



II-430 - DESINFECÇÃO DE ESGOTO SANITÁRIO COM RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA: ESTUDO REALIZADO PARA A ETE RIO DAS ANTAS, IRATI, PR

Lucas Ricardo Cardoso Marcon

Engenheiro Ambiental pela Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná (UNICENTRO, PR). Mestrando do Programa de Hidráulica e Saneamento da EESC/USP. E-mail: lukasmarcon@yahoo.com.br

Carlos Magno de Sousa Vidal

Biólogo pela UFSCar. Mestre e Doutor em Hidráulica e Saneamento pela EESC/USP. Professor do Departamento de Engenharia Ambiental da UNICENTRO.

Grasiele Soares Cavallini

Licenciada em Química pela UEPG. Mestranda em Química Aplicada pela UEPG. Técnica do Laboratório de Saneamento Ambiental e Qualidade da Água do Departamento de Engenharia Ambiental da UNICENTRO.

Jeanette Beber de Souza⁽¹⁾

Engenheira Civil pela UFOP. Mestre e Doutora em Hidráulica e Saneamento pela EESC/USP. Professora do Departamento de Engenharia Ambiental da UNICENTRO.

Endereço⁽¹⁾: Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná, PR 153, Riozinho, Irati, PR - CEP: 84500-000 - Brasil - Tel: (42) 3421-3210; e-mail: jeanettebeber@yahoo.com.br

RESUMO

A desinfecção de esgotos sanitários com radiação UV apresenta como vantagens, a não geração de subprodutos tóxicos, curtos tempos de contato e simplicidade operacional. No entanto, a eficácia do seu uso em efluentes secundários é bastante questionada devido à presença de sólidos suspensos e turbidez. Este trabalho teve por objetivo avaliar a potencialidade do uso da radiação UV para desinfecção do efluente secundário da ETE Rio das Antas situada no município de Irati, PR. Os efluentes secundários foram caracterizados previamente e os resultados foram: DQO efluente menor ou igual a 130 mg.L⁻¹, densidade de microrganismos na ordem de 10⁵ a 10⁶ UFC.100 ml⁻¹ e pH médio de 7,6. Os ensaios de desinfecção foram realizados em reator de bancada para os tempos de 20, 40, 60, 90 e 120 s para as lâminas líquidas de 4 e 8 cm. A inativação máxima obtida para a lâmina líquida de 8 cm foi de 2,57 e 3,60 Log para CT e *E. coli*, respectivamente. Ocorreu inativação total para ambos indicadores em 40 s de tempo de exposição e 4 cm de lâmina líquida.

PALAVRAS-CHAVE: Tratamento de Esgoto; Desinfecção; Radiação Ultravioleta; *Escherichia coli*; Coliformes Totais.

INTRODUÇÃO

A grande deficiência de saneamento básico em várias regiões brasileiras, em especial de esgotamento sanitário, impõe a grande número de pessoas, riscos inaceitáveis de exposição direta ou indireta aos esgotos sanitários. O volume de esgoto sanitário lançado no solo ou em corpos d'água, em estado bruto ou insuficientemente tratado, constitui expressiva carga de organismos patogênicos excretados por indivíduos infectados. Mesmo nos locais onde há estações de tratamento de esgoto (ETE), ainda são reais os riscos de contaminação de pessoas pelo contato direto ou indireto com esgotos. O quadro de deficiência da barreira sanitária tem forte influência nos indicadores de saúde, que estão muito abaixo dos padrões mínimos da dignidade humana em várias regiões brasileiras (GONÇALVES, 2003).

Segundo SILVA (2007) os processos biológicos de tratamento de esgoto, exceto as lagoas de polimento, visam principalmente a remoção de carga orgânica, e, em sua totalidade não são eficientes para a redução de organismos patogênicos.

A desinfecção de esgotos tem por objetivo a inativação seletiva dos organismos que ameaçam a saúde humana, de acordo com os padrões de qualidade estabelecidos para as diferentes situações. Segundo DANIEL (1993) a desinfecção é indispensável no tratamento de águas residuárias, sendo a mesma efetuada, principalmente, em efluentes secundários. A eficiência de um processo de desinfecção é verificada pela



diminuição do número de organismos patogênicos, no entanto, torna-se inviável econômica e tecnicamente detectar todos os potenciais organismos patogênicos presentes nos esgotos, sendo então utilizados os microrganismos indicadores, e a inativação/ remoção dos patogênicos é associada à inativação/ remoção desses últimos [SOUZA^(a) (2000); SPERLING (2005)].

