



Utilização de lâmpadas germicidas na desinfecção de esgoto sanitário

(<http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.845>)

Patrícia Bilotta; Luiz Antonio Daniel

Departamento de Hidráulica e Saneamento (EESC/SHS), Universidade de São Paulo (USP), São Carlos, SP
email pb.bilotta@gmail.com; ldaniel@sc.usp.br

RESUMO

O objetivo deste estudo foi investigar a eficiência de lâmpadas germicidas no tratamento terciário de esgoto sanitário no controle de patógenos. O desempenho do reator fotoquímico utilizado nos ensaios foi monitorado em análises microbiológicas para quantificação de *E. coli* (indicador de bactérias), *C. perfringens* (indicador de protozoários) e colifagos (indicador de vírus). Os experimentos foram realizados com efluente proveniente de um reator UASB instalado na ETE-USP campus São Carlos submetido a um filtro biológico submerso aerado e um reator fotoquímico com radiação UV em 254 nm. Os resultados revelaram que os indicadores colifagos e *E. coli* apresentaram a menor resistência à radiação UV, alcançando remoção entre 1,70 a 3,90 log e 1,60 a 5,20 log, respectivamente. O indicador *C. perfringens* se mostrou bem mais resistente ao efeito das lâmpadas germicidas, atingindo valores entre 0,0 (ausência de inativação) e 1,30 log. Para concentrações de SST acima de 100,0 mg.L⁻¹, o efeito das lâmpadas germicidas passou a ser menos acentuado. Na prática foi possível notar resultados significativos, mesmo nos ensaios com concentrações de SST de 135,0 mg.L⁻¹. A abordagem experimental forneceu meios para comprovar a eficácia do método combinado para inativar agentes patogênicos normalmente encontrados em esgoto doméstico. Além de atender aos padrões estabelecidos pela legislação brasileira, o efluente final está de acordo com as orientações definidas pela OMS. Portanto, é possível a reutilização do efluente final para irrigação irrestrita, embora haja a necessidade de exames complementares.

Palavras-chave: desinfecção; indicadores patogênicos; radiação UV; esgoto sanitário.

Use of germicidal lamps in the disinfection of sanitary wastewater

ABSTRACT

The objective of this study was to investigate the efficiency of germicidal lamps in the tertiary treatment of sewage to control pathogens. The performance of the photochemical reactor used in the tests was monitored by microbiological analyses to quantify *E. coli* (bacteria indicator), *C. perfringens* (protozoa indicator), coliphages (virus indicator). The experiments were performed with effluent from an UASB reactor installed at the WTP- USP São Carlos campus subjected to an aerated submerged biological filter and a photochemical reactor with radiation UV at 254 nm. The results showed that the indicators coliphages and *E. coli* showed the least resistance to UV radiation reaching removal from 1.70 to 3.90 log and 1.60 to 5.20 log, respectively. On the other hand, the indicator *C. perfringens* was more resistant to the effect of germicidal lamps reaching values between 0.0 (no inactivation) and 1.30 log. For SST concentrations greater than 100.0 mg.L⁻¹, the effect of the germicidal lamps became less pronounced. However, in practice it was possible to notice significant results in tests with TSS concentrations of 135.0 mg.L⁻¹. The experimental approach proved the

usefulness of the combined method for inactivating pathogens commonly found in domestic sewage. Besides meeting the standards established by the Brazilian regulation, the final effluent is in agreement with the guidelines defined by WHO. This allows the reuse of the final effluent for unrestricted irrigation, although complementary examination must be performed.

Keywords: disinfection; pathogen indicators; UV radiation; wastewater.

1. INTRODUÇÃO

A crescente demanda por fontes de água para consumo humano e industrial, aliada ao contínuo comprometimento da qualidade da água em mananciais de abastecimento, tem incentivado a busca por procedimentos mais adequados para reduzir a poluição dos recursos hídricos, com vistas ao desenvolvimento socioeconômico e a sustentabilidade ambiental.

Nesse contexto, a saúde pública é sem dúvida um aspecto de grande importância. O contato humano com águas contaminadas por esgoto doméstico é apontado pela Organização Mundial da Saúde (OMS) como a principal fonte de proliferação de doenças graves causadas por bactérias, vírus e protozoários. Por essa razão, a etapa de desinfecção do esgoto sanitário, antes de seu lançamento em corpos d'água, é particularmente importante.

