

CONSTRUÇÃO E EFICIÊNCIA DE UM FOTORREATOR DE RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA DE BAIXO CUSTO PARA DESINFECÇÃO DE ÁGUA

**Darles Luan Schneider Follmer¹, Ramiro Pereira Bisognin²
Eduardo Lorensi de Souza³, Márlon de Castro Vasconcelos⁴
Divanilde Guerra⁵, Danni Maisa da Silva⁶**

RESUMO

A água é um bem imprescindível para sobrevivência e desenvolvimento dos seres vivos, e sua qualidade pode ser diretamente relacionada à saúde daqueles que a consomem ou utilizam. Nesse sentido, para minimizar os riscos de agentes biológicos presentes nas águas, a radiação ultravioleta (UV-C, 254 nm) é uma importante alternativa de desinfecção, pois inativa o material genético dos microrganismos sem o uso de oxidantes químicos. Portanto, no presente estudo objetivou-se a construção de um fotorreator UV de baixo custo e a análise de sua eficiência na desinfecção de água. Inicialmente, foram pesquisados sistemas comerciais que empregam a radiação UV para finalidade proposta. Em seguida procedeu-se a construção do fotorreator com materiais alternativos e a análise da sua eficiência na desinfecção de três amostras de efluente sanitário tratado, provenientes da região metropolitana de Porto Alegre - RS. A eficiência de desinfecção foi avaliada por meio da comparação da contagem de microrganismos crescidos em placas de Petri contendo ágar MacConkey, durante 48 h a 36 °C, após operação do fotorreator em batelada, em diferentes tempos: 0, 3, 6, 9, 12, 15, 18 e 21 minutos, além de um controle com a água da companhia de abastecimento. Os resultados foram avaliados por ANOVA, seguido de teste *Tukey* ao nível de 5% de probabilidade. Como resultados, tem-se a montagem do fotorreator de 15 W em PVC, de 1,6 L, ao custo total de R\$ 137,88, ou seja, equivalente a 53,05% do custo de outro fotorreator disponível via e-commerce, de dimensões inferiores. As análises das amostras do efluente, nos tempos de detenção descritos, indicaram que não houve diferença estatística entre as UFC mL⁻¹ da água fornecida pela companhia de abastecimento e o efluente após desinfecção por 9 minutos no fotorreator. Também se verificou redução significativa no número de colônias nos 3 primeiros minutos de operação do reator. Contudo, pode-se inferir que o melhor tempo de detenção hidráulica foi de 15 minutos, tendo em vista a maior redução da concentração de UFC mL⁻¹ que foi de 99,25% em relação ao efluente estudado. Portanto, conclui-se que o sistema pode ser empregado na desinfecção de águas residuárias ou como solução para regiões onde não há tratamento adequado.

Palavras-chave: Radiação UV. Desinfecção. Redução de custos. Tratamento de água e Efluentes.

- ¹ Gestor Ambiental. Universidade Estadual do Rio Grande do Sul – UERGS. E-mail: dddarlesddd@gmail.com
- ² Engenheiro Ambiental. Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho. Mestre em Tecnologia Ambiental. Doutor em Engenharia Civil - Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Professor da Universidade Estadual do Rio Grande do Sul. E-mail: ramirobisognin@yahoo.com.br
- ³ Engenheiro Agrônomo. Mestre e Doutor em Ciência do Solo. Professor da Universidade Estadual do Rio Grande do Sul– UERGS. E-mail: elorensi@yahoo.com.br
- ⁴ Biólogo. Mestre e Doutor em Ecologia. Professor da Universidade Estadual do Rio Grande do Sul. UERGS. E-mail: vascomc@gmail.com.br
- ⁵ Engenheira Agrônoma. Mestre e Doutora em Fitotecnia. Professora da Universidade Estadual do Rio Grande do Sul. E-mail: divanildeguerra@yahoo.com.br
- ⁶ Engenheira Agrônoma. Mestre em Agronomia e Doutora em Ciência do Solo. Professora da Universidade Estadual do Rio Grande do Sul. UERGS. E-mail: danni.maisa@yahoo.com.br

