



**Universidade Federal do Oeste do Pará
Instituto de Ciências e Tecnologia das Águas
Bacharelado em Engenharia Sanitária e Ambiental**

**PROCESSO DE DESINFECÇÃO POR RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA EM
EFLUENTE DE FILTRO BIOLÓGICO PERCOLADOR**

REBECCA DA SILVA FRAIA

**Santarém – Pará
2018**

REBECCA DA SILVA FRAIA

**PROCESSO DE DESINFECÇÃO POR RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA EM
EFLUENTE DE FILTRO BIOLÓGICO PERCOLADOR**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso de Engenharia Sanitária
e Ambiental da Universidade Federal do Oeste
do Pará, para obtenção do título de Bacharel
em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Área de Concentração:
Tratamento de Águas Residuárias

Orientador:
Prof. Dr. Israel Nunes Henrique

Coorientadora:
Profa. Dra. Graciene do Socorro
Taveira Fernandes

**Santarém – Pará
2018**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas – SIGI/UFOPA

F812p Fraia, Rebecca da Silva

Processo de desinfecção por radiação ultravioleta em efluente de filtro biológico percolador./ Rebecca da Silva Fraia. – Santarém, 2018.

43 fls.: il.

Inclui bibliografias.

Orientador: Israel Nunes Henrique

Coorientadora: Graciene do Socorro Taveira Fernandes

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Oeste do Pará, Instituto de Ciências e Tecnologia das Águas, Curso Bacharelado em Engenharia Sanitária e Ambiental.

1. Águas residuárias. 2. Coliformes totais. 3. Lâmpada UV. I. Henrique, Israel Nunes, *orient.* II. Fernandes, Graciene do Socorro Taveira, *coorient.* III. Título.

CDD: 23 ed. 628.3098115

Bibliotecária - Documentalista: Renata Ferreira – CRB/2 1440

FOLHA DE AVALIAÇÃO

Nome do Autor: FRAIA, Rebecca da Silva

Título: Processo de desinfecção por radiação ultravioleta em efluente de filtro biológico percolador

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal do Oeste do Pará, para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Data da aprovação:

Banca Examinadora

_____ Orientador e Presidente

Prof. Dr. Israel Nunes Henrique

Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental/Universidade Federal do Oeste do Pará

_____ Membro Titular

Prof. Dr. Ruy Bessa Lopes

Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental/Universidade Federal do Oeste do Pará

_____ Membro Titular

Prof.ª Diani Fernanda da Silva Less

Curso de Gestão Ambiental/ Universidade Federal do Oeste do Pará

A Deus pelo dom da Vida. Aos meus pais, minhas irmãs, meu sobrinho e meu namorado que sempre me incentivaram nos momentos difíceis. O cuidado e a dedicação de vocês foram meu antídoto nessa caminhada vitoriosa. Amo Vocês.

AGRADECIMENTOS

A Deus, o grande Mestre, por me fortalecer nos momentos difíceis e trazer sabedoria para condução de tudo que foi preciso nesta etapa da minha vida.

Aos meus pais, Demétrio Fraia e Rosa Fraia, por serem meu exemplo de vida, amor, persistência e honestidade.

As minhas irmãs e sobrinho, pela paciência e atenção, que mesmo com a distância faziam-se presentes em minha vida.

Ao Yuri Castro, meu amor, amigo, incentivador e paciente, que sempre esteve do meu lado durante este período.

Ao Professor Dr. Israel Nunes Henrique pela orientação, amizade e incentivo durante a realização desse trabalho.

A Professora Dra. Graciene do Socorro Taveira Fernandes, pela co-orientação e apoio na realização desse trabalho.

A mestranda Ana Queloene Corrêa, por todo apoio e dedicação na execução desse trabalho, principalmente nas análises microbiológicas.

A mestranda Patrícia Silva por sua ajuda no decorrer deste trabalho.

A equipe de técnicos do Laboratório de Ensino Multidisciplinar de Biologia Aplicada (LaBio), Gilmara Oliveira, Jhéssica Frota e Cleberson Oliveira, que não mediram esforços para acompanhar as análises microbiológicas.

A Professora. Dra. Andreia Cavalcante Pereira, que sempre me ajudou em vários momentos desta caminhada. Suas palavras de incentivo e conforto foram de grande importância para conquista desse sonho.

Aos colegas do Laboratório de Tratamento de Águas Residuárias (Labtar), Clodoaldo de Sousa, Fernando Pires, Keiciane Sousa, Layza Sabine, Timóteo Ferreira pelas experiências que passamos juntos e pelos momentos de descontração.