Dentre as técnicas utilizadas no controle de microrganismos diversos pode-se destacar o uso de lâmpadas germicidas com emissão de radiação na região ultravioleta. As principais vantagens dessa tecnologia são: a relativa simplicidade de operação e funcionamento, a não formação de subprodutos tóxicos, tais como os compostos halogenados (THM's) comumente gerados durante a cloração, e a possibilidade de instalação do sistema fotoquímico em um espaço físico reduzido (Lazarova et al., 1999; Chin e Berube, 2005; Koivunen e Heinonen-Tanski, 2005).

Estudos reportam ainda o uso de lâmpadas germicidas em conjunto com a aplicação de desinfetantes químicos, como ozônio, peróxido de oxigênio, cloro, dentre outros, no controle de indicadores microbiológicos, tanto no tratamento de água de abastecimento quanto águas residuárias. Sistemas com mais de um agente de desinfecção juntamente com a radiação UV são particularmente indicados na inativação de microrganismos mais resistentes a um único estágio de desinfecção, como é o caso do protozoário *Cryptosporidium*. A eficiência da combinação de agentes desinfetantes está associada ao efeito sinérgico desencadeado na primeira etapa de desinfecção, cuja ação potencializa os resultados da segunda etapa de desinfecção, promovendo um incremento na inativação (Lotierzo et al., 2003; Wang et al., 2006; Bilotta e Daniel, 2007, 2010).

O efeito germicida das lâmpadas UV é devido à energia associada ao comprimento de onda 254 nm ($472,3 \text{ kJ.mol}^{-1}$), responsável por provocar alterações no DNA e RNA nas células atingidas. As lesões decorrentes de modificações no RNA são menos expressivas, pois o RNA é encontrado no interior da célula na forma de RNA mensageiro, transportador e ribossômico, possibilitando sua reparação (Bitton, 1994; WEF, 1996). Já a unicidade do DNA no interior celular o torna alvo de lesões muitas vezes irreversíveis, provocadas principalmente pela dimerização de bases nitrogenadas, as quais podem originar organismos debilitados e não hábeis à sua replicação e sobrevivência, aumentando a eficiência de inativação de patógenos, tanto no tratamento de água de abastecimento quanto esgoto doméstico (WEF, 1996; USEPA, 1999).

O produto entre a "Intensidade de Radiação" e o "Tempo de Exposição" é definido por "Dosagem de Radiação Aplicada". A literatura científica tem reportado que efluentes secundários e terciários necessitam de dosagens de radiação UV entre 30,0 e 45,0 mW.s.cm^{-2} para garantir redução de 3,0 a 5,0 log no número de coliformes fecais, coliformes totais e

Streptococcus faecalis sobreviventes. Entretanto, doses maiores podem ser necessárias para efluentes com elevada concentração de sólidos em suspensão (acima de $100,0 \text{ mg.L}^{-1}$), devido ao efeito de barreira que dificulta a passagem da radiação, ou mesmo para efluentes com elevada contaminação (em termos do número de microrganismos) ou ainda frente a microrganismos mais resistentes à radiação UV (Moreno et al., 1997; Andreadakis et al., 1999; Li et al., 2009).

Segundo Lazarova et al. (1999), bactérias *Escherichia coli* e *Staphylococcus*, bem como vírus *Coxsackie A2* e poliovírus, apresentaram elevada sensibilidade à radiação UV, enquanto bactérias colifago MS2 são mais resistentes, exigindo dosagens entre $100,0$ e $200,0 \text{ mW.s.cm}^{-2}$ para reduzir de 3,0 a 5,0 log o número de organismos sobreviventes.

Neste estudo foi avaliado o desempenho de um reator fotoquímico com lâmpadas germicidas para verificar sua capacidade de inativação de bactérias, vírus e protozoários em esgoto sanitário efluente de uma estação de tratamento operada em escala plena.

O uso de agentes germicidas, em particular de lâmpadas germicidas, no controle de patógenos em esgoto doméstico, além de disponibilizar meios para atender às determinações da legislação ambiental brasileira para descarte do efluente tratado em corpos d'água, com base das resoluções CONAMA 357/2005 e CONAMA 430/2011, também possibilita a adequação da qualidade do efluente final para o seu reuso na irrigação (Liberti e Notarnicola, 1999; Blumenthal et al., 2000; Brasil, 2005; WHO, 2006; Brasil, 2011).

2. MATERIAIS E MÉTODO

Para a alimentação da instalação piloto foi utilizado esgoto sanitário efluente de um reator de configuração UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*), em fluxo contínuo de operação, construído em escala real na Estação de Tratamento de Esgoto da Universidade de São Paulo, campus São Carlos. O tempo de detenção hidráulica no reator anaeróbio foi 12 h. A Figura 1 mostra o fluxograma das etapas de tratamento do efluente nos ensaios com UV.