CONSTRUCTION AND EFFICIENCY OF A LOW-COST UV RADIATION PHOTOREACTOR FOR WATER DISINFECTION

ABSTRACT

Water is an essential commodity for the survival and development of living beings, and its quality can be directly related to the health of those who consume or use it. In order to minimize the risks of biological agents present in the water, ultraviolet radiation (UV-C, 254 nm) is an important disinfection alternative because it inactivates the genetic material of the microorganisms without the use of chemical oxidants. Therefore, the objective of this study was to construct a low-cost UV photoreactor and to analyze its efficiency in water disinfection. Initially, commercial systems that used UV radiation for the proposed purpose were searched. Next, the photoreactor was constructed with alternative materials and the analysis of its efficiency in the disinfection of three samples of treated sanitary effluent from the metropolitan region of Porto Alegre - RS. The disinfection efficiency was evaluated by comparing the counts of microorganisms grown in Petri dishes containing MacConkey agar for 48 h at 36 °C, after batch photoreactor operation at different times: 0, 3, 6, 9, 12, 15, 18 and 21 minutes, in addition to a control with the company's water supply. The results were evaluated by ANOVA, followed by Tukey test at the 5% probability level. As results, the assembly of the photoreactor of 15 W in PVC, of 1.6 L, at the total cost of R\$ 137.88, that is, equivalent to 53.05% of the cost of another photoreactor available via e-commerce, of lower dimensions. The analysis of the effluent samples, at the described detention times, indicated that there was no statistical difference between the CTU mL⁻¹ of the water provided by the supply company and the effluent after disinfection for 9 minutes in the photoreactor. There was also a significant reduction in the number of colonies in the first 3 minutes of reactor operation. However, it can be inferred that the best hydraulic detention time was 15 minutes, due to the greater reduction of the concentration of CFU mL⁻¹ that was 99.25% in relation to the studied effluent. Therefore, it is concluded that the system can be used in disinfection of wastewater or as a solution for regions where there is no adequate treatment.

Keywords: UV radiation. Disinfection. Reduction of Custody. Water Treatment and Effluents.

1 INTRODUÇÃO

A água é um bem substancial necessário para o desenvolvimento de todos os seres vivos na Terra. No entanto, sua qualidade pode ser um fator limitante para determinados usos como higienização, dessedentação animal e, principalmente, consumo humano (ARENAS, 2014).

No passado, a inexistência de sistemas de coleta e tratamento de esgoto já fazia o homem acreditar que a água poderia ser um possível transmissor de doenças. Mais tarde, com o desenvolvimento de novas tecnologias e com o avanço da ciência isto ficou comprovado (DANIEL, 2001).

A maioria das nascentes e corpos hídricos, próximos a centros urbanos e/ou locais onde são desenvolvidas atividades agropecuárias, já foram afetados de alguma forma pela ação do homem (ARENAS, 2014). No meio rural, por exemplo, a grande maioria dos agricultores ainda abastece suas residências com água advinda de poços artesianos, açudes ou cacimbas, retiradas diretamente da fonte e sem nenhum tipo de tratamento prévio, o que pode ocasionar doenças (ARSKY; SANTANA, 2012). No entanto, várias técnicas com ações germicidas foram descobertas e têm sido desenvolvidas para o combate dos patógenos na água.

Nos centros urbanos, as estações de tratamento de água (ETA) são instalações físicas responsáveis pela purificação da água, captada de algum corpo hídrico, geralmente rios ou represas, tornando-a própria para consumo humano. Essas estações utilizam processos físicos e químicos para eliminação de sólidos e matéria orgânica da água bruta, como também agentes germicidas para eliminação de patógenos e demais microrganismos a fim de atender os padrões estabelecidos pelo Anexo XX da Portaria de Consolidação (PRC) nº 5 de setembro de 2017, do Ministério da Saúde (BRASIL, 2017).

De todos os processos utilizados no tratamento de águas, a adição de cloro é o mais comum. Suas principais vantagens são: grande poder germicida; formação de residual ativo, que possibilita grande segurança em termos de ação sobre contaminações em etapas posteriores à sua aplicação; tecnologia de operação com baixos custos e já de pleno domínio na área (AGUIAR et al., 2002). Entretanto, estudos recentes mostram alguns pontos importantes a serem cuidados: identificação de microrganismos patogênicos resistentes ao cloro, destacando-se algumas bactérias como a *Pseudomonas aeruginosa*, além de cistos e oocistos de

protozoários; formação de subprodutos da desinfecção como trihalometanos que surgem após o cloro reagir com as substâncias orgânicas encontradas na água (AGUIAR et al., 2002; PIANOWSKI; JANISSEK, 2003; VON SPERLING, 2014).

Deste modo, as buscas e o emprego de outras tecnologias para desinfecção da água tem intensificadas, dentre elas destaca-se o uso de radiação ultravioleta (UV), cujo o espectro é dividido nas seguintes faixas: UV-A (315-400nm), UV-B (280-315nm), UV-C (200-280nm) e UV-V (100-200nm) (TINÔCO, 2011).

A radiação UV-A possui efeito germicida baixo, precisando de longos períodos de exposição para gerar algum efeito na desinfecção. A radiação UV-B é a forma mais agressiva de luz UV e está relacionada com o câncer de pele. Já a radiação UV-C está diretamente associada à desinfecção de águas e ar, uma vez que a radiação eletromagnética a 254 nm é responsável pela inativação do material genético (DNA e RNA) dos microrganismos (TINÔCO, 2011). De acordo com Wright e Cairns (1998), a “radiação é absorvida pelos nucleotídeos – blocos de construção do DNA e RNA – promovendo a formação de união entre nucleotídeos adjacentes, criando moléculas duplas ou dímeros de timina e citosina”. Assim, o DNA não consegue duplicar-se, o que impede a reprodução celular, levando a morte dos microrganismos (DANIEL; CAMPOS, 1993). Segundo Aguiar et al. (2002), esse processo gera baixa quantidade de subprodutos, inferior ao próprio cloro, reduzindo o risco de causar problemas à saúde (WRIGHT; CAIRNS, 1998). Barbosa (2016) destaca que a radiação UV-C não altera o pH e as características físico-químicas da água, diferentemente da maioria dos agentes químicos empregados na desinfecção da água.

