

## II-079 - RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA COMO ALTERNATIVA DE DESINFECÇÃO PARA EFLUENTE DE INDÚSTRIA DE PRODUÇÃO DE PAPEL

### **Carlos Raphael Pedroso<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Ambiental pela Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná (UNICENTRO). Mestre em Engenharia Sanitária e Ambiental pela UNICENTRO e UEPG. Doutorando em Ciências Florestais na UNICENTRO.

### **Jeanette Beber de Souza**

Engenheira Civil pela Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP). Mestre em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Doutora em Hidráulica e Saneamento pela EESC/USP. Professora do Departamento de Engenharia Ambiental da Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO).

### **Milena Viviurka Marcondes**

Engenheira Ambiental pela Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná (UNICENTRO). Mestre em Engenharia Sanitária e Ambiental pela UNICENTRO e UEPG.

### **Ana Paula Bacchiega**

Engenheira Ambiental pela Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná (UNICENTRO). Mestre em Ciências Florestais pela UNICENTRO.

### **Karoline Mello Milek**

Engenheira Ambiental pela Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná (UNICENTRO). Mestranda em Ciências Florestais na UNICENTRO.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Iguatemi, 39 – Engenheiro Gutierrez - Irati - PR - CEP: 84500-000 - Brasil - Tel: (42) 3422-2674 - e-mail: [raphaelp6@hotmail.com](mailto:raphaelp6@hotmail.com)

### **RESUMO**

O tema de investigação aqui tratado aborda a técnica da radiação ultravioleta (UV) como alternativa para desinfecção de efluente proveniente do processo industrial de produção de papel misturado ao esgoto sanitário da mesma indústria, visando a inativação de microrganismos potencialmente patogênicos ou indicadores de contaminação fecal. Parâmetros como a altura da lâmina líquida no reator UV e o tempo de exposição à radiação foram variados e as eficiências de desinfecção avaliadas empregando os microrganismos *Escherichia coli* (*E. coli*) e coliformes totais (CT). As diferentes alturas de lâmina líquida estudadas não influenciaram na eficiência da desinfecção. Os resultados obtidos foram plenamente satisfatórios do ponto de vista microbiológico, produzindo efluente final com qualidade para atendimento aos padrões da legislação ambiental vigente, além de, se for de interesse da indústria, possibilitar o reuso desse efluente.

**PALAVRAS-CHAVE:** Radiação UV, efluente papeleiro, *Escherichia coli* e coliformes totais.

### **INTRODUÇÃO**

A crescente demanda por mananciais de água viáveis em termos quantitativos e qualitativos para abastecimento público e industrial tem incentivado estudos na busca por tecnologias promotoras do desenvolvimento social sustentável (BILOTTA E DANIEL, 2006).

A indústria de papel é uma larga consumidora de água e consequentemente geradora de efluentes. Estima-se que sejam gerados em torno de 30 a 300 m<sup>3</sup> de efluente por tonelada de polpa produzida (RAJ et al., 2014). Assim, no cenário mundial atual de escassez relativa da água, o tratamento de efluentes é fator imprescindível à gestão adequada desse recurso, sendo a radiação UV uma alternativa para o controle de microrganismos patogênicos.

A radiação UV é emitida por lâmpadas especiais (germicidas) que, por meio de um mecanismo físico de absorção da luz promove nos microrganismos uma reação fotoquímica capaz de alterar os componentes

moleculares essenciais para suas funções celulares, causando danos aos ácidos nucleicos (DNA e RNA) e assim a inativação microbiana. Possui como principais vantagens a simplicidade operacional, o requisito mínimo de área para implementação, pouca exigência operacional e de manutenção, eficácia de inativação comprovada para grande variedade de microrganismos, ausência do uso de produtos químicos e de geração de subprodutos tóxicos no 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 (EPA, 1999a).

Os efluentes provenientes do processo industrial de produção de papel são naturalmente isentos dos microrganismos encontrados nas fezes humanas, entretanto, quando misturados ao esgoto sanitário da indústria estes microrganismos se apresentarão (OGDEN E NUTTER, 1993).

KANNAN E OBLISAMI (1990) reportam a presença de números da ordem de grandeza de  $1 \times 10^6$  UFC/100 mL de bactérias, fungos e leveduras em efluente da fabricação de papel combinado com esgoto sanitário.

