

Avaliação do emprego da radiação ultravioleta na desinfecção de esgoto sanitário

Evaluation of the use of ultraviolet radiation to disinfect sewage

Jeanette Beber de Souza¹; Carlos M. de S. Vidal²; Grasielle S. Cavallini³; Larissa Quartaroli⁴; Lucas R. C. Marcon⁵

Resumo

A presente pesquisa teve como objetivo avaliar a potencialidade do uso da radiação ultravioleta (UV) como agente desinfetante de esgoto sanitário proveniente do tratamento biológico contendo concentrações de sólidos suspensos totais que variaram de 30 a 75 mg/L. Os ensaios de desinfecção foram realizados em um reator em escala de bancada de laboratório e a efetividade do processo foi avaliada empregando os microrganismos indicadores Coliformes Totais (CT) e *Escherichia coli*. Embora a baixa qualidade do efluente, no que se refere à presença de sólidos e turbidez, tenha limitado a eficiência do processo, os resultados da inativação de CT e E. coli variaram de valores menores que 1 log até 5 log de inativação com doses de radiação UV empregadas que variaram de 10,54 a 317,1 mWs.cm⁻², permitindo concluir sobre a viabilidade do uso desta tecnologia para desinfecção de efluentes secundários.

Palavras-chave: Tratamento de esgoto. Desinfecção. Radiação UV. E. coli. Coliformes Totais.

Abstract

The current research aimed to evaluate the potential to use the ultraviolet radiation (UV) as disinfectant agent of sewage coming from biological treatment having concentration of total suspended solids that varies from 30 to 75 mg/L. The disinfection tests were performed in a reactor in scale of laboratory work surface and the process effectiveness was evaluated applying total coliforms indicator microorganisms (TC) and *Escherichia coli*. Although the low quality of the effluent, as far as the presence of solids and turbidity is concerned has limited the process efficiency, the results of inactivation of TC and E.coli varied of values smaller than 1 log to 5 log of inactivation with dosages of UV applied radiation that varied from 10,54 to 317,1 mWs.cm⁻², allowing to conclude about the feasibility to use this technology to disinfect the secondary effluents.

Key words: Sewage treatment. Disinfection. UV radiation. E.coli. Total Coliforms.

¹ Docente do Departamento de Engenharia Ambiental da UNICENTRO; jeanettebeber@yahoo.com.br

² Docente do Departamento de Engenharia Ambiental da UNICENTRO; cacavidal@yahoo.com.br

³ Técnica do Lab. de Saneamento Ambiental e Qualidade da Água da UNICENTRO; grasiellesoares@gmail.com.br

⁴ Engenheira Ambiental; Mestre em Ciências Florestais pela UNICENTRO; larissaquartaroli@yahoo.com.br

⁵ Engenheiro Ambiental (UNICENTRO) Mestre e Doutorando em Hidráulica e Saneamento pela EESC/USP lukasmarcon@yahoo.com.br

Introdução

O lançamento contínuo de esgotos sanitários in natura ou indevidamente tratados nos corpos hídricos ocasiona poluição ambiental e riscos diversos à saúde humana, especialmente no que se refere à possibilidade de transmissão de doenças, tendo em vista os usos múltiplos conferidos aos corpos d'água como fontes de abastecimento, irrigação, recreação e reúso. Nesse sentido, a prática da desinfecção dos esgotos sanitários tem como objetivo o controle da qualidade microbiológica das águas.

O cloro é o desinfetante mais utilizado no Brasil e no mundo, tanto para desinfecção de água de abastecimento quanto de esgotos, sendo sua ampla utilização relacionada aos aspectos técnicos: facilidade de implementação, tecnologia mundialmente difundida, eficiência de inativação, principalmente bacteriana, assim como quanto ao aspecto econômico, por ser um desinfetante de baixo custo.

Entretanto, além da toxicidade provocada pelo lançamento de efluentes clorados às comunidades aquáticas dos corpos hídricos, a partir da década de 1970 o uso do cloro começou a ser questionado pela descoberta da formação dos trihalometanos (THMs) e outros subprodutos potencialmente cancerígenos à saúde humana e indesejáveis ao meio ambiente. Assim, a pesquisa por métodos de desinfecção alternativos ao cloro, dentre eles, a radiação ultravioleta ganhou, desde então, grande impulso na comunidade técnico-científica da área de tratamento de águas e efluentes.