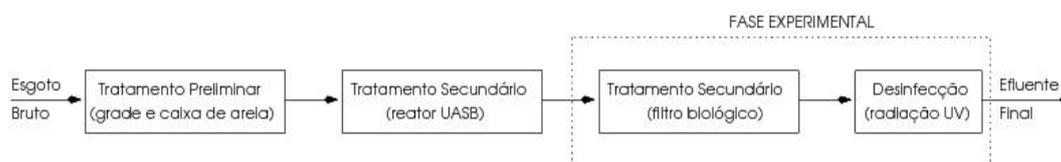


Figura 1. Fluxograma das principais etapas de tratamentos utilizados na pesquisa.

Sendo assim, ao utilizar a configuração indicada na Figura 1 foi possível avaliar o efeito da radiação UV na desinfecção de esgoto sanitário proveniente de uma estação de tratamento em escala plena, com características físico-químicas bastante variáveis (típico de ETE's), de grande valia para a simulação do desempenho do sistema proposto sob condições reais de operação (Bilotta, 2006).

O tratamento secundário é composto por um reator UASB seguido de um filtro biológico submerso mantido sob aeração permanente a $50,0 \text{ kPa}$. O biofiltro foi preenchido com carvão ativado granular (porosidade 53,5%) para otimizar a fixação de biomassa ativa e, assim, favorecer a decomposição da matéria orgânica residual proveniente do reator UASB. O objetivo deste procedimento é minimizar a presença de sólidos em suspensão para reduzir o efeito de bloqueio dessas partículas à incidência da radiação sobre o microrganismo (Bilotta, 2006). A Figura 2 ilustra o biofiltro aeróbio utilizado no tratamento secundário da fase experimental.

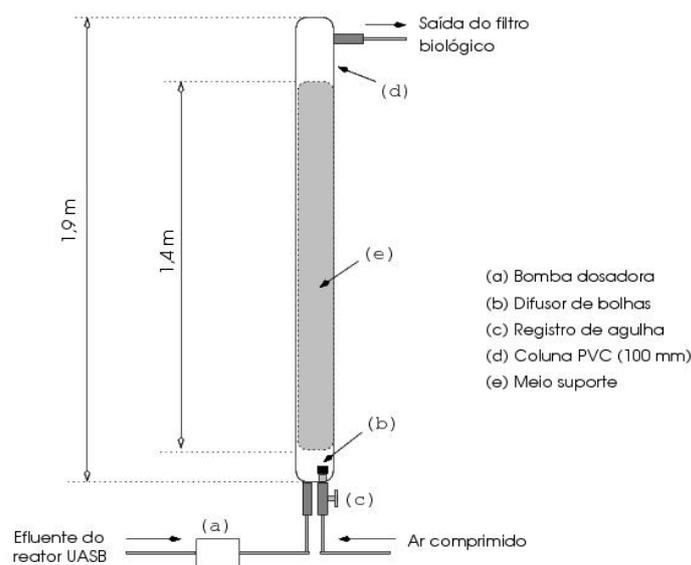


Figura 2. Filtro biológico aeróbio para o tratamento secundário.

A carga orgânica aplicada ao filtro foi de $36,9 \text{ kg DQO} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$. O carvão ativado utilizado como meio suporte possui diâmetro médio de $3,62 (\pm 0,38) \text{ mm}$ e massa específica de $1,79 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$. O filtro biológico foi mantido em regime contínuo de operação durante o período de realização dos experimentos e o tempo de detenção foi estabelecido em 4,6 horas.

Para os ensaios de desinfecção foram utilizadas lâmpadas germicidas Phillips (modelo G15-T8) de longa duração e baixa pressão de vapor de mercúrio (potencial nominal 15,0 W) com 85% da energia emitida em 254 nm. O reator fotoquímico foi construído em aço inoxidável e está indicado na Figura 3.