O objetivo desta pesquisa é analisar se a desinfecção por radiação UV é eficaz, e o quão eficaz pode ser, na inativação de microrganismos indicadores de contaminação fecal presentes em uma matriz complexa como o efluente real de uma indústria de produção de papel misturado com o esgoto sanitário da própria indústria.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O efluente foi proveniente de uma estação de tratamento (ETE) de uma indústria de papel ao qual foi misturado seu esgoto sanitário. A ETE possui tratamento preliminar, composto por um sistema de gradeamento, desarenador, decantador primário, seguido de tratamento secundário composto por lodos ativados e decantador secundário, sendo que, na saída desta última unidade é que ocorreu a coleta do efluente. Os critérios de coleta obedeceram ao método N° 1060C (APHA, 2005).

As análises físico-químicas foram realizadas de acordo com o *Standard Methods for the Examination for Water and Wastewater* (APHA, 1999) e consistiram das seguintes análises e seus respectivos métodos: turbidez (2130B); cor aparente (2120C); DQO (5220C); pH (4500 - H.B); sólidos dissolvidos totais (2540C), fenóis (5550B) e absorvância no comprimento de onda a 254 nm.

Para os exames microbiológicos de *E. coli* e CT utilizou-se a técnica de filtração em membranas (Método 9222, APHA, 2005) com o emprego de membranas de nitrato de celulose de porosidade 0,45  $\mu$ m (Sartorius, AG, Goettingen, Germany) e meio de cultura *Chromocult Coliform Agar*.

## O REATOR UV E A OBTENÇÃO DE DOSE DE RADIAÇÃO

O reator UV confeccionado em aço inox com cúpula removível em alumínio, com 10 cm de altura e dimensões da caixa de 40x40x15 cm. Possuía 6 lâmpadas de 15 W cada, emersas, de baixa pressão e baixa intensidade, distanciadas entre si em 2,2 cm.

Para determinação da intensidade de radiação UV, foi utilizado um radiômetro com sensor que detecta a radiação UV no comprimento de onda a 254 nm. Para aquisição da intensidade média emitida pela fonte ( $I_0$ ) foi adotada uma malha de pontos equidistantes entre si em 5 cm, sendo feitas medições em 56 pontos dentro do reator. A partir de  $I_0$ , a intensidade média efetiva –  $I_m$  (equação 1) foi calculada de acordo com a lei de Lambert-Beer (equação 2), a dose média de radiação UV (equação 3) e a eficiência de inativação microbiana (equação 4).

$$I_m = I_0 / \alpha * L * [1 - e^{(-\alpha * L)}] \quad (1)$$

$I_m$  = intensidade média efetiva ( $mW/cm^2$ );

$I_0$  = intensidade média da radiação emitida pela fonte e aplicada à superfície ( $mW/cm^2$ );

$\alpha$  = coeficiente de absorção ( $cm^{-1}$ );

$L$  = espessura da lâmina líquida (cm).

$$\alpha = A * \ln(10) = 2,303 * A \quad (2)$$

$\alpha$ : coeficiente de absorvância ( $\text{cm}^{-1}$ );  
A: absorvância medida a 254 nm ( $\text{cm}^{-1}$ ).

$$D_m = I_m * t \quad (3)$$

$D_m$  = Dose média efetiva ( $\text{mWs}/\text{cm}^2$ );  
 $I$  = Intensidade média de radiação ( $\text{mWs}/\text{cm}^2$ );  
 $T$  = Tempo de exposição (s).