Dentre os métodos de desinfecção mais usados para efluentes sanitários podem-se citar os processos naturais, como as lagoas de estabilização e maturação; os agentes químicos, cloro, dióxido de cloro, ozônio e cloraminas; e, dentre os agentes físicos, a radiação ultravioleta.

O cloro é o agente desinfetante mais largamente empregado em todo o mundo. No entanto, seu uso como desinfetante de esgoto está relacionado a vários inconvenientes, dentre eles a toxicidade à biota aquática do corpo d'água receptor [SOUZA^(a) (2000); PIRES (2002); POLEZI (2003)]. Nesse contexto, pesquisas referentes a métodos de desinfecção alternativos ao cloro são de suma importância.

A radiação ultravioleta é um processo físico no qual a desinfecção ocorre através da inativação dos microrganismos quando a radiação UV é absorvida pelas proteínas e pelos ácidos nucleicos RNA e DNA, promovendo alterações fotoquímicas que afetam as condições de reprodução dos microrganismos (TOSSETO, 2005).

As lâmpadas de baixa pressão de vapor de mercúrio são as principais fontes de radiação UV utilizadas para desinfecção de esgotos sanitários. Estas lâmpadas emitem de 85 a 90% da sua energia no comprimento de onda de 254 nm, que é efetiva na inativação de microrganismos (DANIEL, 1993).

A radiação UV gerada por lâmpadas especiais é considerada competitiva e mais vantajosa que o cloro, sob vários aspectos. Algumas vantagens apresentadas pela radiação UV são: impede a reprodução de agentes patogênicos, não há adição de produtos químicos e não há 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. SPERLING (2005) cita também como vantagens da radiação UV a inativação de determinados vírus e esporos, a operação simples, curtos tempos de contato e menor demanda de espaço que outros métodos de desinfecção.

No entanto, o uso da radiação UV para desinfecção de esgotos sanitários e efluentes industriais pode ser severamente prejudicado, ou mesmo impedido, devido à qualidade do efluente a ser desinfetado, pois há necessidade de penetração da luz no meio a ser desinfetado. Assim, a presença de sólidos e matéria orgânica em suspensão no efluente pode afetar a eficiência da desinfecção, pois os microrganismos usam as partículas em suspensão como uma proteção à radiação incidente. Nesse sentido, a caracterização prévia dos efluentes antes da aplicação da radiação UV é fundamental para se determinar a viabilidade da instalação de uma unidade de desinfecção desse tipo.

Este trabalho teve como objetivo avaliar o uso da radiação UV para desinfecção do efluente da ETE Rio das Antas situada no município de Irati, PR, empregando como microrganismos indicadores *Escherichia coli* e Coliformes Totais (CT).

MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho, de cunho experimental, foi realizado no Laboratório de Saneamento Ambiental e Qualidade da água, pertencente ao Departamento de Engenharia Ambiental da Universidade Estadual do Centro Oeste (UNICENTRO), Campus de Irati, PR.

A ETE Rio das Antas, Irati, PR, operada pela Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR), possui capacidade nominal total de tratamento de 80 L.s⁻¹, atendendo 70% da população municipal.

O Fluxograma da referida ETE é apresentado na figura 1.

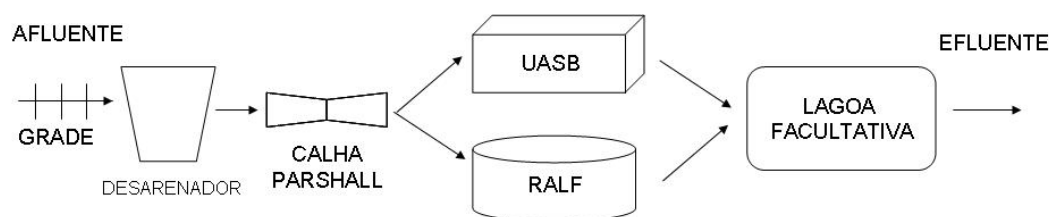


Figura 1 - Fluxograma da ETE Rio das Antas.