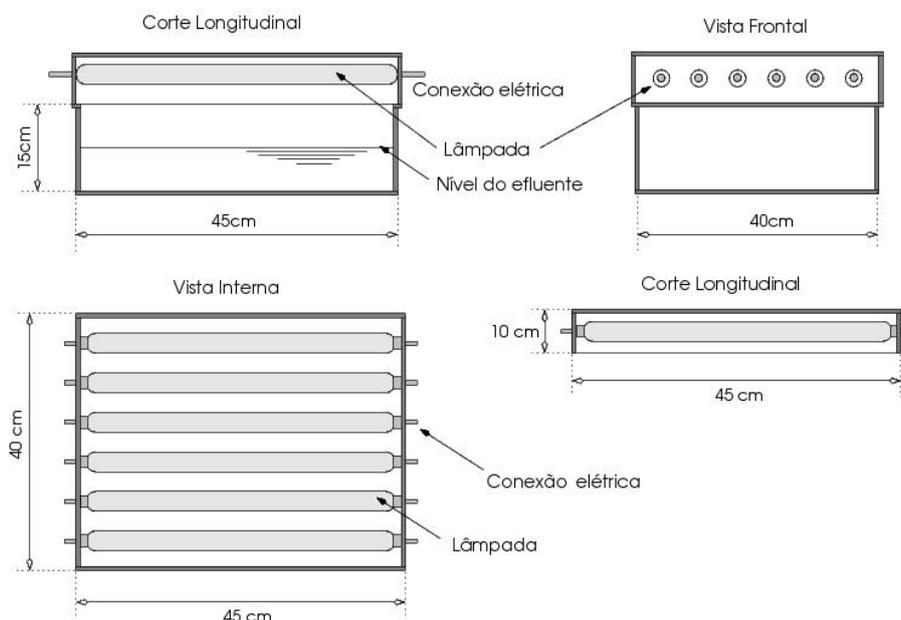


Figura 3. Instalação piloto para os ensaios com as lâmpadas germicidas.

A intensidade média de radiação UV emitida pelo conjunto de lâmpadas foi estimada pelo método radiométrico com equipamento UVX Radiometer, que possui um sensor capaz de quantificar a energia luminosa em 254 nm (Bilotta, 2006).

Os ensaios realizados no filtro biológico aerado foram desenvolvidos em regime de operação contínua, enquanto os ensaios de desinfecção no reator fotoquímico foram executados em batelada. A Tabela 1 mostra as condições operacionais aplicadas a este estudo.

Tabela 1. Condições operacionais utilizadas na fase experimental.

| Filtro Biológico | Reator Fotoquímico |
|--|---|
| Tempo de detenção: 4,6 h | Tempo de contato: 60 e 120 s |
| Aeração: 50,0 kPa | Intensidade média: 4,5 mW.cm ⁻² |
| Vazão de efluente: 6,8 m ³ .h ⁻¹ | Dose média efetiva: 123,0 e 247,0 mW.s.cm ⁻² |
| | Número de lâmpadas: 6 |
| | Volume de efluente: 5,4 l |
| | Lâmina líquida: 3,0 cm |

Os experimentos foram seguidos de análises físico-químicas e microbiológicas para caracterização qualitativa e quantitativa das amostras coletadas nos seguintes pontos: a) saída do reator UASB, b) saída do filtro biológico, c) após a etapa de desinfecção no reator fotoquímico.

A eficiência do sistema foi monitorada por meio de análises microbiológicas para quantificação de *Escherichia coli* (indicador de bactérias), *Clostridium perfringens* (indicador de protozoários) e colifagos (indicador de vírus). A Tabela 2 relaciona as análises e metodologias utilizadas na caracterização das amostras.

Tabela 2. Métodos analíticos para caracterização das amostras.

| Procedimentos de Análise ^[a] |
|---|
| Demanda Química de Oxigênio (DQO) : Método refluxo fechado (APHA et al., 1995) |
| Sólidos Suspensos Totais (SST) : Método gravimétrico (APHA et al., 1995) |
| pH : Método de titulação potenciométrica (APHA et al., 1995) |
| <i>Clostridium perfringens</i> : Método de tubos múltiplos - CETESB L5.213 (CETESB, 1990) |
| Colifagos : Método de contagem de placas - CETESB LS.225 (CETESB, 1993) |
| <i>Escherichia coli</i> : Método membranas filtrantes - <i>Chromocult</i> ® (APHA et al., 1995) |
| Absorbância : Método espectrofotométrico em 254 nm (APHA et al., 1995) |

^[a] Os procedimentos utilizados na análise das amostras coletadas estão detalhadamente descritos nas referências indicadas na Tabela 2.

Nas análises microbiológicas foram utilizadas cepas de *E. coli* ATCC 11229, além de *C. perfringens* ATCC 13124 e *E. coli* CIP 55.30 (para os colifagos). Na repicagem e preservação das cepas de *E. coli* utilizou-se meio de cultura Tryptic Soy Broth (TSB) e para os fagos foram utilizados meios TSB e TSA (Tryptic Soy Agar) modificado. Ainda, para a quantificação de *E. coli* foi utilizada a técnica de filtração em membranas preparadas com meio Chromocult Coliform Agar (Merck n. 1.10426).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base nos resultados dos exames microbiológicos foi elaborada a Tabela 3. O termo “No” representa o número de microrganismos sobreviventes na saída do tratamento biológico (após o biofiltro), correspondendo à condição inicial, enquanto o termo “N” indica o número de sobreviventes após a aplicação da radiação UV, indicando a condição final.