A técnica de desinfecção por radiação UV-C é muito utilizada em aquários domésticos, pois não compromete a saúde dos peixes e não deixa resíduo, ao contrário do ozônio, que também é usado para purificação da água, mas que é corrosivo e pode prejudicar diretamente os peixes (NATURALTEC, 2017). Além disso, esse sistema é utilizado também no tratamento de ar, como por exemplo, em dutos de ar condicionado, salas de laboratório, hospitais, clínicas, hotéis, comércio de gêneros alimentícios, entre outros (CHEIS, 2013). Inclusive, a radiação UV vem sendo usada como método complementar para desinfecção em estações de tratamento de esgotos (ETE), como por exemplo: ETE Capuava (Valinhos-SP), ETEs Souza e Anhumas (Campinas-SP), ETE Monjolinho (São Carlos-SP), ETE Água Vermelha (São Carlos-SP) e ETE Barra Bonita (Barra Bonita-SP) (SILVA, 2007).

No entanto, sua eficiência depende do tipo e quantidade de água a ser tratada, bem como da intensidade da radiação UV, ou seja, a força da luz emitida pela lâmpada que entrará em contato com a água e, também, o tempo em que os microrganismos ficarão em contato com a radiação UV, pois o contato poderá não eliminar os microrganismos (AQUA AMBIENTE, 2004).

As pesquisas com desinfecção e fotólise por radiação UV tem se expandido com o passar dos anos, indicando o potencial de aplicação desses sistemas na área do saneamento básico, seja para água potável ou para águas residuárias pouco turvas (DANIEL, 2001; ALHARBI et al., 2017). Entretanto, seu custo ainda é elevado em comparação com outros métodos de desinfecção, como o cloro. Partindo deste ponto, neste trabalho objetivou-se construir um fotorreator de luz ultravioleta de baixo custo para desinfecção de água, com o uso de materiais acessíveis, como alternativa aos sistemas existentes.

2 METODOLOGIA

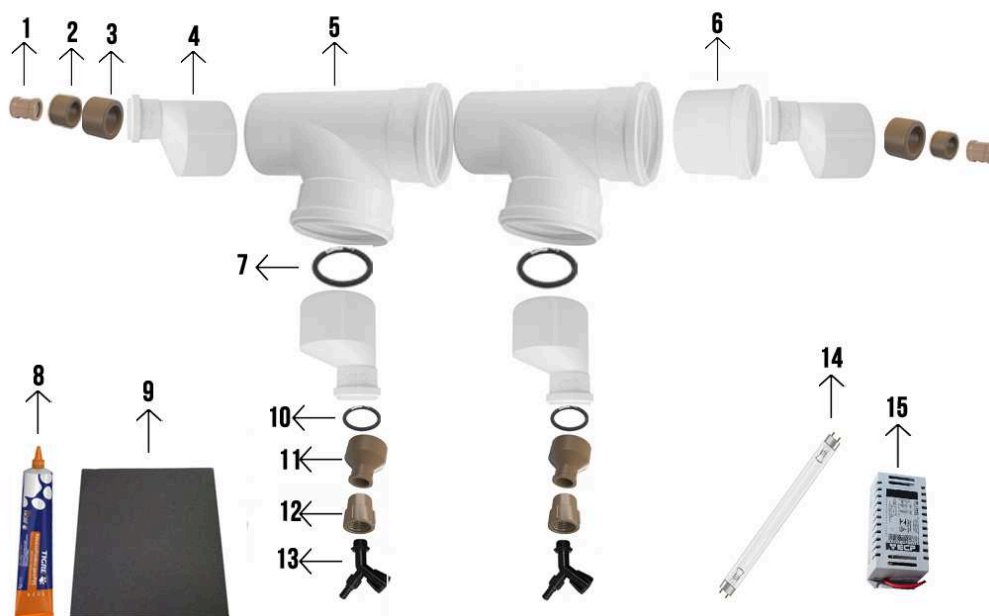


2.1 SELEÇÃO DOS MATERIAIS PARA MONTAGEM DO FOTORREATOR

Para a montagem do fotorreator UV foram pesquisados sites de venda de sistemas prontos, como Indfiltros e SNatural, além de outros projetos artesanais para verificação de quais peças e equipamentos eram utilizados.

Após a pesquisa inicial, foram selecionadas as peças para montagem do fotorreator UV, como apresentado na Figura 1.

Figura 1 – Materiais selecionados para montagem do fotorreator



Legenda: 1-Luva soldável de correr 25mm; 2-Bucha de redução soldável 40x32mm; 3-Bucha de redução 50x40mm; 4-Redução para esgoto 75x50mm; 5-Tee para esgoto 75mm; 6-Luva de esgoto 75mm; 7-Anéis de vedação 75mm; 8-Adesivo plástico; 9-Lixa; 10-Anéis de vedação 50mm; 11-Redução soldável 50x25mm; 12-Luva soldável com rosca 25 x 1/2; 13-Torneiras de plástico pretas; 14-Reator eletrônico 15w; 15-Lâmpada germicida UV-C 45cm 15w.