A Nathalia Scherer, pela ajuda nos desenhos dos sistemas.

As meninas da Ficologia, pelos momentos de descontração, principalmente na hora do almoço e dos cafezinhos.

A Raquel Alves, por sempre me acolher em sua casa, por todo apoio, e principalmente por ter me aturado durante todo esse tempo.

“Livra-me, meu Deus, das mãos do ímpio, das mãos do homem injusto e cruel.” Salmos 71:4

“Direi do Senhor: Ele é o meu Deus, o meu refúgio, a minha fortaleza, e nele confiarei.” Salmos 91:2

RESUMO

FRAIA, R. S. **Processo de desinfecção por radiação ultravioleta em efluente de filtro biológico percolador**. 2018. 43f. Trabalho de conclusão de curso (Tratamento de Águas Residuárias) – Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal do Oeste do Pará.

No Brasil, a falta de sistema de esgotamento sanitário, é a principal causa de poluição dos recursos hídricos, principalmente nas áreas mais povoadas, além de ser responsável por várias doenças que acometem a população. Neste contexto, a desinfecção por radiação ultravioleta tornou-se uma opção bem aceita para a desinfecção de água e águas residuárias. Diante disto, o presente trabalho teve como objetivo realizar um tratamento avançado de desinfecção por radiação UV em efluente de filtro biológico percolador (FBP). Os sistemas foram construídos em escala laboratorial, funcionando em regime de bateladas, foi adaptada uma lâmpada UV no interior dos sistemas, onde era acionada manualmente, no sistema I a lâmpada recebeu um revestimento de vidro borossilicato (adaptação de uma proveta) e no sistema II o efluente foi recebido a radiação direta. Observou-se que o sistema I mostrou-se de fácil operação e limpeza, no entanto, em relação a sua principal finalidade que era a desinfecção de efluente, apresentou-se ineficiente, pois os resultados obtidos não atenderam o objetivo de redução da carga microbiana e dos coliformes totais e termotolerantes. Os resultados encontrados no sistema II mostraram estar de acordo com os padrões estabelecidos pela Resolução nº 357/2005 do CONAMA para os parâmetros coliformes totais, coliformes termotolerantes e *Escherichia coli*. Diante dos resultados obtidos pelas análises microbiológicas, verificou-se que o revestimento que a lâmpada UV recebeu no sistema I influenciou negativamente o processo de desinfecção.

Palavras-chave: Águas residuárias. Coliformes totais. *Escherichia coli*. Lâmpada UV.

ABSTRACT

FRAIA, R. S. **Process of disinfection by ultraviolet radiation in percolating biological filter effluent.** 2018. 43f. Trabalho de conclusão de curso (Tratamento de Águas Residuárias) – Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal do Oeste do Pará.

In Brazil, the lack of a sewage system is the main cause of pollution of water resources, especially in the most populated areas, besides being responsible for several diseases that affect the population. In this context, ultraviolet radiation disinfection has become a well accepted option for disinfection of water and wastewater. In view of this, the present work had the objective of performing an advanced treatment of disinfection by UV radiation in biological filter effluent percolator (FBP). The systems were built in laboratory scale, working in a batch regime, a UV lamp was adapted inside the systems, where it was manually operated, in system I the lamp received a coating of borosilicate glass (adaptation of a test tube) and system II the effluent fou received the direct radiation. It was observed that the system I was easy to operate and clean, however, in relation to its main purpose was the disinfection of effluent, it was inefficient, because the results obtained did not meet the objective of reducing the microbial load and total and thermotolerant coliforms. The results found in system II showed to be in agreement with the standards established by Resolution nº 357/2005 of CONAMA for the total coliform parameters, thermotolerant coliforms and *Escherichia coli*. In view of the results obtained by the microbiological analyzes, it was verified that the coating that the UV lamp received in system I negatively influenced the disinfection process.

