhões de passageiros por ano (INFRAERO 2011).

A unidade de tratamento recebeu efluente segregado de vestiário de uso de funcionários do aeroporto. Um reservatório foi adaptado à tubulação que transportou o efluente do vestiário até a unidade para a adição de efluentes gerados em pias de cozinha.

O tratamento proposto consistiu em filtro anaeróbio de fluxo ascendente seguido de dispositivo de desinfecção ultravioleta. Além disso, dois reservatórios de 500 litros também fizeram parte da unidade. O primeiro localizava-se antes do filtro anaeróbio, com a função de equalizar a vazão de entrada do efluente, e o segundo, situava-se a jusante do dispositivo de desinfecção, para armazenamento do efluente tratado.

O filtro anaeróbio possuía 1,80m de altura com volume de 1,41m<sup>3</sup>, sendo construído em fibra de vidro, e possuindo como meio suporte conduítes elétricos de 1" de diâmetro, cortados em pedaços de 4 centímetros. A vazão de entrada no filtro anaeróbio foi ajustada em 2,82m<sup>3</sup>/d. O filtro anaeróbio é um reator biológico com fluxo através do lodo aderido e retido em um leito fixo de material inerte. A escolha desse sistema de tratamento é justificada pela elevada eficiência na remoção de matéria orgânica e fácil adaptação a diferentes condições operacionais.

Utilizou-se equipamento de desinfecção da marca Pond Clean. O Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB, 2003) apresenta valores de doses de radiação ultravioleta necessários para a inativação de microrganismos, como *Escherichia coli* (*E.coli*) (6,6mWs.cm<sup>-2</sup>) e ovos de nematódeos (40mWs.cm<sup>-2</sup>). O equipamento utilizado possuía um tubo por onde o efluente escoava de 30 cm de comprimento e 8 cm de diâmetro interno, e a lâmpada responsável pela geração da radiação ultravioleta funcionou com potência de 36 watts. A potência da lâmpada e o diâmetro do tubo geraram intensidade de radiação ultravioleta aplicada ao meio líquido de 114 mW.cm<sup>-2</sup>. A partir dessa intensidade, foi possível obter os tempos de exposição necessários para garantir as doses indicadas pelo PROSAB (2003), que foram obtidas durante a operação do sistema.

A desinfecção ultravioleta apresenta vantagens de não produzir subprodutos tóxicos e possuir operação simplificada (Guo et al, 2009). Friedler e Gilboa (2010) afirmam que a desinfecção ultravioleta é especialmente adequada para pequenas unidades de tratamento, e apresenta algumas vantagens, como a não utilização de produtos químicos, a efetiva remoção de uma série de organismos patogênicos, dentre os quais, muitos são resistentes ao cloro, a não formação de subprodutos, e a maior segurança operacional.

As amostragens para realização de análises laboratoriais ocorreram na entrada e na saída do filtro anaeróbio, e na saída do dispositivo de desinfecção ultravioleta. As coletas ocorreram com frequência semanal, de fevereiro a junho de 2011.

As variáveis monitoradas na entrada e na saída do filtro anaeróbio foram: turbidez (2130B), temperatura (2550B), DBO<sub>5</sub> (5220B), DQO (5220D), sólidos totais (2540B), sólidos em suspensão (2540D), óleos e graxas (5520A), pH (4500 – H+B), alcalinidade total (2320B), nitrogênio amoniacal (4500 – NH<sub>3</sub>C), nitrato (4500 – NO<sub>3</sub>E) e fósforo total (4500- PA). Para as amostras coletadas após o dispositivo de desinfecção, foram realizadas apenas análises de *E. coli* (Colilert®). As análises foram realizadas de acordo com o Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21th. Ed., 2005. Entre parênteses, na frente de cada variável monitorada, encontra-se o número do procedimento adotado em cada análise.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante toda a operação do filtro anaeróbio, a temperatura do efluente permaneceu entre 20 e 28°C.

A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos para as variáveis monitoradas antes e após a passagem das águas cinza pelo filtro anaeróbio.