Fonte: Autores (2018).

2.2 QUANTIFICAÇÃO DOS CUSTOS E AQUISIÇÃO DAS PEÇAS PARA MONTAGEM DO FOTORREATOR

Para verificação dos custos e compra dos materiais foi realizada uma pesquisa nos estabelecimentos de materiais de construção no município de Três Passos/RS, onde o reator foi montado e testado, como etapa subsequente do estudo. Nos estabelecimentos pesquisados foram adquiridas as peças plásticas e conexões necessárias, primando por produtos de menor custo, porém de boa qualidade. Apenas o reator com start e a lâmpada UV-C foram adquiridos via e-commerce, pois não estavam disponíveis nos locais pesquisados.

2.3 ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DO FOTORREATOR UV

A eficiência do fotorreator foi avaliada por meio da capacidade de desinfecção de amostras de efluente sanitário, provenientes de uma estação de tratamento de esgoto doméstico da região metropolitana de Porto Alegre – RS. A amostra de efluente foi coletada em galão plástico de 20 litros, pré-higienizado e ambientado no momento da coleta com o próprio efluente. Em seguida a amostra foi transportada para laboratório, onde avaliou-se a eficiência do reator pela contagem padrão das Unidades Formadoras de Colônia (UFC) por mL de amostra em placas de Petri. Para tanto, foram avaliados diferentes tempos de detenção hidráulica da amostra no fotorreator, como especificado nos ensaios de desinfecção.

2.3.1 Ensaio de desinfecção

As análises foram realizadas no laboratório de ensino da Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (UERGS), Unidade em Três Passos. O método utilizado foi o de contagem padrão em placa (CPP), modificado de Jay (2008), por não utilizar diluições seriadas e aplicar uma alíquota de 100 µL por placa, incubadas a 36 °C por 48 horas. A não realização das diluições seriadas se deve ao fato de que, em contagem preliminar com 100 µL, a amostra de efluente tratado já apresentava de 30 a 300 colônias. Esta é a faixa aceitável e recomendável para a quantificação, segundo Malajovich (2017).

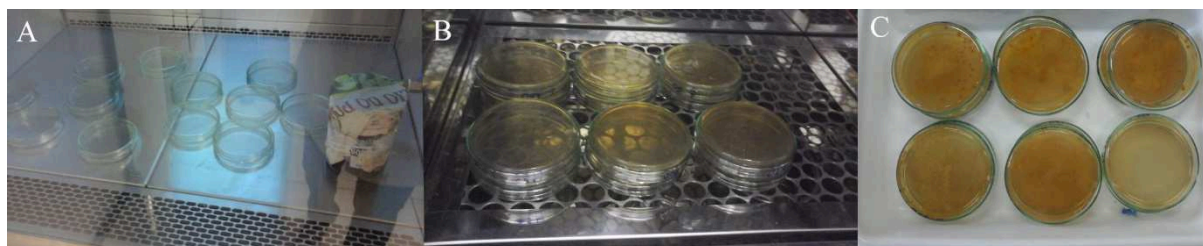
O meio de cultura usado para o crescimento microbiano foi o MacConkey (Marca Kasvi), e sua preparação foi feita de acordo com as recomendações do fabricante, ou seja, 50 g por litro de água deionizada. O meio de cultura foi preparado em Erlenmeyer de 250 mL, sendo autoclavado durante 10 minutos a 121 °C e 1 atm. As placas de Petri de 9 cm de diâmetro foram enroladas em papel pardo e em seguida autoclavadas sob as mesmas condições, porém durante 15 minutos. Na sequência as placas de Petri foram preparadas com a adição de 20 mL de meio de cultivo por placa, o que ocorreu em capela de fluxo laminar, previamente higienizada com álcool 70% (Figura 2A).

Após preparação das placas, foi realizado, inicialmente, o plaqueamento com a transferência de 100 µL de amostra de efluente sanitário às placas de Petri, segundo a técnica de espalhamento em superfície, descrita por Antunes (1995), realizada em

triplicata, sendo em seguida encaminhadas para estufa bacteriológica nas condições já descritas (Figura 2B).

Passada às 48 horas, retirou-se as placas da estufa e contou-se o crescimento das UFCs (Figura 2C).

Figura 2 – Placas de Petri com crescimento de colônias: A - Preparação das placas na capela de fluxo laminar. B - Placas incubadas em estufa bacteriológica. C - Placas com crescimento de UFC após 48h



Fonte: Autores (2018).

Para o teste de desinfecção com o fotorreator UV foram avaliados sete tempos de detenção hidráulica: 3, 6, 9, 12, 15, 18 e 21 minutos, além de uma amostra controle, que não passou pelo equipamento e foi coletada da torneira do próprio laboratório da Universidade, cujo abastecimento é realizado pela companhia de saneamento do Estado. Após a alimentação do fotorreator com 1,6 L de efluente, a luz do equipamento foi ligada. Ao final de cada período de detenção hidráulica, alíquotas de 10 mL foram coletadas em Becker, sendo utilizados 100 μ L para plaqueamento.