A radiação UV, emitida por lâmpadas especiais, é um mecanismo físico no qual a inativação microbiana ocorre pela absorção da luz que promove uma reação fotoquímica capaz de alterar componentes moleculares essenciais para as funções celulares, causando danos nos ácidos nucleicos (DNA e RNA) dos microrganismos inativando-os (UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 1999).

A radiação UV apresenta como principais vantagens: simplicidade operacional, requisito mínimo de área para implementação, custo relativamente baixo (em comparação à cloração de esgotos que deve ser acompanhada de subsequente descloração, o que torna o custo da radiação UV competitivo), pouca exigência de operação e manutenção, eficácia de inativação para grande variedade de microrganismos, ausência do uso de produtos químicos e de geração de subprodutos tóxicos na água ou efluente final, sendo que, as poucas alterações que ocorrem na matéria orgânica pela ação da radiação UV não são prejudiciais à saúde humana nem ao meio ambiente (USEPA, 1999).

Até a década de 1990 (WHITE, 1992; DEMERS; RENNERT, 1992, apud USEPA, 1999) considerava-se a radiação UV como excelente alternativa para a inativação de microrganismos “mais fáceis” de serem inativados, tais como bactérias e vírus, enquanto que, para a inativação dos mais resistentes como os protozoários *Cryptosporidium* e *Giardia*, as doses requeridas deveriam ser muito elevadas, levando a considerações de que o uso dessa tecnologia não seria apropriado nesses casos, ou que se necessitaria da associação com outros agentes desinfetantes químicos como o ozônio ou o peróxido de hidrogênio para que a radiação UV fosse efetiva.

No entanto, após os estudos de Clancy et al. (1998), avaliados por meio de ensaios de infectividade em modelo animal (camundongo neonatal), foi demonstrada a elevada susceptibilidade dos oocistos de *Cryptosporidium parvum* à luz UV.

De acordo com Hijnen, Beerendonk e Medema (2006) que realizaram amplo estudo de revisão de literatura em trabalhos científicos que empregaram a radiação UV para diversos grupos de microrganismos, essa tecnologia é efetiva na inativação de todos os microrganismos patogênicos de interesse para águas de abastecimento, dentre eles *Cryptosporidium* e *Giardia*, que são usados

para se avaliar risco microbiológico e de segurança da qualidade da água.

Segundo os mesmos autores, os microrganismos mais resistentes à radiação UV são os vírus, especificamente Adenovirus e esporos bacterianos, além do protozoário *Acanthamoeba*. Enquanto que para a inativação de bactérias e (oo)cistos de *Cryptosporidium* e *Giardia*, intensidades de radiação UV menores que 20 mJ/cm² foram suficientes para obtenção de 3 unidades logarítmicas de redução.

A efetividade dos sistemas de desinfecção com radiação UV depende de fatores como: intensidade de radiação, tempo de exposição dos microrganismos, configuração do reator, além das características do líquido a ser desinfetado (USEPA, 1999).

Em relação à qualidade da água ou efluente a ser desinfetado, Daniel (2001) comentam que as partículas em suspensão podem servir de proteção aos microrganismos contra a radiação incidente, prejudicando ou mesmo impedindo a penetração da luz UV no meio líquido, assim, a qualidade do efluente em termos de turbidez, concentração de sólidos e matéria orgânica em suspensão ou coloidal, interferem na eficiência do processo.

Entretanto, a maioria dos dados de dose-resposta à desinfecção com UV reportados na literatura foram obtidos a partir de ensaios em reatores de bancada com microrganismos provenientes de culturas puras em água livre de partículas, o que não representa o que ocorre na prática (TEMPLETON et al., 2005).

Nesse sentido, é comum a situação real de ETEs que implantaram a radiação UV para desinfecção final de seus efluentes e que encontram-se inoperantes (na etapa da desinfecção) pela dificuldade técnica de se conciliar continuamente a manutenção da qualidade mínima do efluente com boa eficiência de inativação microbiana.

Neste estudo experimental investigou-se em escala de laboratório o uso da radiação UV para a desinfecção de esgoto proveniente de uma Estação

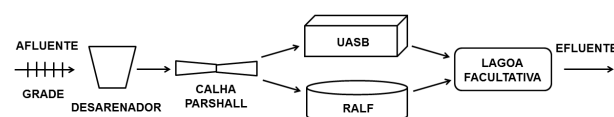
de Tratamento de Esgotos (ETE) constituída por tratamento biológico anaeróbio seguido de lagoa facultativa, empregando como indicadores para avaliar a efetividade do processo os microrganismos *Escherichia coli* e Coliformes Totais (CT).