**Tabela 1 - Resultados obtidos antes e após o filtro anaeróbio (média e desvio padrão)**

Parâmetro	Unidade	Afluente	Efluente	Remoção (%)
<b>DBO</b>	mgO <sub>2</sub> /L	93,7±68,15	25,33±17,57	73%
<b>DQO</b>	mgO <sub>2</sub> /L	170,7±100,0	48,49±21,16	71%
<b>Sólidos Totais</b>	mg/L	461,2±119,6	385,4±132,7	16%
<b>Sólidos Suspensos Totais</b>	mg/L	76,36±37,84	19,4±10,7	77%
<b>Turbidez</b>	uT	40,4±27,12	4,84±2,82	88%
<b>Óleos e Graxas</b>	mg/L	29,12±9,8	0,0±0,0	100%
<b>N - NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>	mg/L	36,45±16,2	47,42±11,4	-
<b>N - NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	mg/L	7,44±6,7	3,0±2,48	59%
<b>Fósforo total</b>	mg/L	3,06±0,99	3,06±0,87	0%
<b>pH</b>	-	7,55±0,31	7,72±0,27	-
<b>Alcalinidade total</b>	mgCaCO <sub>3</sub> /L	362,4±68,2	352,0±108,1	-

As remoções de DBO<sub>5</sub> e DQO foram de 73% e 71%, respectivamente. Gannoun et al. (2009) estudando o desempenho de filtros anaeróbios para o tratamento de esgoto doméstico obtiveram resultados semelhantes aos do presente estudo. Os autores concluíram que em condições ótimas de operação, a eficiência desse sistema para a remoção de matéria orgânica pode ser superior a 75%. Nas primeiras semanas de operação do filtro anaeróbio as eficiências de remoção de DBO<sub>5</sub> e DQO foram reduzidas, mas com a sequência de operação, atingiram os valores mencionados. Isso aconteceu devido ao tempo necessário para o crescimento, adaptação e desenvolvimento dos microrganismos responsáveis pela degradação anaeróbia (Lee et al., 2008).

Em relação a sólidos totais, sólidos suspensos e turbidez, as remoções foram de 16%, 77% e 88%, respectivamente. Comparando-se os valores médios de sólidos totais e sólidos suspensos, por diferença pode-se concluir a respeito da elevada carga de sólidos dissolvidos existente nas águas cinza bruta. Isso pode ser explicado pelas características da água de abastecimento do aeroporto. O aeroporto em estudo está situado em região cárstica, e toda sua demanda é suprida por águas subterrâneas, que nessas regiões, apresentam elevados valores de sólidos dissolvidos devido à maior interação com o solo e a fácil dissolução deste. De acordo com esses resultados, é possível atribuir a remoção observada de sólidos totais ao teor de sólidos suspensos.

As remoções para sólidos suspensos e turbidez, assim como foi observado para DBO<sub>5</sub> e DQO, foram elevadas nas primeiras amostragens, diminuindo gradativamente com o passar do tempo. Essas semelhanças permitem afirmar que os sólidos suspensos existentes nas águas cinza utilizadas na avaliação do filtro anaeróbio eram de natureza orgânica, oriundos provavelmente, de restos de alimentos e resíduos corporais. Da mesma forma que aconteceu para DBO<sub>5</sub> e DQO, depois das primeiras semanas de operação, a eficiência para remoção de turbidez aumentou, gerando efluentes com valores reduzidos para essa variável.

Destaca-se ainda a remoção de 100% na concentração de óleos e graxas. Esse resultado é importante, uma vez que, dentre outros prejuízos, óleos e graxas podem comprometer a tubulação responsável pela coleta e distribuição do efluente, já que podem formar depósitos endurecidos através de reações químicas, ou mesmo por processos físicos (Long et al., 2011).

Ocorreu aumento na concentração de nitrogênio amoniacal, que pode ser explicado, no caso de reatores anaeróbios, pela liberação de amônia através da degradação de aminoácidos que ocorre na acidogênese. Outros estudos apresentam menores concentrações de nitrogênio amoniacal em águas cinza (Eriksson et al, 2002; Elmitwalli & Otterpohl, 2007; Li et al, 2009; Hernandez-Leal et al, 2011), no entanto, não consideram a presença de urina nos efluentes de chuveiro, o que ocorre na presente pesquisa. A redução na concentração de nitrato pode ser consequência do processo de desnitrificação, que acontece preponderantemente em ambientes anóxicos.