Como etapa posterior à contagem de UFCs nas placas, foi realizado teste estatístico bifatorial, com ANOVA seguido de Teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando o programa Sisvar versão 5.6, para comparar os tratamentos (água da companhia de abastecimento e efluente sanitário) com o tempo de detenção no fotorreator.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 QUANTIFICAÇÃO DOS CUSTOS E MONTAGEM DO FOTORREATOR

Os preços das peças variavam pouco de um estabelecimento para o outro, sendo que em alguns elas não estavam mais disponíveis para venda. Sendo assim, optou-se por uma loja onde havia todas as peças necessárias, facilitando sua pré-

montagem no próprio estabelecimento. A Tabela 1 apresenta os valores dos materiais e o gasto total.

Tabela 1 – Relação de materiais e custos para montagem do fotorreator

Material	Quantidade	Preço Unitário (R\$)
Adesivo plástico 17g	1	2,50
Lixa de ferro	1	1,50
Torneira de plástico preta	2	3,25
Bucha redução 40x32mm	2	1,25
Bucha redução 50x40mm	2	1,90
Luva esgoto 75mm	1	3,70
Tee esgoto 75mm	2	9,75
Luva de correr 25x1	1	14,50
Redução esgoto 75x50mm	4	4,50
Luva redução 50x25mm	2	4,50
Luva rosca 25mm ½"	2	2,25
Reator Eletrônico Tubular	1	10,00
Lâmpada T8 Fluorescente 15w 110v 220v Uv-c Filtro Germicida 45cm	1	41,88
Total		137,88

Conforme relação de materiais da Tabela 1, o valor total gasto foi de R\$ 137,88. Este equipamento, ao ser comparado com um sistema similar, também dotado de lâmpada germicida de 15 w, em estrutura de PVC, disponível em e-commerce, representa 53,05% do valor cobrado pelo fotorreator comercial, vendido a R\$ 259,90 (AMERICANAS, 2018). Destaca-se que o modelo comercial ainda é destinado para aquários ou tanques, ou seja, opera em modo de recirculação, haja visto o baixo volume acumulado no interior do equipamento devido ao diâmetro da tubulação de 50 mm. Em contrapartida, o modelo desenvolvido neste estudo foi confeccionado com conexões de 75 mm, garantindo maior volume de armazenamento. Ressalta-se que pode haver variações de valores em diferentes pontos comerciais, contudo o equipamento construído ainda apresenta vantagem em relação ao menor custo e a maior capacidade de armazenamento e tratamento em batelada.

Comparado a outro sistema artesanal disponível na internet, foi gasto R\$ 85,00, ou seja, aproximadamente 62% do custo do modelo apresentado neste trabalho. Porém, ele também possui diâmetro inferior (38mm) e, conseqüentemente, menor capacidade de armazenamento de água no seu interior (MUNDO AQUARIO, 2010).

Destaca-se, ainda, que grande parte das peças difere devido ao seu diâmetro, pois necessitam de conexões menores e mais baratas.

O equipamento foi pré-montado no próprio estabelecimento onde as peças foram adquiridas, buscando o melhor encaixe da lâmpada com as peças plásticas. Na Figura 3 é apresentado o fotorreator montado e em fase de testes.

Figura 3 – Fotorreator montado e em operação no laboratório da UERGS



Fonte: Autores (2018).

Durante o processo de testes, verificou-se um pequeno vazamento por uma das extremidades, mas foi logo reparado. Apesar de ser pouco aparente, é possível notar na Figura 3 uma leve coloração esverdeada, indicando que a lâmpada UV está acesa. Essa falsa cor é gerada pela visualização sobre o PVC. No entanto a coloração real gerada pela lâmpada é roxa.

3.2 ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DO FOTORREATOR

Retiradas às amostras da estufa bacteriológica, foi realizada a contagem das UFCs, para avaliar a eficiência do processo UV na degradação de microrganismos presentes no efluente. Na Tabela 2, estão dispostos os valores médios das amostras (n=3) e o desvio padrão.