$$\text{Eficiência (log)} = \log_{10} (N/N_0) \quad (4)$$

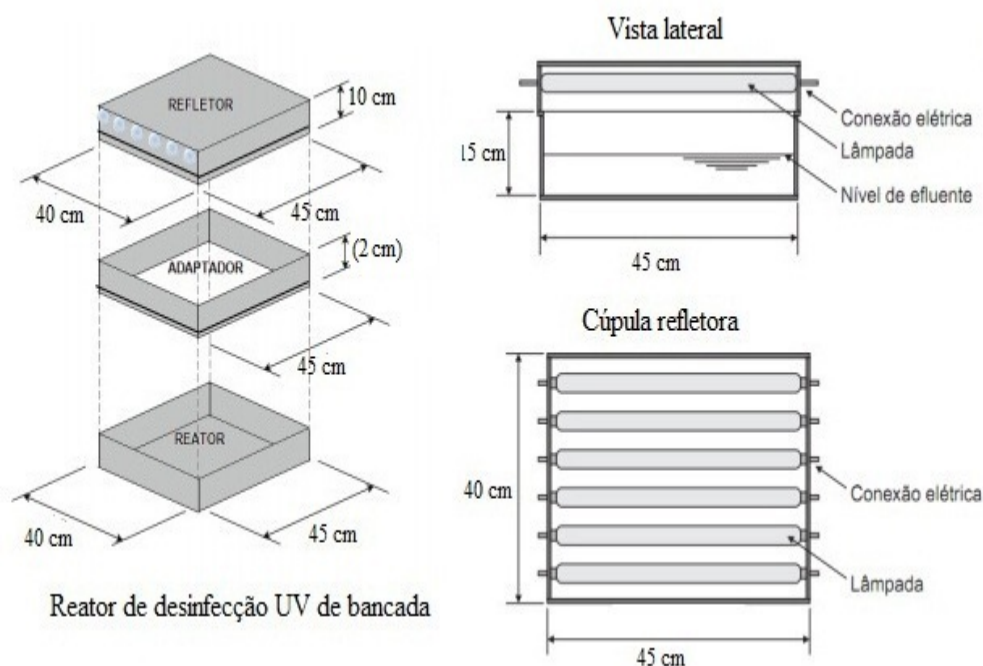
$N_0$  = Número inicial de microrganismos;  
 $N$  = Número de microrganismos remanescente após desinfecção por radiação UV.

## ENSAIOS DE DESINFECÇÃO

Previamente aos ensaios de desinfecção, as lâmpadas foram ligadas por 15 minutos para aquecimento e estabilização. Nos ensaios foram utilizadas 6 lâmpadas ligadas, tempos de exposição de 10, 20 e 30 segundos e espessura de lâmina líquida de 2 cm para o ensaio denominado ensaio ALL2 e lâmina de 4 cm para o ensaio ALL4. Após os respectivos tempos de exposição, alíquotas do efluente eram coletadas para a realização dos exames microbiológicos e verificação da fração de microrganismos sobreviventes em unidades logarítmicas.

Para que fosse possível variar a altura de lâmina líquida e manter constante a altura entre a lâmpada e a superfície, foi empregado um adaptador em aço inox medindo 40 x 45 cm e altura de 2 cm (para o ensaio ALL4). No ensaio ALL2 não foi necessário o adaptador. Ressalta-se que o efluente dentro do reator era mantido em agitação constante para a homogeneização e a altura entre a lâmpada e a superfície do efluente mantida em 14 cm.

A figura 1 mostra um esquema do reator UV de bancada utilizado no experimento.



**Figura 1: Esquema do reator UV de bancada utilizado no experimento.**  
**Fonte: Adaptado de Tinôco (2011); Bilota e Daniel (2007).**

## ANALISES ESTATÍSTICAS

Utilizou-se um delineamento inteiramente casualizado onde foram testados 3 tratamentos (3 tempos de exposição à radiação UV) com 3 repetições, totalizando 9 ensaios.

Os resultados foram submetidos à análise de variância (anova) de um fator; onde, inicialmente as variâncias foram testadas quando a sua homogeneidade (teste de Bartlett) e, quando os resultados apresentaram diferenças significativas entre as médias dos tratamentos, foi aplicado o teste de Tukey (comparação de médias) a 1% de probabilidade.

Ressalta-se que os dados foram transformados em logaritmo decimal para atender os pressupostos da anova de um fator.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 1 são apresentados os resultados das intensidades  $I_0$  e  $I_m$ , bem como as doses médias efetivas de radiação UV.

**Tabela 1: Intensidades e dose médias efetivas de radiação UV**

Intensidade média de radiação na superfície ( $I_0$ ) (mW/cm <sup>2</sup> )	Absorbância (254 nm)	Espessura da lâmina líquida (cm)	ensaio	Tempo de exposição (s)	Intensidade média efetiva ( $I_m$ ) (mW/cm <sup>2</sup> )	Dose média efetiva (mWs/cm <sup>2</sup> )
5,91	0,604	2	ALL2	10	1,98	19,8
				20		39,6
				30		59,4
		4	ALL4	10	1,05	10,5
				20		21
				30		31,5

Com os resultados da intensidade média de radiação emitida pela fonte, a absorbância a 254 nm, as espessuras de lâmina líquida e a atenuação ocasionada pela absorção da radiação UV no efluente (lei de Beer-Lambert) foram calculadas as intensidades médias efetivas e as doses médias efetivas. Nota-se que as doses médias efetivas decrescem com o aumento da espessura da lâmina líquida (Tabela 1).