A remoção de fósforo foi inexistente. As principais fontes de fósforo nas águas cinza do aeroporto são os produtos de limpeza e produtos de higiene pessoal. Todavia, tendo em vista o reuso na irrigação de áreas verdes, essa concentração residual de fósforo pode ser favorável, já que pode contribuir para a economia no uso de fertilizantes.

Os valores de pH para as águas cinza bruta e para as águas cinza tratadas apresentaram valores médios de 7,55 e 7,72, respectivamente, com desvio padrão de 0,31 e 0,27.

Em reatores anaeróbios, o controle do pH em valores próximos a neutralidade é essencial para o bom funcionamento do sistema, ou seja, é necessário que exista capacidade de tamponamento. Todavia, a verificação sistemática da alcalinidade pode ser mais importante que a medição de pH. Isso se deve à escala logarítmica do pH, significando que pequenas reduções dessa variável podem significar o consumo de concentração considerável de alcalinidade, diminuindo a capacidade de tamponamento do meio. Como pode-se perceber na Tabela 1, o valor de alcalinidade total foi semelhante no afluente e no efluente.

Agdag e Sponza (2005) afirmam que a adição de alcalinidade para melhoria da eficiência da digestão anaeróbia é válida, porém devem ser avaliados os custos relacionados a essa adição que serão embutidos ao sistema de tratamento. Assim, é desejável que o efluente a ser tratado possua valores elevados de alcalinidade, sendo que dessa forma, elevadas concentrações de ácidos orgânicos poderiam ser tamponadas, sem a necessidade de se acrescentar produtos químicos para a complementação da mesma, representando também, uma vantagem econômica. Essa condição foi apresentada pelo efluente a ser tratado nessa pesquisa. Além disso, a própria digestão anaeróbia pode produzir alcalinidade, através de reações de degradação de ácidos orgânicos voláteis e proteínas. Essa produção de alcalinidade, somada às concentrações do afluente ao filtro, podem garantir o tamponamento do sistema.

Em relação aos resultados da desinfecção ultravioleta, das nove amostragens realizadas, duas apresentaram concentração de *E. coli* na ordem de 10<sup>0</sup> NMP/100mL, enquanto nas outras sete, não foi detectada a presença desse microrganismo. Friedler e Gilboa (2010), estudando o uso de radiação ultravioleta na desinfecção de águas cinza para o reuso em vasos sanitários, chegaram a resultados semelhantes aos do presente estudo,

atingindo remoção de 100% para *E. coli*. Os mesmos autores afirmaram que os riscos a saúde a partir do uso de águas cinza devidamente desinfetadas dessa forma podem ser considerados insignificantes. As remoções de sólidos suspensos e turbidez maiores que 70% contribuíram para a eficácia da desinfecção. Winward et al (2008), estudando os efeitos de sólidos suspensos na desinfecção, afirmam que essas partículas suspensas podem formar associados com organismos indicadores, dificultando a desinfecção.

## CONCLUSÕES

A qualidade das águas cinza em aeroportos é influenciada por diversos fatores como a qualidade da água de abastecimento e os usos a que são destinadas. A unidade de tratamento de águas cinza avaliada, composta por filtro anaeróbio seguido de desinfecção ultravioleta apresentou elevados valores de remoção. O filtro foi capaz de remover matéria orgânica, sólidos suspensos e óleos e graxas, enquanto o dispositivo de desinfecção foi capaz de reduzir eficientemente as concentrações de *E. coli*. Muito embora diversos tratamentos avançados sejam utilizados em outras regiões do planeta, essa pesquisa mostrou que é possível tratar águas cinza produzidas em ambientes aeroportuários através de tecnologias simples operacionalmente, e de baixo custo.