Keywords: Waste water. Total coliforms. *Escherichia coli*. UV lamp.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Espectro eletromagnético.	19
Figura 2 - Efeito da radiação sobre a cadeia de DNA da bactéria, dimerizando a timina.....	20
Figura 3 - Sistema UV I.	24
Figura 4 - Vista interna do sistema I	25
Figura 5 - vista frontal do sistema I.....	26
Figura 6 - Sistema de desinfecção usado no etapa 2.....	27
Figura 7 - Vista interna do sistema II	27
Figura 8 - Vista superior do sistema II	28
Figura 9 - a) Teste 1 em 30 min de exposição; b) Teste 2 em 30min de exposição.....	32
Figura 10 - a) Teste 1 em 60 min de exposição; b) Teste 2 em 60min de exposição.....	32
Figura 11 - Quantificação de coliformes expressa em NMP/100mL, nos efluentes analisados.	33
Figura 12 - Quantificação dos coliformes termotolerantes em NMP/100 mL.	33
Figura 13 - a) Resultados da quantificação de coliformes em NMP/100 mL; b) Resultados da quantificação da carga microbiana em UFC/100 mL.	34
Figura 14 - Quantificação da carga microbiana UFC/100 mL.	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais mecanismos de ação de acordo com o método utilizado no processo de desinfecção.	14
Tabela 2 - Ficha técnica da lâmpada ultravioleta usada nos experimentos.	25
Tabela 3 - Parâmetros analisados durante o processo de desinfecção por radiação UV	29
Tabela 4 - Parâmetros físicos e químicos analisados durante o processo de desinfecção por radiação UV em efluente de FBP e RUV.	31

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS	12
2.1 Objetivo geral.....	12
2.2 Objetivos específicos.....	12
3 REVISÃO DE LITERATURA	13
3.1 Desinfecção dos efluentes domésticos e Saúde Pública	13
3.2 Fundamentos da desinfecção	13
3.2.1 Princípios de inativação de microrganismos.....	13
3.2.2 Fatores que influenciam a desinfecção	15
3.2.2.1 Dose de radiação ultravioleta	15
3.2.2.2 Tempo de exposição.....	15
3.2.2.3 Concentração e tipo de agente químico	16
3.2.2.4 Temperatura	16
3.2.2.5 Número e tipo de microrganismos	17
3.3 Radiação Ultravioleta.....	17
3.3.1 A desinfecção de efluentes com a Radiação UV.....	19
3.3.2 Processos e Mecanismo de Desinfecção da Radiação UV	19
3.3.3 Subprodutos da desinfecção com radiação UV	20
3.4 Sistema de tratamento aeróbio - Filtro biológico percolador (FBP).....	21
3.5 Coliformes e <i>Escherichia coli</i> como indicadores de contaminação fecal	22
3.6 Contagem Padrão em Placas (CPP).....	23
4 MATERIAL E METODOS	24
4.1 Etapa 1.....	24
4.1.1 Construção do sistema I.....	24
4.1.2 Operação	25
4.2 Etapa 2	26
4.2.1 Construção do sistema II	26
4.2.2 Operação	28
4.3 Etapa 3	28
4.4 Análise física, química e microbiológica.....	28
4.5 Análise de dados	30
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	31
6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	38
REFÊRENCIAS	39

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, a falta de sistema de esgotamento sanitário, é a principal causa de poluição dos recursos hídricos, principalmente nas áreas mais povoadas, além de ser responsável por várias doenças que acometem a população, sobretudo aquelas pessoas menos favorecidas (GONÇALVES; JORDÃO; ALÉM SOBRINHO, 2003; RECESA, 2008).

O risco de contaminação está relacionado ao fato de que os esgotos contêm uma série de organismos, alguns patogênicos, como bactérias, fungos, protozoários e vírus. (CHERNICHARO *et al.*, 2001; OLIVEIRA, 2003).

Diante disto, é necessária a implantação de processos para o controle de agentes transmissores de doenças, onde o contato humano com esgotos é provável. Nesse sentido, Gonçalves; Jordão e Além Sobrinho (2003), consideram os processos de desinfecção de esgotos a prática mais segura e de menor custo.

A desinfecção é um tratamento que permite a destruição ou a eliminação dos microrganismos transmissores de doenças. A desinfecção de efluentes domésticos pode ser parcial, de acordo com o uso pretendido para o mesmo (DANIEL, 2001; LAPOLLI *et al.*, 2003). É um processo, usualmente, realizado por meios de agentes químicos, físicos e meios mecânicos (CHERNICHARO *et al.*, 2001).

Dentre os mecanismos físicos utilizados no controle de microrganismos, pode-se destacar a radiação ultravioleta. É considerada uma alternativa viável comparando-a com a desinfecção química, pois é isenta de subprodutos tóxicos, os quais geralmente são produzidos durante a desinfecção química. É um processo que não altera as propriedades químicas da água.