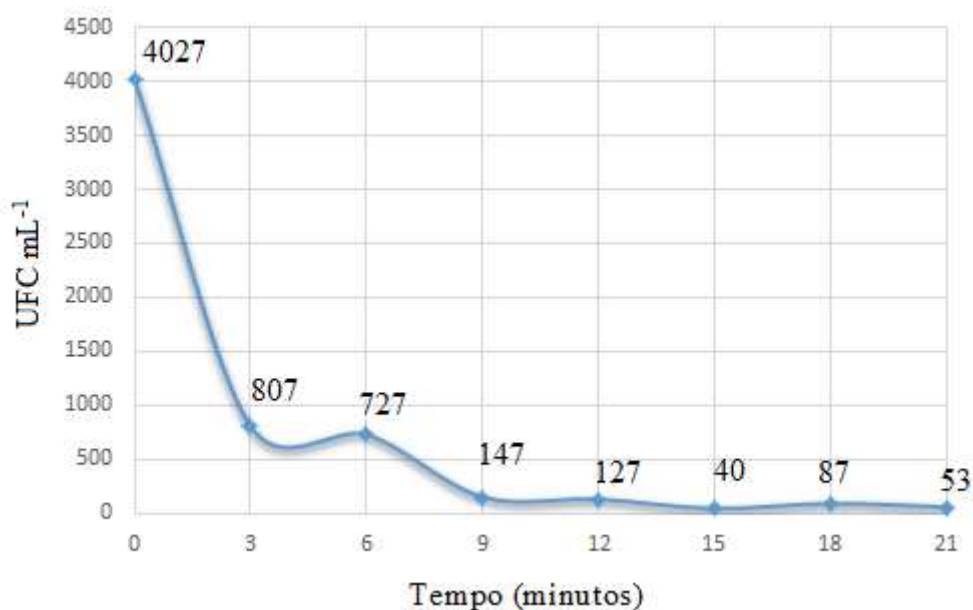
Tabela 2 – Contagem das UFCs nas amostras (n=3) de água e efluente

Amostra	Tempo de radiação UV (min)	Média	Desvio Padrão
Água - controle	0	47	12
Efluente	0	4.027	1.385
Efluente	3	807	76
Efluente	6	727	83
Efluente	9	147	58
Efluente	12	127	31
Efluente	15	40	20
Efluente	18	87	12
Efluente	21	53	31

Como apresentado na Tabela 2, quanto maior o tempo de detenção hidráulica no fotorreator, ou seja, contato do efluente com a radiação UV, a quantidade de colônias diminui consideravelmente. Comparando o valor do efluente bruto com o primeiro tempo em detenção, no caso 3 minutos, nota-se uma queda drástica de aproximadamente 80%, revelando que mesmo em pouco tempo a eficácia do fotorreator é comprovada. Entretanto, dos 15 aos 18 minutos, observa-se um leve aumento da quantidade de UFCs, que decresce novamente aos 21 minutos, fato que pode ter sido ocasionado tanto por contaminação externa, quanto por desuniformidade de contado da amostra com a lâmpada UV.

Seguindo-se as recomendações do fabricante da lâmpada (OSRAM), a eficiência na desinfecção poderia ser aumentada para os primeiros minutos de radiação, caso a lâmpada fosse pré-acesa com antecedência de 15 minutos, momento em que atinge irradiação máxima. Contudo, tal procedimento não foi realizado, pois o intuito era avaliar a influência do tempo sem considerar condições ótimas de operação. Ainda assim, é possível observar uma estabilidade na quantidade de UFCs a partir dos 15 minutos. A Figura 4 demonstra nitidamente a redução da quantidade de colônias conforme as amostras permanecem mais tempo em contato com a radiação UV.

Figura 4 – Decaimento da quantidade de UFCs em relação ao tempo em detenção no fotorreator



A explicação para as reduções no número de UFC é realizada por Daniel (2001), onde segundo o autor, o método de desinfecção com radiação ultravioleta utiliza a energia elétrica a fim de gerar radiação para a eliminação, inativação ou inviabilização dos microrganismos, pois ocorre interação entre os raios UV e as moléculas, provocando a ruptura das ligações químicas, fragmentando-as.

Segundo Pereira (2012), quando a lâmpada produtora de irradiação UV é operada de maneira adequada, o dispositivo é capaz de garantir o ponto de operação na potência nominal da lâmpada, além disso, garante a correta execução na etapa de pré-aquecimento dos filamentos, resultando no aumento da ação germicida em comparação com o reator comercial, possibilitando uma redução de 50 a 75 vezes a concentração de coliformes fecais. Contudo, não é alcançada uma taxa de inativação aceita pelas normas ANSI estabelecidas (99,99% de inativação, ANSI Standard 55). Assim, admite-se que a irradiação UV não seja suficiente e pode ser melhorada, seja aumentando a potência da lâmpada ou o tempo de exposição da água à ação germicida.

Aguiar et al. (2002), ao utilizar um sistema de radiação UV para tratamento de águas com turbidez e cores moderadas, percebeu que o fotorreator teve eficiência de 96,67% na inativação de *E. Coli* nos tempos de 3 a 5 minutos de detenção hidráulica, similar aos resultados obtidos neste estudo. Os resultados da análise estatística dos dados estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Comparação da diferença estatística entre a qualidade da água da companhia de abastecimento com o efluente doméstico após os tempos de detenção hidráulica no fotorreator.

Tratamento/Tempo	0 min	3 min	6 min	9 min	12 min	15 min	18 min	21 min
H ₂ O fornecida pela Companhia de Abastecimento	46,7 ± 12 aA	46,7 ± 12 aA	46,7 ± 12 aA	46,7 ± 12 aA	46,7 ± 12 aA	46,7 ± 12 aA	46,7 ± 12 aA	46,7 ± 12 aA
Efluente sanitário tratado	4026,7 ± 1385 bB	806,7 ± 76 bA	726,7 ± 83 bA	147 ± 58 aA	126,7 ± 31 aA	40 ± 20 aA	86,7 ± 12 aA	53,3 ± 31 aA

*Ao lado dos valores médios de UFC mL⁻¹ das amostras está o desvio padrão. Letras minúsculas diferentes na coluna e maiúsculas diferentes na linha indicam diferença estatística.