Na tabela 2, são apresentados os resultados da caracterização físico-química e microbiológica do efluente.

**Tabela 2: Caracterização físico-química e microbiológica.**

Parâmetros	Média e Desvio Padrão
Cor (uC)	38,7 ± 3,0
Turbidez (uT)	2,5 ± 0,2
DQO solúvel (mg/L)	58,5 ± 21,0
pH	7,4 ± 0,2
SST (mg/L)	8,0 ± 4,0
ABS (254 nm)	0,604 ± 0,06
Fenol (mg L <sup>-1</sup> )	< LD (0,05)
<i>E. coli</i> (UFC 100/mL)	400 ± 519,6
CT (UFC 100/mL)	2033 ± 950,4

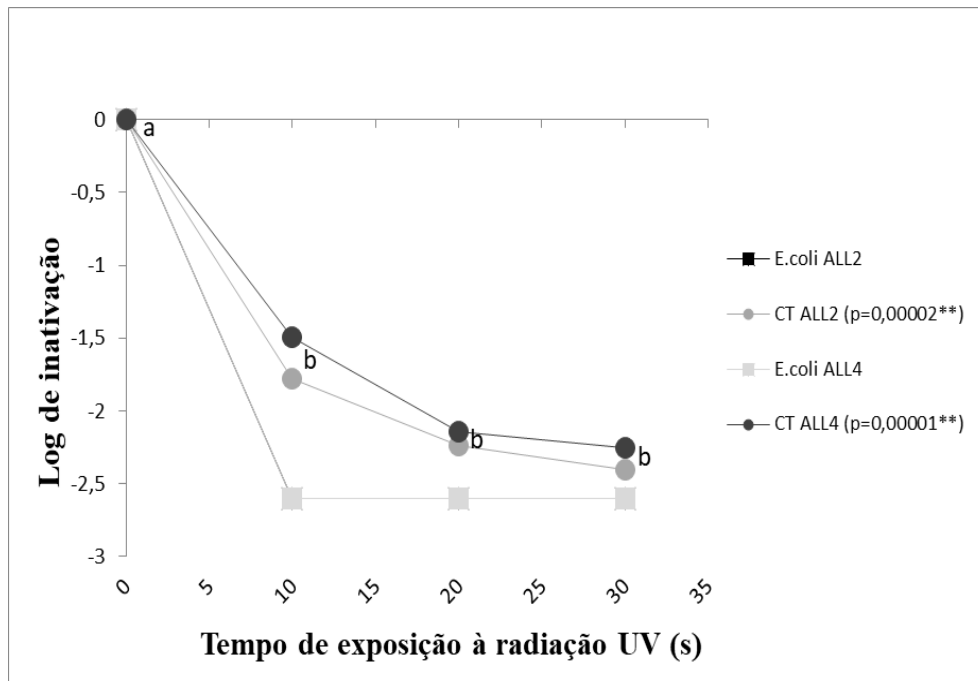
\*LD= Limite de detecção

Os baixos teores de partículas no efluente representam uma vantagem para desinfecção pelo método UV, observou-se que, as concentrações de SST ficaram abaixo do recomendado pela EPA (1999b) que é de 30 mg/L. O pH encontra-

se dentro das condições de lançamento e, a concentração de fenóis totais está abaixo dos valores permitidos na legislação para padrões de lançamentos de efluentes (CONAMA 430/2011).

De acordo com a EPA (1999a) os valores de ABS 254 nm considerados são 0,022 excelente, 0,071 bom e 0,125 razoável. Nesse estudo, mesmo o valor de ABS tendo sido superior ao considerado pela EPA (1999a) não foi demonstrado efeito negativo na eficiência da desinfecção.

Na figura 2 são apresentados os resultados das eficiências de desinfecção obtidas no estudo.



**Figura 2:Eficiência (log) de desinfecção por radiação UV para os ensaios ALL2 e ALL4.**

Para *E. coli*, não houve necessidade de teste estatístico, uma vez que em 10 s de exposição à radiação UV (doses de 19,8 e 10,5 mWs/cm<sup>2</sup> respectivamente) as eficiências de inativação foram de 100% para os ensaios ALL2 e ALL4. De acordo com *International Water Guard Industries - IGWI* (2002), doses de radiação UV de 7 mWs/cm<sup>2</sup> são suficientes para inativar 3 log de *E. coli*. Mostrando que em 10 s de exposição, as doses médias efetivas foram maiores, ocasionando a inativação total. Vale ressaltar que menores valores de SST e turbidez contribuíram com a eficácia da radiação UV.