Tabela 3. Variação da população de *Escherichia coli*, colifagos e *Clostridium perfringens*.

| | Ensaio | Efluente | Efluente | Sobreviventes ^[a] | | - Log N/No | |
|---------------------------------------|--------|---------------------|---------------------|------------------------------|---------------------|------------|------|
| | | | | T | | T | |
| | | | | 60 | 120 | 60 | 120 |
| <i>C. perfringens</i> (NMP/100 ml) | 1 | 8,0.10 ² | 8,0.10 ² | 60,0 | 40,0 | 1,12 | 1,30 |
| | 2 | 1,1.10 ³ | 1,1.10 ³ | 5,0.10 ² | 5,0.10 ² | 0,34 | 0,34 |
| | 3 | 3,3.10 ³ | 3,4.10 ³ | 8,0.10 ² | 6,0.10 ² | 0,61 | 0,75 |
| | 4 | 1,1.10 ⁴ | 1,7.10 ⁴ | 1,7.10 ³ | 1,0.10 ² | 0,81 | 2,23 |
| | 5 | 1,0.10 ³ | 1,0.10 ³ | 1,0.10 ³ | 1,0.10 ³ | 0,00 | 0,00 |
| Colifagos (UFP/100 ml) | 1 | 1,0.10 ³ | 1,0.10 ³ | 20,0 | 5,0 | 1,70 | 2,30 |
| | 2 | 7,5.10 ² | 7,0.10 ² | 10,0 | < 1,0 | 1,87 | 2,84 |
| | 3 | 3,0.10 ² | 3,0.10 ² | < 1,0 | 20,0 | 2,48 | 1,18 |
| | 4 | 8,1.10 ³ | 7,6.10 ³ | < 1,0 | < 1,0 | 3,90 | 3,88 |
| | 5 | 2,5.10 ³ | 2,3.10 ³ | < 1,0 | < 1,0 | 3,40 | 3,36 |
| <i>E. coli</i> (UFC/100 ml) | 1 | 5,0.10 ⁵ | 1,6.10 ⁵ | 3,0.10 ² | 4,0.10 ³ | 3,22 | 1,60 |
| | 2 | 3,2.10 ⁵ | 4,0.10 ⁴ | 20,0 | 1,0.10 ² | 4,20 | 2,60 |
| | 3 | 1,6.10 ⁵ | 1,0.10 ⁵ | < 1,0 | < 1,0 | 5,20 | 5,00 |
| | 4 | 1,2.10 ⁵ | 5,4.10 ⁵ | 70 | 100 | 3,23 | 3,73 |
| | 5 | 3,9.10 ⁵ | 5,4.10 ⁵ | 103 | 7,0.10 ³ | 3,59 | 1,89 |

^[a] Número de indivíduos sobreviventes à radiação UV.

T: Tempo de contato (segundos).

No: Efluente do filtro biológico. **N:** Efluente do reator fotoquímico.

Amostras com número de sobreviventes inferior a 1,0 (Tabela 3) indicam sobrevivência abaixo do limite mínimo de detecção do método analítico utilizado para quantificar atividade metabólica e reprodutiva dos indicadores patogênicos investigados, representando, portanto, ausência de contaminação.

De acordo com a Tabela 3, os indicadores colifagos e *E. coli* apresentaram a menor resistência ao efeito da radiação UV, alcançando remoção entre 1,70 a 3,90 log e 1,60 a 5,20 log, respectivamente, com dosagens de apenas 123,0 e 247,0 mW.s.cm⁻², para os tempos de contato de 60 e 120 s. Por outro lado, o indicador *C. perfringens* se mostrou bem mais resistente a ação das lâmpadas germicidas, atingindo valores entre 0,0 (ausência de inativação) e 1,30 log. Sendo assim, para o indicador *Clostridium perfringens* os resultados apontam para a necessidade de utilizar dosagens mais elevadas de radiação UV (seja pelo aumento do número de lâmpadas ou do tempo de contato) para se obter redução superior aos valores alcançados com a aplicação de 247,0 mW.s.cm⁻².

Os resultados obtidos estão de acordo os valores descritos por Andreadakis et al. (1999) na inativação de coliformes totais em efluente secundário (99,99% de eficiência com dosagem de 120,0 mW.s.cm⁻²) e nos resultados relatados por Lazarova et al. (1999) na inativação de coliformes fecais e *Streptococcus faecalis* (99,9 e 99,999% de eficiência com dosagem de 30,0 e 45,0 mW.s.cm⁻²).