Na primeira amostra, sem contato com a radiação UV, houve diferença estatística no número de UFC entre a água da companhia de abastecimento e o efluente sanitário, o que está associado ao tratamento dado à água da companhia que conta com desinfecção por cloro. Apesar da amostra de efluente ter passado por sistema de tratamento, a carga de microrganismos é conhecidamente superior a da água tratada. De acordo com Von Sperling (2014), a quantidade de coliformes totais, protozoários (*Entamoeba histolytica*), helmintos (ovos) e vírus colifagos presentes no esgoto doméstico podem variar, respectivamente, de 10⁹ a 10¹³, 10⁴ a 10⁸, 10³ a 10⁶ e 10⁶ a 10⁷(org/hab.d), portanto, muito superior às concentrações observadas em corpos hídricos superficiais.

Nas amostras seguintes (3 e 6 minutos), apesar da redução drástica de colônias em comparação com a amostra de 0 minutos, a diferença estatística continuou presente. A partir dos 9 minutos em detenção, houve novamente um decréscimo alto na quantidade de UFC, porém a qualidade do efluente aproximou-se, estatisticamente, a qualidade da água, em todas as amostras. Isso se deve, provavelmente, pelo fato de que conforme passava o tempo, mais intensa era a irradiação da lâmpada.

Ao comparar a amostra de água com as amostras de efluente sanitário, em cada tempo de detenção, percebe-se logo na primeira amostra que houve diferença estatística entre elas. A grande quantidade de UFCs presentes no efluente deixa evidente que é possível comparar qualitativamente as amostras. Nos resultados seguintes, mesmo com o decaimento brusco da quantidade de colônias presentes nas amostras, até os 6 minutos de detenção hidráulica, ainda percebeu-se diferença estatística entre as UFCs da água da companhia de abastecimento comparada as do

efluente. Entretanto, a partir de 9 minutos não foi mais constatado diferença estatística entre as UFCs da água da companhia de abastecimento e o efluente.

Como a amostra de água foi à mesma, não foi constatado diferença estatística entre si. Contudo, ao se verificar as amostras do efluente e analisa-las entre si, percebe-se que houve diferença estatística entre a primeira amostra (sem radiação UV) e o restante (independente do tempo de radiação), causada pela forte redução no número de UFCs logo nos 3 primeiros minutos de radiação UV.

O melhor resultado apareceu na amostra de 15 minutos, onde o valor do efluente praticamente equipara-se com o valor da água. Entretanto, percebe-se que nos tempos seguintes, 18 e 21 minutos, houve um pequeno aumento no número de colônias, que pode ter ocorrido devido o fato de que não havia recirculação da amostra dentro do fotorreator, sendo assim, o efluente permanecia estático, onde uma porção mantinha-se em maior contato com a lâmpada, enquanto outra parte ficava mais distante, assim recebendo menos efeito da radiação ultravioleta. Desta forma, no instante da coleta, eventualmente foram coletadas amostras que ficaram menos tempo em contato com a radiação. Vale ressaltar que também é possível que tenha ocorrido contaminação externa, durante o despejo da amostra no meio de cultivo.



4 CONCLUSÃO

O presente estudo possibilitou uma análise de como um fotorreator UV, fabricado a partir de peças comuns e de baixo custo, pode melhorar significativamente a qualidade de águas e efluentes, servindo como opção para comunidades que vivem distantes de estações de tratamento.

O sistema pode ser montado com peças que podem ser encontradas em diversos estabelecimentos comerciais. Também se observou que o fotorreator foi capaz de reduzir significativamente a concentração de microrganismos do esgoto doméstico, o que evidencia seu potencial de utilização, tanto para águas residuárias como de contato direto e/ou de abastecimento.

Por fim, dada à importância do assunto, evidencia-se a necessidade do desenvolvimento de tecnologias e pesquisas na área que possam beneficiar a qualidade de vida das pessoas, almejando melhorias contínuas nos sistemas de

tratamento de água e efluentes, principalmente, nas regiões com baixos índices de saneamento básico.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, A. M. S.; BRITO, L. L. A.; FERNANDES NETO, M. L. et al. Avaliação do emprego da radiação ultravioleta na desinfecção de águas com turbidez e cor moderadas. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 7, p. 37-47, 2002.

ALHARBI, S. K.; KANG, J.; NGHIEM, L. D.; MERWE, J. P. van de; LEUSCH, F. D. L.; PRICE, W. E. Photolysis and UV/H₂O₂ of diclofenac, sulfamethoxazole, carbamazepine, and trimethoprim: Identification of their major degradation products by ESI-LC-MS and assessment of the toxicity of reaction mixtures. **Process Safety and Environmental Protection**, v.112, p. 222-234, 2017.