Materiais e Métodos

Caracterização do efluente e esquema do reator UV

O efluente empregado para a realização desta pesquisa foi proveniente de uma Estação de Tratamento de Esgoto sanitário municipal (ETE) cujo fluxograma de tratamento é apresentado na Figura 1.

Figura 1 - Fluxograma da ETE.



Fonte: RALF: Reator Anaeróbio de Leito Fluidizado; UASB: *Upflow Anaerobic Sludge Blanket*.

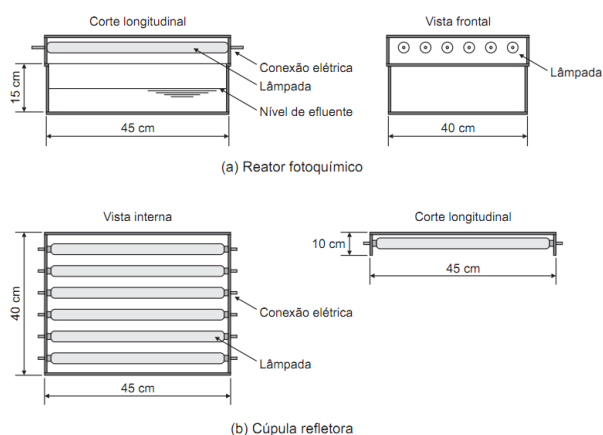
Foram realizadas 5 baterias de ensaios de desinfecção com radiação UV, doravante denominados ensaios: 1, 2, 3, 4, e 5 com amostras de efluentes coletadas sempre na saída da lagoa facultativa da ETE.

Inicialmente foi realizada a caracterização físico-química e bacteriológica do efluente de acordo com os procedimentos indicados no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1998), em que foram analisados os parâmetros: turbidez, cor aparente, cor verdadeira, série de sólidos, Demanda Química de Oxigênio (DQO) e densidade de coliformes totais (CT) e de *Escherichia coli*.

Os ensaios de desinfecção foram realizados em um reator de radiação UV de bancada, em regime de batelada. O reator, estruturado em aço inox com cúpula removível em alumínio, continha 6 lâmpadas

emersas de baixa pressão de vapor de mercúrio, da marca Philips, distanciadas entre si em 2,2 cm, com 15 W de potência nominal cada uma e interruptores individuais de energia. O esquema do reator UV empregado na pesquisa (com suas respectivas dimensões) está apresentado na Figura 2.

Figura 2 - Esquema do reator UV de bancada empregado na pesquisa



Fonte: Bilotta e Daniel (2007).

Durante os ensaios de desinfecção o reator UV foi mantido sobre um sistema de agitação magnética para impedir a sedimentação de sólidos suspensos e simular a aplicação da técnica em condições reais de operação [Souza, Sartori e Daniel (2000); Bilotta e Daniel (2007)].

Dose aplicada e dose efetiva de radiação UV

Nos experimentos com UV, a dose é o produto da intensidade de radiação pelo tempo de exposição conforme a Equação 1.

$$D = I.t \quad (\text{Equação 1})$$

Em que:

D = Dose de radiação ultravioleta (mW.s.cm^{-2});

I = Intensidade da radiação (mW.cm^{-2});

t = Tempo de exposição (s).

Entretanto, são duas as intensidades de radiação a serem consideradas nesse estudo: a intensidade média aplicada à superfície do reator, ou, aquela emitida pelo conjunto de lâmpadas, denominada de I_o e a intensidade média efetiva denominada de I_m que leva em conta a atenuação ocorrida devido à absorção de radiação pelo meio líquido.

A intensidade de radiação UV emitida pela fonte (I_o) foi medida com auxílio de um radiômetro (marca Vilber Loumart) com sensor que detecta a radiação UV no comprimento de onda de 254 nm.

A precisão das medidas feitas com radiômetros está associada à sensibilidade do equipamento, aos comprimentos de onda de interesse e ao número de medições realizadas em diferentes pontos do reator (DANIEL, 1993).