O efluente utilizado no experimento foi caracterizado de acordo com as metodologias padronizadas pelo STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER (APHA, 1998). As características do efluente estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1- Características do efluente final da ETE Rio das Antas

Parâmetro	Faixa de variação
DQO (mg/L)	153 – 186
ST (mg/L)	196 – 313
SST (mg/L)	30 – 75
Turbidez (uT)	15,0 - 23,5
pH	7,5 - 7,7
<i>E. coli</i> (UFC/100mL)	$2,0 \times 10^4$ - $8,0 \times 10^5$
CT (UFC/100mL)	$6,5 \times 10^4$ - $1,3 \times 10^6$

Os métodos analíticos empregados para a realização dos exames e análises, bem como os equipamentos utilizados na presente pesquisa estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Métodos analíticos, exames e análises realizados durante a pesquisa.

Parâmetro	Descrição do método
Exames bacteriológicos	
<i>Escherichia coli</i>	Filtração em membranas empregando o meio de cultura microbiológico Chromocult Coliform Agar (Merk).
Coliformes totais	
Série de Sólidos	Método Gravimétrico
Demanda Química de Oxigênio (DQO)	Oxidação, em meio ácido, com dicromato de potássio.
Demanda Biológica de Oxigênio (DBO)	Sistema de diluição e incubação (20 °C em 5 dias).
Filtração	Para filtração das amostras, quando exigida ou recomendada pelos métodos analíticos, utilizou-se membrana de nitrato de celulose com poros de 0,45 µm de diâmetro.
Temperatura	Termômetro de vidro.
Intensidade de radiação ultravioleta	Radiômetro, marca <i>Vilber Lourmat</i> , modelo <i>VLX – 3W</i> .
pH	Potenciômetro, marca <i>Labmeter</i> , modelo, <i>pHS-3B</i> .
Turbidez	Turbidímetro, marca <i>Tecnopon</i> , modelo <i>TB 1000</i> .

A desinfecção com radiação UV foi realizada utilizando reator de bancada em regime de batelada que foi construído em aço inox com cúpula removível em alumínio. Na cúpula do reator foram acopladas 6 lâmpadas de vapor de mercúrio de baixa pressão (marca Philips), distanciadas entre si em 2,2 cm, cada qual com potência nominal de 15 W, as quais apresentavam interruptores individuais de energia que possibilitavam a independência de cada lâmpada.

A figura 2 ilustra o reator UV empregado.

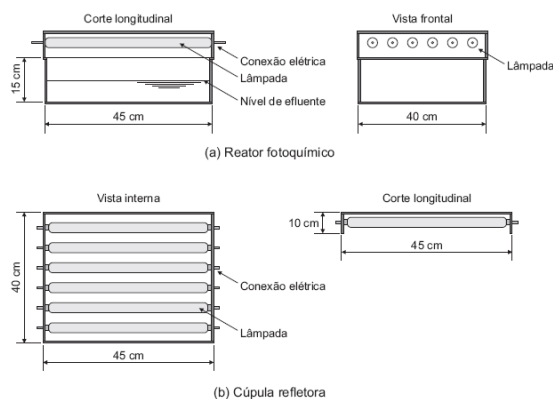


Figura 2 - Esquema de reator UV de bancada.

Fonte: BILOTTA & DANIEL (2007).

A intensidade de radiação UV foi medida por radiometria, em comprimento de onda de 254 nm e a unidade dada em mW/cm^2 . A dose de radiação é proporcional à intensidade da radiação UV e ao tempo de exposição. Para se determinar a intensidade de radiação UV emitida pelo conjunto de lâmpadas, foi adotada uma malha de pontos equidistantes em 5 cm, totalizando 56 pontos de amostragem dentro do reator.

Para a realização dos ensaios de desinfecção foram utilizadas as 6 lâmpadas de radiação UV em todos os ensaios; sendo as mesmas acionadas 20 minutos antes para aquecimento e estabilização. As lâminas líquidas empregadas nos experimentos foram de 8 e 4 cm e os tempos de exposição foram de 20, 40, 60, 90 e 120 s. Após cada tempo de exposição amostras eram coletadas para a realização dos exames bacteriológicos de *E. coli* e Coliformes Totais.

Durante os ensaios de desinfecção o reator de radiação UV era mantido sob agitação magnética.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados dos ensaios de desinfecção são apresentados na Tabela 3. Para o cálculo da inativação: $-\log(N/N_0)$ foram aceitas as considerações: “ N_0 ” = representa o número de indivíduos na condição inicial do ensaio e “ N ” indica o número de microrganismos sobreviventes após a desinfecção para os diferentes tempos de contato (condição final).

Tabela 3 - Inativação de *E. coli* e CT nos ensaios de desinfecção e os parâmetros utilizados.