Diante do que foi exposto, conclui-se que o reuso de águas cinza em aeroportos deve ser fortemente incentivado, uma vez que o tratamento não representa limitação para a adoção dessa prática.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Agdag, O.M.; Sponza, D. T. (2005). Effect of alkalinity on the performance of a simulated landfill bioreactor digesting organic solid waste. *Chemosphere*, 59. pp. 871-879.
2. APHA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21.ed. Washington DC: APHA, 2005.
3. Brasil. Programa de Pesquisa em Saneamento Básico – PROSAB. Desinfecção de efluentes sanitários, remoção de organismos patogênicos e substâncias nocivas. Aplicações para fins produtivos como agricultura, aquicultura e hidroponia. FINEP/PROSAB. Rio de Janeiro, 438p., 2003.
4. Elmitwalli, T. A., Otterpohl, R. Anaerobic biodegradability and treatment of grey water in upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor. *Water Research*, 41. pp. 1379 – 1387. 2007.
5. Eriksson, E.; Auffarh, K. Henze, M. Ledin, A. Characteristics of grey wastewater. *Urban Water*, 4. pp. 85 – 104. 2002.
6. Friedler, E., Gilboa, Y. Performance of UV disinfection and the microbial quality of greywater effluent along a reuse system for toilet flushing. *Science of the Total Environment*, 408. pp. 2109 – 2117. 2010.
7. Gannoun, H., Bouallagui, H., Okbi, A., Hamdi, M. Mesophilic and thermophilic anaerobic digestion of biologically pretreated abattoir wastewaters in an upflow anaerobic filter. *Journal of Hazardous Materials*. 170 (1), 263–271. 2009.
8. Gilboa, Y., Friedler, E. UV disinfection of RBC-treated light greywater effluent: Kinetics, survival and regrowth of selected microorganisms. *Water Research*, 42. pp. 1043 – 1050. 2008.
9. Guo, M.; Hu, H.; Liu, W. Preliminary investigation on safety of post-UV disinfection of wastewater: bio-stability in laboratory-scale simulated reuse water pipelines. *Desalination*. 239, 22 – 28. 2009.
10. Hernández Leal, L., Temmink, H., Zeeman, G., Buinman, C. J. N. Bioflocculation of grey water for improved energy recovery within decentralized sanitation concepts. *Bioresource Technology*, 101. pp. 9065 – 9070. 2010.
11. Hernández Leal, L., Temmink, H., Zeeman, G., Buisman, C. J. N. Characterization and anaerobic biodegradability of grey water. *Desalination*, 270. pp. 111 – 115. 2011.
12. HKIA, HONG KONG INTERNATIONAL AIRPORT. Water management (2010).
13. INFRAERO – Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária, 2011. Disponível em: <http://www.infraero.gov.br/index.php/br/aeroportos/minas-gerais/aeroporto-de-tancredo/complexo-aeroportuario.html>. Acesso em 15 de set de 2011.
14. Lee, M.W., Joung, J.Y., Lee, D.S., Park, J.M., Woo, S.H. Application of a movingwindow- adaptive neural network to the modeling of a full-scale anaerobic filter process. *Industrial and Engineering Chemistry Research*. 44, p 3973–3982. 2008.
15. Li, F., Wichmann, K., Otterpohl, R. Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses. *Science of the Total Environment*, 407. pp. 3439 – 3449. 2009.

16. Long, J.H., de los Reyes III, F. L., Ducoste, J. J. Anaerobic co-digestion of fat, oil, and grease (FOG): A review of gas production and process limitations. *Process Safety and Environmental Protection* (2011), doi:10.1016/j.psep.2011.10.001
17. Misra, R. K., Patel, J. H., Baxi, V. R. Reuse potential of laundry greywater for irrigation based on growth, water and nutrient use of tomato. *Journal of Hydrology*, 386. pp. 95 – 102. 2010.
18. NIAC, NARITA INTERNATIONAL AIRPORT CORPORATION. 2010. Narita Airport Environment Report 2010.
19. RLVA, ROME LEONARDO DA VINCI AIRPORT. Environment Report 2010 (2010).
20. Santos, C., Taveira-Pinto, F., Cheng, C. Y., Leite, D. Development of an experimental system for greywater reuse, *Desalination* (2011), doi:10.1016/j.desal.2011.10.017.
21. Winward, G. P., Avery, L. M., Stephenson, T., Jefferson, B. Chlorine disinfection of grey water for reuse: Effect of organics and particles. *Water Research*, 42. pp. 483 – 491. 2008.