Assim, para se determinar I_o foi adotada uma malha de pontos equidistantes em 5 cm, totalizando 56 pontos de amostragem dentro do reator, sendo em cada ponto realizadas as medidas de intensidade de radiação, gerando dados que relacionavam largura x comprimento x intensidade de radiação. O software Surfer 6.0 foi utilizado para simular as iso-linhas de intensidade de radiação.

Para o cálculo de I_m deve-se levar em consideração a capacidade de absorção de energia pelos compostos químicos e demais substâncias presentes no esgoto como matérias dissolvidas e partículas em suspensão que atenuam a radiação ao longo da massa líquida a ser desinfetada (DANIEL, 2001).

Assim, para corrigir a absorbância do meio foi empregada a Equação 2.

$$\alpha = A \times \ln(10) = 2,303A \quad (\text{Equação 2})$$

Em que:

α = coeficiente de absorbância;

A = absorbância a 254 nm (cm^{-1}).

A absorbância a 254 nm foi medida em espectrofotômetro UV/VIS Varian Cary 50.

A intensidade média efetiva I_m foi calculada de acordo com a Equação 3 que segue a Lei de Beer-Lambert.

$$I_m = \frac{I_0}{\alpha \cdot L} \cdot (1 - e^{-\alpha L}) \quad (\text{Equação 3})$$

Em que:

I_m : intensidade média ($\text{mW} \cdot \text{cm}^{-2}$);

I_0 : intensidade de radiação UV emitida pela fonte ($\text{mW} \cdot \text{cm}^{-2}$);

α : coeficiente de absorção (cm^{-1});

L: espessura da lâmina líquida (cm).

Obtidas as intensidades médias efetivas foram calculadas as doses efetivas para cada ensaio de desinfecção, que representam o produto da intensidade efetiva de radiação pelo tempo de exposição (Equação 1).

Protocolo de ensaio

Para a realização dos ensaios de desinfecção numerados como: 1, 2, 3 e 4 foram utilizadas 6 lâmpadas ligadas e no ensaio 5 utilizaram-se 3 lâmpadas, que eram ligadas 30 minutos antes para aquecimento e estabilização. Os tempos de exposição empregados foram de 20, 40, 60, 90, 120, 180 e 300 segundos e a espessura da lâmina líquida (L) foi de 8 cm para todos os ensaios de desinfecção.

Após cada tempo de exposição, alíquotas do efluente eram coletadas para a realização dos exames microbiológicos de *E. coli* e CT empregando-se a técnica de filtração em membranas: Método 9222 (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, 1998), em membrana de nitrato celulose de tamanho de poro de $0,45 \mu\text{m}$ e meio de cultura microbiológico Chromocult® Coliform Agar (Merck Cat.No.1.10426).

Os exames microbiológicos foram realizados em duplicata e os resultados ora apresentados constituem sua média aritmética.

Resultados e Discussões

Determinação da dose de radiação UV

As intensidades de radiação UV não são homogêneas dentro do reator, seguindo a tendência de formação das iso-linhas de radiação apresentadas na Figura 3.

Figura 3 - Iso-linhas de intensidade de radiação UV-254 nm ($\text{mW} \cdot \text{cm}^{-2}$) medidas no reator UV.



Fonte: os autores.

As iso-linhas de radiação proporcionam uma visualização das diferentes zonas de radiação nas diferentes regiões do reator, sendo úteis também para o dimensionamento de unidades de radiação UV e determinação de critérios operacionais como distâncias entre lâmpadas, distâncias entre a massa líquida e as lâmpadas e os possíveis materiais de construção empregados na confecção das unidades de radiação UV.

Cada iso-linha representa um valor médio de intensidade (I_0) de radiação em $\text{mW} \cdot \text{cm}^{-2}$ para aquela região do reator.

O espaçamento e o formato da tampa refletora influenciaram a distribuição da intensidade de radiação UV. Verificou-se que a maior intensidade,

de 8,0 mW.cm⁻², ocorreu na região central, a qual decaiu para 5,4 mW.cm⁻² nas proximidades laterais do reator.

A partir das intensidades médias emitidas pelo conjunto de lâmpadas: de 6,364 mW.cm⁻² para as

6 lâmpadas ligadas e de 3,182 mW.cm⁻² para as 3 lâmpadas ligadas foram calculadas as intensidades médias efetivas (Equação 3), e a partir destas, as doses médias efetivas de radiação UV (Equação 1), sendo estes resultados apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Doses médias efetivas de radiação UV obtidas para os diferentes tempos de exposição e quantidades de lâmpadas ligadas.