A partir dos resultados apresentados na Tabela 3 foram construídos os gráficos indicados na Figura 4, que descrevem a variação da população de *Escherichia coli*, colifagos e *Clostridium perfringens* sobreviventes a ação das lâmpadas germicidas (em termos de Log N/No) para os 5 ensaios nos 2 tempos de contato investigados.

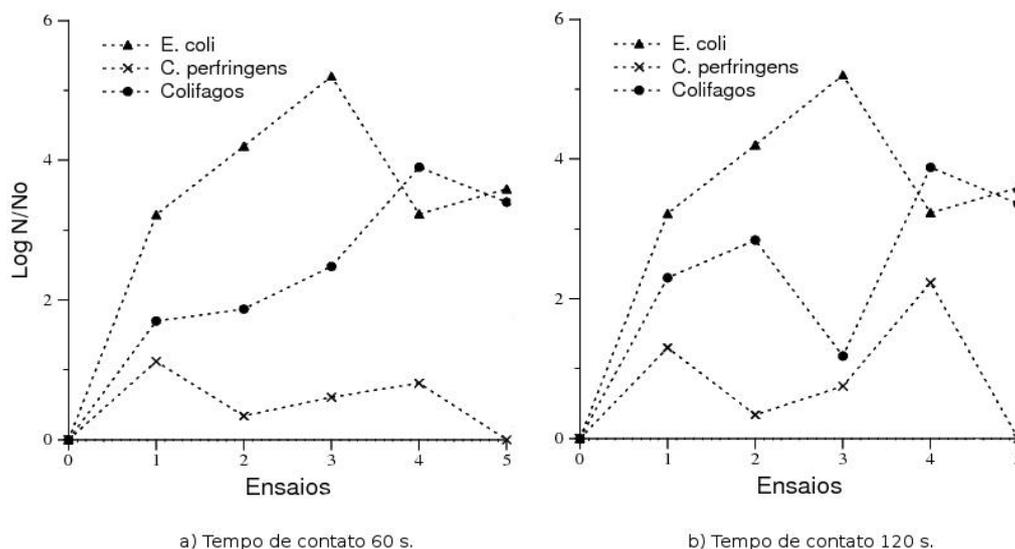


Figura 4. Representação gráfica da variação de microrganismos sobreviventes.

Em relação à dosagem aplicada, pode-se verificar que não houve variação significativa na eficiência de inativação com o aumento do tempo de exposição às lâmpadas germicidas de 60 para 120 s. Nesse sentido, estudos complementares são sugeridos para se investigar a eficiência do reator fotoquímico em dosagens superiores às utilizadas nesta pesquisa (Tabela 1), inclusive para se identificar as condições mais favoráveis para o aumento da eficiência de inativação do indicador de protozoários (*Clostridium perfringens*).

A Tabela 4 mostra os resultados das análises físico-químicas realizadas a partir das amostras coletadas nos 5 ensaios no reator fotoquímico. A leitura de absorbância das amostras no comprimento de onda 254 nm revelou os seguintes resultados: 0,254 ($\pm 0,06$) para os ensaios com 60 s de exposição à radiação UV e 0,246 ($\pm 0,07$) para os ensaios com 120 s. Experimentos realizados por Bilotta (2006) mostram que a eficiência do reator fotoquímico não foi afetada quando a variação da absorbância se manteve entre 0,159 e 0,320, para ensaios combinados com radiação UV e ozônio. Sendo assim, nos ensaios de desinfecção com 60 e 120 s de exposição, a absorbância atingiu valores dentro da faixa aceitável e não interferiu no desempenho do sistema.

Tabela 4. Variação dos parâmetros DQO, concentração de SST e pH.

| Teste | Efluente | | | Efluente | | | Efluente Final | | | |
|-------|------------------------------|------------------------------|-----|------------------------------|------------------------------|-----|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| | Reator UASB | | | Filtro Biológico | | | 60 (s) | | 120 (s) | |
| | DQO (mg.L ⁻¹) | SST (mg.L ⁻¹) | pH | DQO (mg.L ⁻¹) | SST (mg.L ⁻¹) | pH | DQO (mg.L ⁻¹) | SST (mg.L ⁻¹) | DQO (mg.L ⁻¹) | SST (mg.L ⁻¹) |
| 1 | 61 | 149 | 7,1 | 101 | 91 | 7,4 | 125 | 23 | 78 | 106 |
| 2 | 117 | 14 | 6,8 | 85 | 87 | 6,4 | 158 | 73 | 163 | 135 |
| 3 | 47 | 17 | 6,7 | 55 | 20 | 3,6 | 82 | 33 | 49 | 41 |
| 4 | 97 | 60 | 6,0 | 70 | 47 | 6,0 | 128 | 70 | 100 | 68 |
| 5 | 46 | 31 | 7,1 | 43 | 44 | 7,0 | 60 | 27 | 57 | 21 |