AMERICANAS. **Filtro Uv-c 15wl Clean Jump Para Lagos, Tanques E Aquários Até 3500 Litros**. Disponível em: https://www.americanas.com.br/produto/27638178/filtro-uv-c-15wl-clean-jump-para-lagos-tanques-e-aquarios-ate-3500-litros?cor=Preto&pfm_carac=filtro%20uV%20aqu%C3%A1rio&pfm_index=2&pfm_page=search&pfm_pos=grid&pfm_type=search_page%20&tamanho=5cm%20x%2052cm%20x%2013cm. Acesso em: 24 jun. 2018.

ANTUNES, G. S. **Manual de diagnóstico bacteriológico**. 2 ed. Porto Alegre: UFRGS, 278 p., 1985

AQUA AMBIENTE. **Tratamento águas ultravioleta**. 2004. Disponível em: <http://mariorebola.com/home/wp-content/uploads/2011/09/AquaAmbiente-Tratamento-de-%C3%81guas-por-Ultravioleta.pdf>>. Acesso em: 16 maio 2017.

ARENAS, L.A.O. **Desenvolvimento de Estrutura para Purificação de Água Potável, Através da Irradiação de UV com Lâmpadas Fluorescentes Especiais**. 157 f. 2014. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica, UNESP, Ilha Solteira, 2014.

ARSKY, I. e SANTANA, V. **Acesso à água na zona rural: o desafio da gestão**. 2012. Disponível em: <http://www4.planalto.gov.br/consea/comunicacao/artigos/2012/acesso-a-agua-na-zona-rural-o-desafio-da-gestao>>. Acesso em: 29 mai.2017.

BARBOSA, A. O. **Uso da radiação ultravioleta como técnica avançada de tratamento de água**. 53 f. 2016. Monografia de graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2016.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 5, de 28 de setembro de 2017. **Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde**. Disponível em:

<academico.uergs.edu.br/porta1#?module=porta1&action=main:protocoloencaminham ento>. Acesso em: 05 mai. 2018.

CHEIS, D. **Desinfecção de água e efluentes com raios ultravioleta**. 2013. Disponível em: <<http://www.revistatae.com.br/6102-noticias>>. Acesso em: 15 abr. 2017.

DANIEL, L. A. **Processos de desinfecção e desinfetantes alternativos na produção de água potável**. 2001. 1ª ed., 2001.

DANIEL, L. A.; CAMPOS, J. R. **Metodologia simplificada para determinação de parâmetros cinéticos de desinfecção com radiação ultravioleta**. In: Seminário Internacional - Desinfecção de Águas de Abastecimento e Residuárias Em Países em Desenvolvimento, 1993, Belo Horizonte, 109 Brasil. Anais. Belo Horizonte: Ed. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES – Seção Minas Gerais, 1993. p.229-245.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. **Manual prático de análise de água**. 2013. 4ª ed. Brasília. Disponível em: < http://www.funasa.gov.br/site/wp-content/files_mf/manual_pratico_de_analise_de_agua_2.pdf>. Acesso em: 22 jun. 2017.

JAY, J. M. **Modern food microbiology**. 5 ed. Gaithersburg: Aspen Publishers. 661 p., 1998

MALAJOVICH, M. A. **O Número de Bactérias**. Biotecnologia: ensino e divulgação. Disponível em: < <https://bteduc.com/guias/87-O-numero-de-bacterias.pdf>>. Acesso em: 23 jun. 2017.

MUNDO AQUARIO. **Filtro UV Caseiro**. 2010. Disponível em: < <http://aquarismobr.blogspot.com/2010/06/filtro-uv-caseiro.html>>. Acesso em: 02 abr. 2017.

NATURALTEC. **Desinfecção de Efluentes e Esgoto Tratado**. 2017. Disponível em: <<http://www.naturaltec.com.br/Ultravioleta-UV-Desinfeccao-Agua-Efluentes.html>>. Acesso em: 15 abr. 2017.

PEREIRA, B. **Desenvolvimento e ensaios de reatores para lâmpadas UV: purificação de água em ambientes residenciais e comerciais**. 158 f. 2012. TCC (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Laboratório de Eletrônica de Potência, Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2012.

PIANOWSKI, E. H.; JANISSEK, P. R. Desinfecção de efluentes sanitários com uso de cloro: avaliação da formação de trihalometanos. **Revista Técnica da Sanepar**, v. 20, n. 20, p. 6-17, 2003.

SILVA, S.S. **Aplicação de radiação UV para desinfecção de efluente da associação de reator UASB e biofiltro aerado submerso**. 149 f. 2007. Dissertação de Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

TINÔCO, J. D. **Desinfecção por radiação ultravioleta: estudo do desempenho do processo e avaliação econômica.** 229 f. 2011. Tese de Doutorado em Engenharia Hidráulica e Saneamento, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias, v.1. 4ª ed. DESA, UFMG, 452 p., 2014.

WRIGHT, H. B., CAIRNS, W. L. **Desinfección de agua por medio de luz ultravioleta.** In: SIMPOSIO REGIONAL SOBRE CALIDAD DEL AGUA: DESINFECCIÓN EFECTIVA, 1998, Lima, Peru. Calidad del Agua: Desinfección Efectiva. 1998. p.1-28.