Parâmetros	Ensaio 1		Ensaio 2		Ensaio 3	
Lâmina d'água (cm)	8		8		4	
Turbidez (uT)	23,5		15,1		15,1	
SST (mg/L)	75		30		30	
Tempo (s)	CT	<i>E. coli</i>	CT	<i>E. coli</i>	CT	<i>E. coli</i>
20	1,30	2,20	1,03	1,52	1,97	<1
40	1,62	2,43	1,51	<1	<1	<1
60	2,08	2,90	2,81	<1	<1	<1
90	2,81	3,60	<1	<1	<1	<1
120	2,57	3,60	<1	<1	<1	<1

SST: sólidos suspensos totais; CT: coliformes totais; <1: menor que o limite de detecção do método.

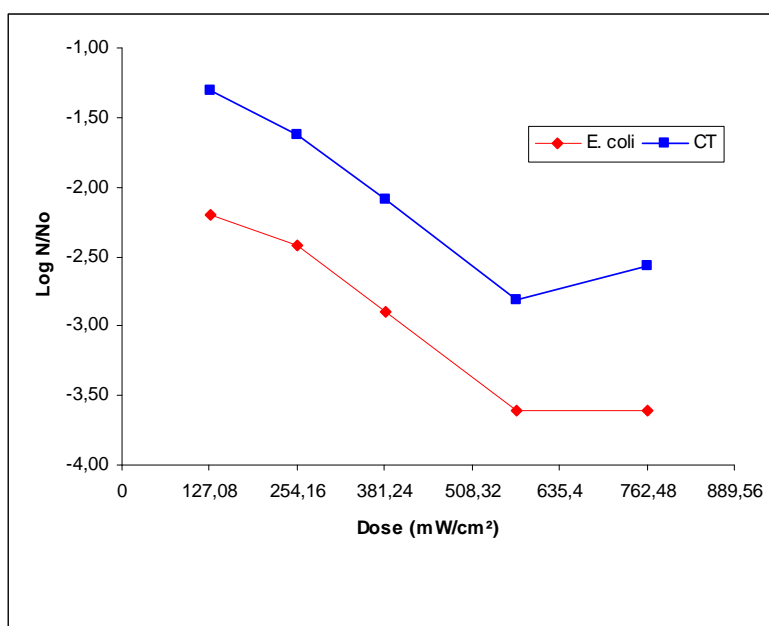
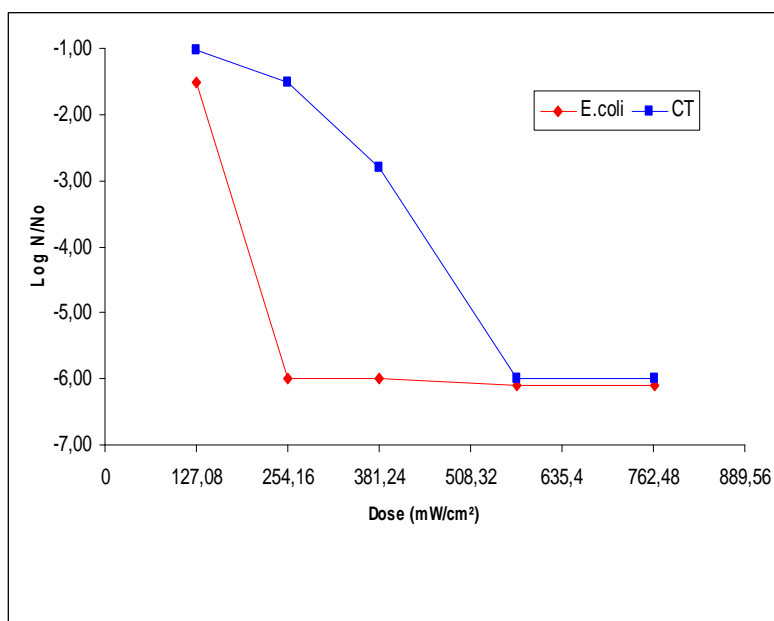
As doses médias de radiação UV obtidas para os cinco tempos de exposição empregados nos ensaios de desinfecção são apresentadas na Tabela 4.



Tabela 4 – Doses médias de radiação UV para os diferentes tempos de exposição.

Tempo (s)	Dose
	mWs.cm ⁻²
20	127,28
40	254,56
60	381,84
90	572,76
120	763,68

As Figuras 3, 4 e 5 representam as inativações de *E. coli* e CT em função da dose de radiação UV nos ensaios 1, 2 e 3, respectivamente.