Os resultados físico-químicos indicados na Tabela 4 confirmam a variação da qualidade do efluente secundário em termos dos parâmetros DQO e concentração de sólidos suspensos (DQO: mínimo 49,0 e máximo 158,0 mg.L⁻¹ e SST: mínimo 23,0 e máximo 135,0 mg.L⁻¹). Portanto, os resultados obtidos com as lâmpadas germicidas revelam a eficiência do sistema fotoquímico mesmo em condições desfavoráveis decorrentes da presença de matéria orgânica em suspensão. Essas partículas agem como barreira e impedem a livre passagem da radiação em direção ao alvo, o microrganismo, reduzindo a eficácia das lâmpadas germicidas.

Para concentrações de SST acima de 100,0 mg.L⁻¹ o efeito germicida da radiação UV passa a ser menos efetivo (Lazarova et al., 1999; Wang et al., 2006). Além disso, estudos realizados por Li et al. (2009) para verificar o efeito de partículas na eficiência da desinfecção com radiação UV, em efluente secundário de uma ETE, alcançaram inativação de 1,5 log com 24,0 mW.s.cm⁻² e 1,7 log com 40 mW.s.cm⁻² para protozoários. Comparando-se os dados das Tabelas 3 e 4 é possível notar resultados significativos mesmo nos ensaios com concentrações de SST de 135,0 mg.L⁻¹, como mostra o ensaio 2 com tempo de contato 120 s.

Assim, as variações observadas entre os 5 ensaios (Tabelas 3 e 4) podem estar conjuntamente associadas aos seguintes aspectos: dificuldade na obtenção de alíquotas absolutamente representativas das amostras analisadas, visto o grande número de diluições requeridas nos exames microbiológicos; variação da qualidade do efluente anaeróbio (particularmente a concentração de sólidos em suspensão), comum em estações de tratamento de esgoto sanitário em escala plena; e oscilações no desempenho do equipamento fotoquímico, em razão de flutuações na energia fornecida pela rede elétrica local.

4. CONCLUSÃO

Com base nos resultados e discussões apresentadas, pode-se concluir que o uso de lâmpadas germicidas com emissão de radiação em 254 nm se mostrou bastante positivo no controle de indicadores patogênicos no tratamento terciário de esgoto doméstico. Os experimentos revelaram a elevada potencialidade técnica do reator fotoquímico para a inativação de colifagos e *Escherichia coli*, alcançando remoção entre 1,70 a 3,90 log e 1,60 a 5,20 log, respectivamente, com dosagens correspondentes a 123,0 e 247,0 mW.s.cm⁻².

A espécie *Clostridium perfringens*, por outro lado, se revelou mais resistente à ação germicida das lâmpadas, considerando-se as condições experimentais aplicadas. Desse modo, estudos complementares são sugeridos no sentido de se verificar o comportamento do indicador *Clostridium perfringens* para dosagens acima de 247,0 mW.s.cm⁻² (intensidade das lâmpadas e tempo de contato).

Portanto, a técnica descrita neste trabalho apresenta elevado potencial no tratamento terciário de esgoto sanitário, visando o controle de patógenos, em atendimento à legislação ambiental, para o seu descarte em corpos d'água, e ainda possibilita a adequação do efluente final às diretrizes estabelecidas pela Organização Mundial da Saúde (OMS) para o reuso de água (esgoto tratado) na irrigação, embora a necessidade de exames complementares como a quantificação da presença de helmintos.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho agradecem o auxílio financeiro concedido pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), Processo n.00/00640-5, que tornou possível a realização dessa pesquisa.