Tempos (s)	Dose (mWs. cm ⁻²)	
	3 lâmpadas	6 lâmpadas
20	10,54	21,14
40	21,08	42,28
60	31,62	63,42
90	47,43	95,13
120	63,24	126,84
180	94,86	190,26
300	158,1	317,1

Fonte: os autores.

Caracterização do esgoto

Os resultados das análises de caracterização

físico-química e microbiológica do esgoto são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Caracterização físico-química e microbiológica do esgoto.

Parâmetros	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	Ensaio 4 e 5
ST (mg.L ⁻¹)	-	-	350	397
STV (mg.L ⁻¹)	-	-	233	267
STF (mg.L ⁻¹)	-	-	117	130
SST (mg.L ⁻¹)	75	30	40	42
SSV (mg.L ⁻¹)	-	-	1	16
SSF (mg.L ⁻¹)	-	-	39	26
pH	-	-	8,2	7,92
Turbidez (uT)	23,5	15,1	22,8	41,8
Cor aparente (uC)	-	-	458	905
Cor verdadeira (uC)	-	-	151	363
DQO (mg.L ⁻¹)	-	-	128,2	214,3
CT (UFC.100mL ⁻¹)	1,3.10 ⁶	6,5.10 ⁴	2.10 ⁵	5,7.10 ⁵
<i>E. coli</i> (UFC.100mL ⁻¹)	8,0.10 ⁵	2,0.10 ⁴	6.10 ³	7,9.10 ⁴

ST: sólidos totais; STV: sólidos totais voláteis; STF: sólidos totais fixos; SST: sólidos suspensos totais; SSV: sólidos suspensos voláteis; SSF: sólidos suspensos fixos; DQO: demanda química de oxigênio; CT: coliformes totais.

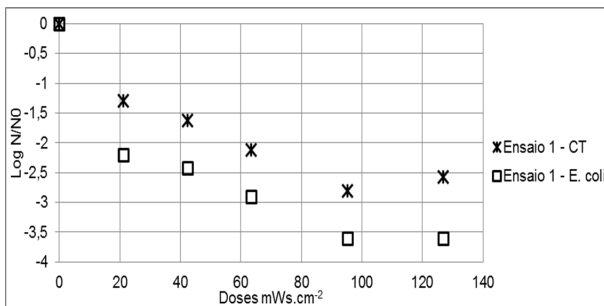
Os resultados apresentados na Tabela 2 denotam valores típicos para o tratamento empregado, a saber: reator anaeróbio seguido de lagoa de polimento, assim como, é típico também, em situações de estudo em escala plena, a ocorrência dos picos mais elevados de SST de 75 mg/L e de turbidez de 23,5 uT como verificado no Ensaio 1.

Ensaio de desinfecção

Nas Figuras de 4 a 8 são apresentados os resultados de inativação dos microrganismos CT e *E. coli* em função da dose de radiação UV empregada em cada ensaio.

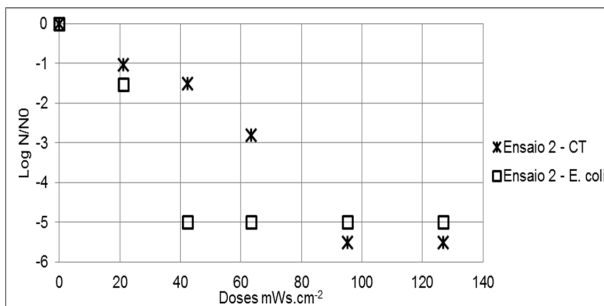
Para o cálculo da inativação [$\text{Log}(N/N_0)$], N representa o número de microrganismos após a desinfecção e N_0 o número inicial de microrganismos presente na amostra de esgoto antes dos ensaios de desinfecção.

Figura 4 - Inativação de *E. coli* e CT em função da dose de radiação UV no ensaio 1.



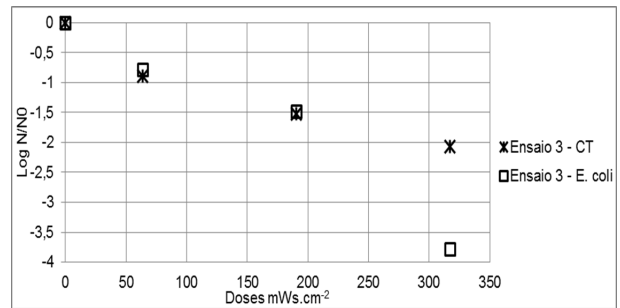
Fonte: os autores

Figura 5 - inativação de *E. coli* e CT em função da dose de radiação UV no ensaio 2.