Figura 3 - Inativação de *E. coli* e CT em função da dose de radiação UV no ensaio 1.Figura 4 - Inativação de *E. coli* e CT em função da dose de radiação UV no ensaio 2.

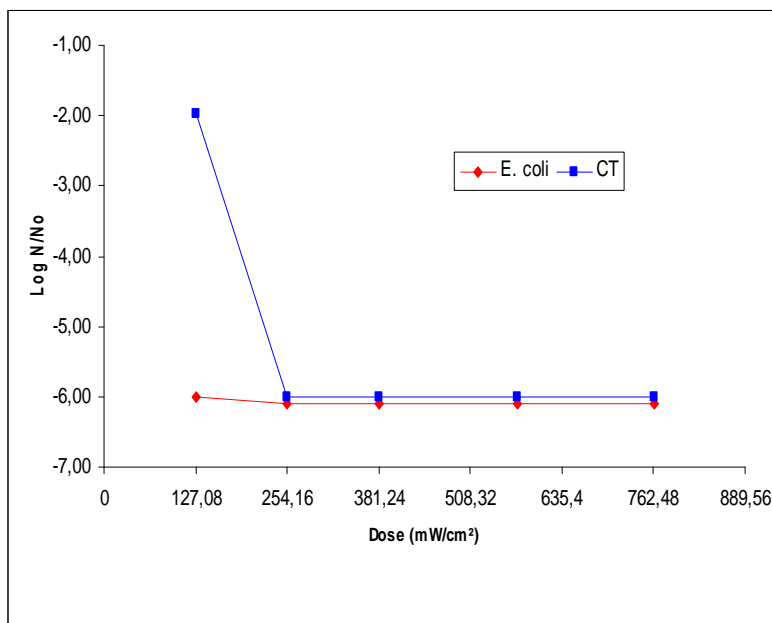


Figura 5 - inativação de *E. coli* e CT em função da dose de radiação UV no ensaio 3.

Ocorreu inativação de *E. coli* e CT em todos os 3 ensaios de desinfecção, porém os ensaios 2 e 3 apresentaram os melhores resultados devido à melhor qualidade do efluente (menor concentração de SST e turbidez). Para os tempos de 40 s e 90 s para 8 e 4 cm de espessura de lâmina líquida, respectivamente, foi alcançada a inativação total, devido a menor turbidez e menor concentração de sólidos, pois, os mesmos quando presentes na massa líquida são capazes de abrigar os microrganismos protegendo-os da radiação UV, bem como, também absorvem as ondas de radiação impedindo o contato com os microrganismos.

As características do efluente no ensaio 1 influenciaram negativamente a inativação microbiana, com exceção do maior tempo de exposição (120 s), em que obteve-se 3,60 log de inativação de *E. coli*.

A maior taxa de inativação em menor tempo de exposição foi obtida no ensaio 3, o que foi atribuído à redução da lâmina líquida, em que ocorreu inativação total dos microrganismos após 20s.

BILLOTA & DANIEL (2007) em seus estudos de desinfecção com radiação UV obtiveram 100% de inativação de *E. coli* em 120 s em uma amostra de esgoto que apresentava 21 mg/L de SST. Obtiveram também inativação de 3,9 log da população microbiana em 60 s, para reator com lâmpadas posicionadas 12 cm acima da lâmina líquida de espessura de 3 cm.

AGUIAR & LIBANIO (2002) utilizaram tubo de PVC (diâmetro 100 mm e altura 45 cm), como unidade tubular para desinfecção (em batelada) de água natural e sintética com turbidez e cor aparente da ordem de 5 uT e 30 uH, respectivamente. No eixo da tubulação foi adaptada uma lâmpada de baixa pressão de vapor de mercúrio (potência nominal 15 W). Com o tempo de contato de 1 min., foram alcançados até 6 log de inativação, com média entre 3 e 4 log.

SOUZA, SARTORI e DANIEL^(b) (2000), também utilizaram água sintética em reator de batelada com lâmpada emersa, para desinfecção com radiação UV e demonstraram a interferência da turbidez na desinfecção com radiação UV para águas sintéticas com valores de turbidez que variaram de 2 uT a 50 uT e mesma densidade inicial de *E. coli* ($N_0 = 10^5$ org/100 mL) e que é necessário maior tempo de contato na ocorrência de turbidez elevada

No presente estudo, a intensidade da radiação UV média foi de 6,364 mW/cm², porém as intensidades não são homogêneas ao longo da câmara de desinfecção, seguindo a tendência da formação das iso-linhas apresentadas na Figura 6.