6. REFERÊNCIAS

- American Public Health Association - APHA; American Water Works Association - AWWA; Water Environment Federation - WEF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20. ed. New York, 1998.
- ANDREADAKIS, A.; MAMAI, D.; CHRISTOULAS, D.; KBYLAFKA, S. Ultraviolet disinfection of secondary and tertiary effluent in the mediterranean region. **Water Science & Technology**, v. 40, n. 4/5, p. 253-260, 1999. [http://dx.doi.org/10.1016/S0273-1223\(99\)00506-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0273-1223(99)00506-5)
- BILOTTA, P. **Inativação de indicadores patogênicos em sistemas combinados de tratamento e pré-desinfecção de esgoto sanitário**. 2006. 180f. Tese (Doutorado em Tratamento de Águas Residuárias) - Departamento de Hidráulica e Saneamento, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.
- BILOTTA, P.; DANIEL, L. A. Sequential application of ozone and UV radiation to eliminate resistant microbiological indicators. In: IWA SPECIALIST CONFERENCE ON WASTEWATER RECLAMATION AND REUSE, 6., 9-12 out. 2007, Antwerp. **Proceedings...** Antwerp: IWA, 2007.
- BILOTTA, P.; DANIEL, L. A. Advanced process of microbiological control of wastewater in combined system of disinfection with UV radiation. **Water Science & Technology**, v. 61, n. 10, p. 2469-2475, 2010. <http://dx.doi.org/10.2166/wst.2010.155>
- BITTON, G. **Wastewater microbiology**. New York: John Wiley & Sons, 1994. 280p.
- BLUMENTHAL, U. J.; MARA, D. D.; PEASY, A.; RUIZ-PALACIO, G.; STOTT, R. Guidelines for the microbiological quality of treated wastewater used in agriculture: recommendations for revising WHO guidelines. **World Health Organization**, Genève, v. 78, n. 9, p. 1104-1116, 2000.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução 357 de 18 de março de 2005**. Disponível em: <www.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>. Acesso em: 16 fev. 2012.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução 430 de 13 de maio de 2011**. Disponível em: <www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>. Acesso em: 16 fev. 2012.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA EM SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB. **Quantificação de colifagos em amostras de água (L5.225)**. Documento Técnico. São Paulo, 1990.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA EM SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB. ***Clostridium perfringens***: determinação em amostras de água pela técnica de tubos múltiplos (L5.213). Documento Técnico. São Paulo, 1993.
- CHIN, A.; BERUBE, P. R. Removal of disinfection byproduct precursors with ozone-UV advanced oxidation process. **Water Research**, v. 39, p. 2136-2144, 2005. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2005.03.021>
- KOIVUNEN, J.; HEINONEN-TANSKI, H. Inactivation of enteric microorganisms with chemical disinfectants, UV irradiation and combined chemical/UV treatment. **Water Research**, v. 39, p. 1519-1526, 2005. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2005.01.021>

- LAZAROVA, V.; SAVOYE, P.; JANEX, M. L.; BLATCHLEY, E. R.; POMMEPUY, M. Advanced wastewater disinfection technologies: state of the art and perspectives. **Water Science and Technology**, v. 40, n. 4/5, p. 203-213, 1999. [http://dx.doi.org/10.1016/S0273-1223\(99\)00502-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0273-1223(99)00502-8)
- LI, D.; CRAIK, S. A.; SMITH, D. W.; BELOSEVIC, M. The assessment of particle association and UV disinfection of wastewater using indigenous spore-forming bacteria. **Water Research**, v. 43, n. 2, p. 481-489, 2009. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2008.10.025>
- LIBERTI, L.; NOTARNICOLA, M. Advanced treatment and disinfection for municipal wastewater reuse in agriculture. **Water Science Technology**, v. 40, n. 4/5, p. 235-245, 1999. [http://dx.doi.org/10.1016/S0273-1223\(99\)00505-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0273-1223(99)00505-3)
- LOTIERZO, M.; FÉLIERS, C.; FAUREL, N.; LE GRAND, L.; SABY, S.; CERVANTES, P. Synergistic effects of sequential treatment by UV irradiation and chemical disinfectant for drinking water disinfection. In: UV WORLD CONGRESS, 2., 03-05 jul. 2003, Vienna. **Proceedings...** Vienna: IU Light Association, 2003.
- MORENO, B.; GONÍ, F.; FERNANDEZ, O.; MARTÍNEZ, J. A.; ASTIGARRAGA, M. The disinfection of wastewater by ultraviolet light. **Water Science Technology**, v. 35, n. 11/12, p. 233-235, 1997. [http://dx.doi.org/10.1016/S0273-1223\(97\)00264-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0273-1223(97)00264-3)
- UNITED STATES Environmental Protection Agency - USEPA. **Alternative disinfectants and oxidants guidance manual**: 815-R-99-014., Washington D.C., 1999. 346p.
- WANG, J. L.; WANG, L.; WANG, B. Z.; ZGHAN, J. S.; HUANG, W. Z. Suspended particle effects on ultraviolet light disinfection of effluent and the improvement. **Water Practice & Technology**, v. 1, n. 2, 183-192, 2006.
- WATER ENVIRONMENT FEDERATION - WEF. **Wastewater disinfection**: manual of practice. Alexandria, 1996. 230 p.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO. **Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater**. Vol 2: Wastewater use in agriculture. Genève, 2006.