Como alternativas de tratamento, tem-se estudado reatores de ações por radiação ultravioleta com lâmpadas UV, que são caracterizadas pela simplicidade de operação e funcionamento, com a possibilidade de instalação do sistema fotoquímico em um espaço físico reduzido (CHIN; BERUBE, 2005; KOIVUNEN; HEINONEN-TANSKI, 2005).

A inativação dos microrganismos por meio da radiação ultravioleta ocorre quando a radiação penetra a parede celular e é absorvida pelos ácidos nucléicos, e em menor extensão pelas proteínas e outras moléculas biologicamente importantes (DANIEL; CAMPOS, 1992).

Nesse contexto, o presente estudo buscou realizar o processo de desinfecção por meio da radiação ultravioleta em efluente de filtro biológico percolador (FBP), onde o processo baseou-se na construção de reatores em escala de bancada laboratorial e análises microbiológicas dos efluentes em tempos de exposição distintos.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Realizar um tratamento avançado de desinfecção por radiação UV em efluente de filtro biológico percolador, tratando esgoto doméstico.

2.2 Objetivos específicos

- ✓ Desenvolver um sistema em escala de bancada, possibilitando o processo de desinfecção, por meio da recirculação do efluente e exposição a radiação ultravioleta;
- ✓ Analisar o processo de desinfecção por radiação ultravioleta;
- ✓ Avaliar a eficiência do processo de desinfecção de efluentes com radiação UV, com base na inativação de microrganismos indicadores de contaminação fecal, *Escherichia coli*.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Desinfecção dos efluentes domésticos e Saúde Pública

O crescimento populacional tem provocado aumento na demanda por águas que são utilizadas principalmente para o consumo, recreação e irrigação de culturas agrícolas. Com isso, é elevado o aumento da produção de esgotos dispostos inadequadamente, tendo como consequência, a contaminação do solo, contaminação das águas superficiais e subterrâneas e constituindo-se em perigosos focos de disseminação de doenças (OLIVEIRA, 2003). De forma a proteger a saúde humana e o meio ambiente, os dejetos gerados pelas atividades humanas, comerciais e industriais necessitam ser coletados, transportados, tratados e dispostos adequadamente (BRASIL, 2008).

O risco de contaminação está relacionado ao fato de que os esgotos contêm uma série de organismos, alguns patogênicos, que são excretados juntamente com as fezes humanas e animais. Nesse sentido, a desinfecção dos esgotos deve ser considerada quando se pretende reduzir os riscos de transmissão de doenças infecciosas ou quando há a probabilidade de ocorrer o contato humano, direto ou indireto, com as águas contaminadas (CHERNICHARO *et al.*, 2001).

Oliveira (2003), considera que os organismos patogênicos de maior preocupação, quando o homem é exposto a ambientes contaminados com esgotos, são as bactérias e os vírus entéricos, além dos parasitas intestinais. Uma grande variedade destes organismos está sempre presente em todos os esgotos de origem doméstica.

A desinfecção ultravioleta tornou-se uma opção bem aceita para a desinfecção de água e águas residuárias. Uma das principais limitações da desinfecção com UV surge da ausência de determinação da dose de radiação (KOLLU; ÖRMECI, 2015).

3.2 Fundamentos da desinfecção

3.2.1 Princípios de inativação de microrganismos

De acordo com Oliveira (2003), a desinfecção é uma destruição seletiva de organismos causadores de doenças, sem que seja necessária a eliminação de todos os organismos. É frequentemente obtida pelo uso de agentes químicos, físicos, e por meios mecânicos.

Metcalf e Eddy (2016), propuseram cinco mecanismos para explicar a ação dos agentes de desinfecção: danos à parede celular; alteração da permeabilidade da célula; alteração da natureza coloidal do protoplasma no interior da célula; alteração do DNA ou RNA dos organismos; inibição da atividade enzimática no protoplasma.

Dessa maneira, a tabela 1 apresenta esses mecanismos relacionados com o tipo de desinfecção utilizando cloro, ozônio, radiação UV e pasteurização.

Tabela 1 - Principais mecanismos de ação de acordo com o método utilizado no processo de desinfecção.