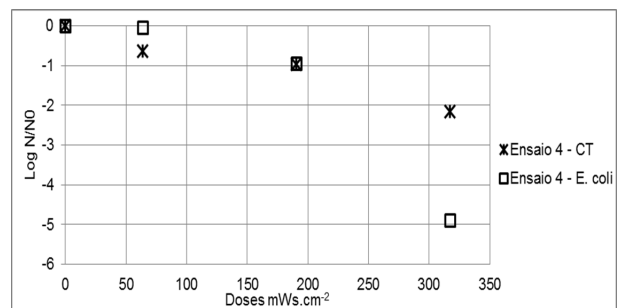
Fonte: os autores

Figura 6 - Inativação de *E. coli* e CT em função da dose de radiação UV no ensaio 3.



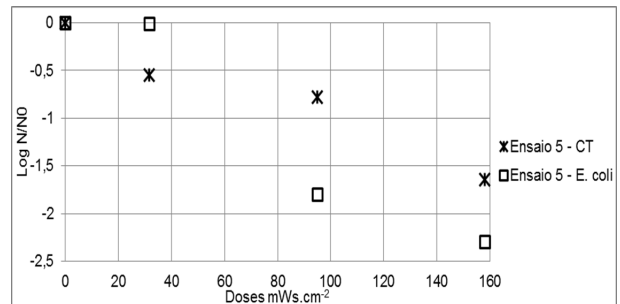
Fonte: os autores

Figura 7 - Inativação de *E. coli* e CT em função da dose de radiação UV no ensaio 4.



Fonte: os autores

Figura 8 - Inativação de *E. coli* e CT em função da dose de radiação UV no ensaio 5.



Fonte: os autores

Entretanto, mais do que os valores de eficiência de inativação de CT e *E. coli* as densidades finais desses microrganismos, remanescentes dos ensaios de desinfecção com radiação UV e, ainda presentes no esgoto tratado, também devem ser consideradas e encontram-se apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 – Resultados dos ensaios de desinfecção

Tempo (min)	Microrganismos Inativado	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	Ensaio 4	Ensaio 5
20	CT (UFC.100mL ⁻¹)	6,5.10 ⁴	6,0.10 ³	-	-	-
	<i>E. coli</i> (UFC.100mL ⁻¹)	5,0.10 ³	6,0.10 ²	-	-	-
40	CT (UFC.100mL ⁻¹)	3,1.10 ⁴	2,0.10 ³	-	-	-
	<i>E. coli</i> (UFC.100mL ⁻¹)	3,0.10 ³	<1	-	-	-
60	CT (UFC.100mL ⁻¹)	1,0.10 ⁴	1,0.10 ²	2,6.10 ⁴	1,3.10 ⁵	1,6.10 ⁵
	<i>E. coli</i> (UFC.100mL ⁻¹)	1,0.10 ³	<1	1,0.10 ³	7,0.10 ⁴	7,7.10 ⁴
90	CT (UFC.100mL ⁻¹)	2,0.10 ³	<1	-	-	-
	<i>E. coli</i> (UFC.100mL ⁻¹)	2,0.10 ²	<1	-	-	-
120	CT (UFC.100mL ⁻¹)	3,5.10 ³	<1	6,0.10 ³	6,0.10 ⁴	9,5.10 ⁴
	<i>E. coli</i> (UFC.100mL ⁻¹)	2,0.10 ²	<1	2,0.10 ²	9,0.10 ³	9,0.10 ³
180	CT (UFC.100mL ⁻¹)	-	-	-	-	-
	<i>E. coli</i> (UFC.100mL ⁻¹)	-	-	-	-	-
300	CT (UFC.100mL ⁻¹)	-	-	1,7.10 ³	4,0.10 ³	1,3.10 ⁴
	<i>E. coli</i> (UFC.100mL ⁻¹)	-	-	<1	1	4,0.10 ²

<1: menor que o limite de detecção do método.