Para CT, o mesmo efeito não foi observado. A ANOVA de um fator indicou diferença entre as médias a um nível de significância de 1% para os ensaios ALL2 (F=42,30;  $p=0,00002$ ) e ALL4 (F=54,04;  $p=0,00001$ ); porém, não houve diferença entre os três tempos de exposição à radiação UV aplicados que, submetem as doses médias efetivas de radiação de 19,8; 39,6; 59,4 mWs/cm<sup>2</sup> para ALL2 e 10,5; 21; 31,5 mWs/cm<sup>2</sup> para ALL4 respectivamente pelo teste de Tukey a 1% (letras). A partir de 10 s para ambas as alturas de lâmina líquida (doses de 19,6 e 10,5 mWs/cm<sup>2</sup> respectivamente) as eficiências de inativação foram maiores que 1,4 log.

A altura de lâmina líquida não exerceu influência nas condições testadas; entretanto, os tempos de exposição à radiação UV que refletem diretamente nas doses médias efetivas sim.

Os dados mostraram uma potencialidade para reuso de acordo com a NBR 13969/97 (tabela 3).

**Tabela 3: Parâmetros para reuso de efluente NBR 13969/97**

Destinação	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
	Lavagem de carro, uso com contato direto	Lavagem de pisos, calçadas, irrigação de jardins, harmonia paisagística	Descarga de vaso sanitários	Irrigação de forrageiras, pomares, pastagens, até 10 dias antes da colheita
Parâmetros				
Turbidez	<5	<5	<10	-
CF	<200 NMP 100/mL	<500 NMP 100/mL	<500 NMP 100/mL	<5000 NMP 100/mL
SDT	<200 mg/L	-	-	-
pH	6 a 8	-	-	-
Cl residual	0,5 a 1,5 mg/L	>0,5 mg/L	-	-
OD	-	-	-	>2mg/L

\*CF = Coliformes fecais; NMP = número mais provável; SDT = sólidos dissolvidos totais; Cl = cloro; OD = oxigênio dissolvido.

As concentrações remanescentes dos microrganismos indicadores encontraram-se abaixo dos valores permitidos pela norma brasileira. Na legislação mais rígida na categoria de irrigação de pastagens e culturas não alimentícias e processadas comercialmente, como a EPA (2012), os dados encontram-se abaixo dos valores permitidos (CF <200UFC 100/mL).

## CONCLUSÕES

A radiação UV apresentou-se como uma alternativa excelente para a desinfecção de efluente do processo de produção de papel juntamente com o doméstico da mesma indústria.

Nas condições testadas e pela qualidade do efluente, observamos que a altura de lâmina líquida não exerceu influência e, a desinfecção por radiação UV mostrou-se como uma alternativa de potencialidade de reuso de efluente eficaz no quesito microbiológico.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA, AWWA, WEF. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 20 ed. Washington, 1999, 2670 p.
2. BILOTTA, P.; DANIEL, L.A. Ozônio e radiação UV na inativação de indicadores patogênicos em esgoto sanitário: análise comparativa. *Revista Minerva*, v. 3, p. 199-207, 2006.
3. EPA. U.S. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Guidance manual: alternative disinfectants and oxidants*. (EPA 815-R-99-014). Washington, DC. 1999<sup>a</sup>, 346 p.
4. EPA. U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Wastewater technology fact sheet – Ultraviolet disinfection*. (EPA 832-F-99-064). Washington, DC. 1999b, 7 p.
5. INTERNATIONAL WATER GUARD INDUSTRIES INC - IWGI. THE WATER KNOWLEDGE COMPANY. *Disinfection of water by ultraviolet light*. 2002.
6. KANNAN, K; OBLISAMI, G. Influence of irrigation with pulp and paper mill effluent on soil chemical and microbiological properties. *Biology and Fertility of Soils*, v.10, p.197-201. 1990.
7. ODEN, L; NUTTER, W. U.S. Experiences with pulp mill waste water and sludge application in forests. In: *Proceedings of the pulp mill waste utilization in the forest*. Clear Lake, Edmonton, Canada, p. 45-50 1993.
8. TINÔCO, J. D. *Desinfecção por radiação ultravioleta: estudo do desempenho do processo e avaliação econômica*. 2011. Tese de Doutorado-Engenharia Hidráulica e Saneamento-Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, São Carlos.