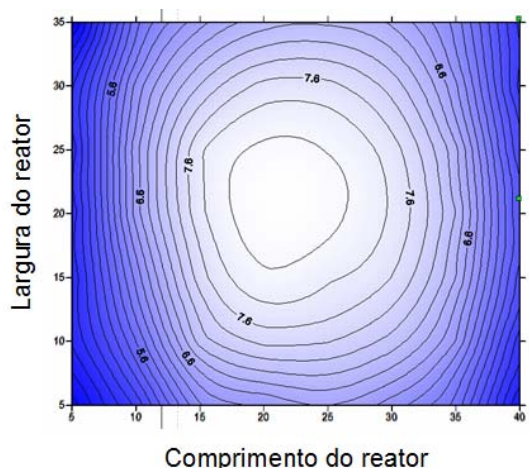


Figura 6 - Iso-linhas de intensidade de radiação medidas no reator.

A intensidade da radiação UV depende do formato do reator, do número de lâmpadas e da respectiva potência. As iso-linhas de radiação proporcionam uma visualização das diferentes zonas de radiação nas diferentes regiões do reator, sendo úteis durante o dimensionamento da unidade de UV e determinação de critérios operacionais como distâncias entre lâmpadas, distância entre a massa líquida e lâmpadas e o material de construção do mesmo.

CONCLUSÕES

É possível concluir para os ensaios de desinfecção que: mesmo para as condições menos favoráveis de qualidade do efluente, em termos de sólidos e de turbidez, obteve-se elevada inativação de ambos os microrganismos empregados, sendo que, esses valores de inativação foram coerentes com a literatura científica consultada. Assim, do ponto de vista da inativação microbiana, a implantação de unidade de desinfecção com radiação UV é viável, mesmo para as características atuais de qualidade do efluente apresentadas pela ETE Rio das Antas.

Vale salientar que a configuração do reator implica na formação de zonas expostas a maiores ou menores intensidades de radiação podendo interferir no processo de inativação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGUIAR, A.M.S.; LIBANIO, M. Avaliação do Emprego da Radiação Ultravioleta na Desinfecção de Águas com Cor e Turbidez Moderadas. Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, v. 7, n. 1-2, p. 37-47, 2002.
2. 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: 22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2003. Joinville, 2003. v.1.
3. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. Standart methods for the examination of water and wastewater. 19.ed. Washington: American Public Health Association, 1998.
4. BILOTTA, P.; DANIEL, L.A.; Ozônio e Radiação UV na Inativação de Indicadores Patogênicos em Esgoto Sanitário: Uma Análise Comparativa. Revista Minerva Ciência & Tecnologia (Fundação para o Incremento da Pesquisa e do Aperfeiçoamento Industrial), v. 3, p. 199-207, 2007.
5. DANIEL, L.A.; Desinfecção de esgotos com radiação ultravioleta: fotorreativação e obtenção de parâmetros cinéticos. Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1993. 164p.
6. GONÇALVES, R.F.;(Coord.). Desinfecção de Efluentes sanitários. 1 ed. Vitória-ES. RiMa Artes e Textos. 2003. 422
7. PIRES, M.R.; Desinfecção de esgotos com radiação ultravioleta: influência da qualidade do efluente e da fotorreativação. Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas, 2002.
8. POLEZI, M.; Aplicação de processo oxidativo avançado (H_2O_2 /UV) no efluente de uma ETE para fins de reuso. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas, 2003.



9. SILVA, S.S.; Aplicação de radiação ultravioleta para desinfecção de efluente de reator UASB e biofiltro aerado. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.
10. SOUZA^(a), J.B.; Desinfecção de águas com cor e turbidez elevadas: comparação técnica de processos alternativos ao cloro empregando radiação ultravioleta e ácido peracético. 2000. 130 f. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.
11. SOUZA^(b), 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: XXVII Congresso Interamericano de Ingenieria Sanitaria y Ambiental, 2000, Porto Alegre. ABES/AIDIS, 2000.
12. SPERLING.M.V.; Introdução a qualidade das águas e ao tratamento de esgotos, Ed.: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte;2005; vol. 1.
13. TOSETTO, M. S.; Tratamento terciário de esgoto sanitário para fins de reuso urbano. Dissertação. Tese de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas, 2005.