Fonte: os autores

No ensaio 1 (Figura 4), em que o esgoto apresentava concentração de SST de 75 mg/L, a maior inativação de CT obtida foi próximo de 3 log com residual de 3×10^3 UFC/100 mL para a dose de 95,13 mWs.cm⁻². Para a *E. coli* obteve-se inativação menor que 3 log para as doses menores que 63,42 mWs.cm⁻², ou seja, residuais de 3×10^3 UFC/100mL e 5×10^3 UFC/100mL para as doses de 42,28 e 21,14 mWs.cm⁻² respectivamente, sendo que, para 95,13 e 126,84 mWs.cm⁻² de dose obteve-se inativação de 3,6 log, ou seja, 2×10^2 UFC/100 mL de *E. coli* residual.

No ensaio 2 (Figura 5) obteve-se inativação total de *E. coli*, com 5 log de inativação, a partir da dose de 42,28 mWs.cm⁻², ou seja, com densidade residual de *E. coli* menor que 1 UFC/100 mL. Para o microrganismo CT alcançou-se inativação de 5,5

log (menor que 1 UFC/100 mL) a partir da dose de 95,13 mWs.cm⁻². Este ensaio foi o mais satisfatório em termos de eficiência de inativação de CT e *E. coli* e atribuiu-se isto à melhor qualidade do efluente em relação à presença de sólidos e turbidez: 30 mg/L de SST e 15,1 uT, respectivamente.

Para o ensaio 3 (Figura 6) alcançou-se, com 317,1 mWs.cm⁻² de dose, inativação total de *E. coli* com 3,7 log (residual menor que 1 UFC/100 mL) e 2 log de inativação de CT (residual de $1,7 \times 10^3$ UFC/100 mL).

No ensaio 4 (Figura 7) a inativação de CT e *E. coli* foram abaixo de 1 log para doses menores que 190,26 mWs.cm⁻², ou seja, com residuais de CT e *E. coli* elevados de 6×10^4 e 9×10^3 UFC/100mL, respectivamente. Para 317,1 mWs.cm⁻² atingiu-se inativação de 2,1 log de CT (densidade residual de

4×10^3 UFC/100 mL) e 4,8 log de *E. coli* (densidade residual de 1 UFC/100 mL).

Para o ensaio 5 (Figura 8), realizado com 3 lâmpadas e com os mesmos tempos de exposição, as inativações para CT e *E. coli* foram abaixo de 1,0 log para $31,62 \text{ mWs.cm}^{-2}$ de dose. Para a dose de $94,86 \text{ mWs.cm}^{-2}$ a inativação de *E. coli* foi de 1,8 log e de CT continuou abaixo de 1,0 log. Com $158,1 \text{ mWs.cm}^{-2}$ a inativação de *E. coli* foi de 2,29 log e para CT foi de 1,6 log. Nesse ensaio o residual de CT variou de $1,6 \times 10^5$ a $1,3 \times 10^4$ UFC/100 mL e o de *E. coli* de $7,7 \times 10^4$ a 4×10^2 UFC/100 mL.

Observou-se de maneira geral que, as características do esgoto estudado influenciaram sobremaneira a desinfecção com radiação UV, o que ficou evidente ao se comparar o ensaio 1 (SST de 75 mg/L) com os ensaios 2 e 3, em que a melhor qualidade do esgoto, em termos de sólidos, propiciou os melhores resultados de inativação de *E. coli* e CT, fazendo jus ao reportado por Gonçalves (2003): “na prática, a tecnologia UV é limitada a efluentes provenientes de processos secundários e/ou terciários de tratamento”.

Bilotta e Daniel (2007), em ensaios de desinfecção em reator semelhante, com 6 lâmpadas de baixa pressão de mercúrio e intensidade média de radiação (I_0) de $4,5 \text{ mW.cm}^{-2}$, alcançaram inativação de 3,9 log de *E. coli* em 60 s de exposição e lâmina líquida de 3 cm, para esgoto com 27 mg.L^{-1} de SST.

Alves, Chernicharo e Sperling (2003) obtiveram 3,3 log de inativação de *E. coli* com dose média de $3,7 \text{ mW.s.cm}^{-2}$, 4,3 log para dose média de $10,3 \text{ mW.s.cm}^{-2}$ e 3,9 log para dose média de $11,6 \text{ mW.s.cm}^{-2}$, e ressaltam que os bons resultados obtidos foram devidos aos baixos teores de SST do efluente (entre 11 e 19 mg/L).

De acordo com Passantino et al. (2004) algumas partículas, em detrimento de outras, tem maior efeito sobre a cinética da dose-resposta com UV, apesar de não ficar claro nesse estudo, quais características específicas das partículas: tamanho, composição ou estrutura, mais interferem na sobrevivência dos

microrganismos associados às partículas durante a desinfecção com UV.

Apesar disso, estudos realizados no Brasil apresentam situações reais em plantas de tratamento que empregaram a radiação UV com resultados satisfatórios em termos de eficiências de inativações microbianas.

Vale salientar que

“do ponto de vista da Engenharia Sanitária, a desinfecção é a etapa responsável pela redução das densidades de microrganismos de interesse até os limites estabelecidos pela legislação para os diferentes tipos de usos da água e que para cada um desses usos aplicam-se critérios e padrões de qualidade específicos” (GONÇALVES, 2003).

Os padrões microbiológicos para corpos d'água doce no Brasil são definidos pela Resolução Conama 357/05. Para atender ao sistema de classes de qualidade previsto na referida resolução.

Conclusões

Apesar da baixa qualidade do efluente, que apresentou, em geral, altas concentrações de SST e de turbidez, a aplicação de radiação UV como agente desinfetante apresentou boa eficiência na inativação de *E. coli*, especialmente para as maiores doses de radiação empregadas.

A radiação ultravioleta pode ser uma ótima alternativa desinfetante de esgotos, porém, de fato, para melhores eficiências este deve apresentar características mínimas de qualidade, no que se refere aos parâmetros de turbidez e presença de sólidos.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Programa de Iniciação Científica (PROIC) da UNICENTRO, à Fundação Araucária pela bolsa de iniciação científica (PAIC) e à Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR) pela colaboração na coleta do efluente.

Referências

ALVES, C. V. P.; CHERNICHARO, C. A. L.; SPERLING, M. V. Desenvolvimento de sistema simplificado e de baixo custo para desinfecção de esgotos tratados biologicamente. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 22., 2003, Joinville. *Anais...* Joinville: ABES, 2003. v.1.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. *Standart methods for the examination of water and wastewater*. 19. ed. Washington: American Public Health Association, 1998.

BILOTTA, P.; DANIEL, L. A. Ozônio e radiação UV na inativação de indicadores patogênicos em esgoto sanitário: uma análise comparativa. *Revista Minerva Ciência & Tecnologia*, São Carlos, v. 3, p. 199-207, 2007

CLANCY, J. L.; HARGY, T. M.; MARSHALL, M. M.; DYKSEN, J. E. UV light inactivation of *Cryptosporidium* oocysts. *Journal of the American Water Works Association*, New York, v. 90, n. 9, p. 92-102, 1998.

DANIEL, L. A. *Desinfecção de esgotos com radiação ultravioleta: fotorreativação e obtenção de parâmetros cinéticos*. 1993. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

DANIEL, L. A. (Coord.). *Processos de desinfecção e desinfetantes alternativos na produção de água potável*. Rio de Janeiro: RiMa, 2001.

GONÇALVES, R. F. (Coord.). *Desinfecção de efluentes sanitários*. Rio de Janeiro: RiMa, 2003.

HIJNEN, W. A. M.; BEERENDONK, E. F.; MEDEMA, G. J. Inactivation credit of UV radiation for viruses, bacteria and protozoan (oo)cysts in water: a review. *Water Research*, New York, v. 40, p. 3-22, 2006.

PASSANTINO, L.; MALLEY, J. P.; KNUDSON, M.; WARD, R.; KIM, J. Effect of low turbidity and algae on UV disinfection performance. *Journal of the American Water Works Association*, New York, v. 96, n. 6, p. 128-137, 2004.

SOUZA, J. B.; SARTORI, L.; DANIEL, L. A. Influência da cor e da turbidez na desinfecção de águas de abastecimento utilizando-se cloro e radiação ultravioleta. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL, 27., 2000, Porto Alegre. *Anais...* Porto Alegre: ABES/AIDIS, 2000.

TEMPLETON, M. R.; ANDREWS, R. C.; HOFMANN, R. Inactivation of particle-associated viral surrogates by ultraviolet light. *Water Research*, New York, v. 39, p. 3487-3500, 2005.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. USEPA. *Guidance manual: alternative disinfectants and oxidants*. Washington: USEPA, 1999. Report n.815-R-99-014

*Recebido em 26 Dezembro 2011- Received on December 26, 2011.
Aceito em 21 Março, 2012 - Accepted on March 21, 2012.*