CLORO	OZÔNIO	RADIAÇÃO UV	PASTEURIZAÇÃO
a) Oxidação direta da parede celular, com liberação do conteúdo da célula para o meio líquido.	a) Oxidação direta da parede celular, com liberação do conteúdo da célula para o meio líquido.	a) Danos ao DNA e ao RNA (formação de ligações duplas).	a) A estrutura das enzimas dentro das células é alterada pelo calor, inativando as células.
b) Modificação da permeabilidade da parede celular	b) reações com radicais produzidos na decomposição do ozônio.	b) Os ácidos nucleicos nos microrganismos são os que mais absorvem energia nos comprimentos de onda variando entre 240-280nm	b) a estrutura de proteínas e ácidos graxos da parede celular é danificada pelo calor, liberando o conteúdo das células para o líquido.
c) Alteração do protoplasma da célula	c) Danos aos constituintes do ácido nucleico.	c) Como o DNA e o RNA mantém as informações para a reprodução dos microrganismos, os danos causados inativam os organismos.	c) Os fluídos dentro da célula podem expandir e romper a parede da célula, liberando o seu conteúdo para o meio ambiente.
d) Inibição da atividade enzimática e) Danos ao DNA e ao RNA			

Fonte: Adaptada de METCALF e EDDY, 2016.

Alguns oxidantes como o cloro e ozônio, causam destruição ou alterações na parede celular ocasionando lise celular e a morte dos organismos. A exposição à radiação UV pode causar a formação de duplas ligações ou a ruptura das cadeias de DNA ou RNA de bactérias e vírus, respectivamente (DANIEL, 1992; METCALF; EDDY, 2016).

Segundo os mesmos autores, a inativação dos microrganismos ocorre por meio desse processo de replicação, tornando-os incapazes de se reproduzirem ou se multiplicarem. Quando se aplica calor ao efluente, tanto a natureza das enzimas no protoplasma das células como a estrutura da parede celular é alterada, o que impede a reprodução desses microrganismos.

Portanto, a desinfecção assume grande importância na inativação dos microrganismos patogênicos, visando atender as legislações vigentes.

3.2.2 Fatores que influenciam a desinfecção

3.2.2.1 Dose de radiação ultravioleta

O termo dose de radiação ultravioleta é frequentemente utilizado na literatura para representar a exposição de um dado organismo à irradiação na faixa germicida. Gonçalves *et al.* (2003), afirmam que a dose UV é o principal parâmetro de projeto e controle operacional da desinfecção UV, e é definida como o produto da intensidade de radiação I e do tempo de exposição t .

A inativação de um número fixo de microrganismos pode ser alcançada se mantendo a dose constante, ou seja, em curto intervalo de tempo e alta intensidade ou em tempo longo e baixa intensidade (MORGADO, 2008).

Um problema que pode ocorrer com a utilização de UV é recuperação de parcela dos microrganismos inativados (OLIVEIRA, 2003). Isso significa que, sob irradiação de luz na faixa do visível, pode ocorrer reversão das reações fotoquímicas, e microrganismos tratados por uma dose UV sub-letal reparam os danos causados a seu DNA, sendo, portanto, reativados e mantêm algumas funções enzimáticas (LINDENAUER; DARBY, 1998; OLIVEIRA, 2003).

A reativação de microrganismos em águas residuárias cinzas é fenômeno comum em bactérias entéricas após a desinfecção UV. Existem poucos estudos dedicados ao sistema de reparo desses microrganismos (LAZAROVA *et al.*, 1999; HIJNEN; BEERENDONK; MEDEMA, 2006; GUO *et al.*, 2011). Malley *et al.* (2004), explicam que se o dano causado pela dose de UV não for suficiente para causar lise na célula microbiana, e havendo aumento da disponibilidade de nutrientes para microrganismos através da quebra de carbono em moléculas menores, esses dois fatores podem promover o crescimento microbiano.

3.2.2.2 Tempo de exposição

O tempo de contato do agente desinfetante com os microrganismos é um dos principais fatores na eficiência do processo de desinfecção. De acordo com a lei de Chick, (CHICK, 1908), a qual é representada pela equação 1, quanto maior for o tempo de contato,

maior a eficiência de inativação dos microrganismos.

$$\frac{dN_t}{dt} = -KNt \quad \text{equação 1}$$

Onde:

dN_t/dt = taxa de variação do número de organismos com o tempo

K = constante de inativação (T^{-1})

N_t = número de organismos no tempo t

t = tempo de contato

Segundo Metcalf e Eddy (2016), se N_0 é número de organismos $t=0$, a equação 1 pode ser integrada da seguinte maneira: $\ln \frac{N_t}{N_0} = -kt$. equação 2

3.2.2.3 Concentração e tipo de agente químico

A eficiência da inativação de microrganismos dependendo do tipo de desinfetante, e dentro de certos limites, da concentração do agente químico, a qual é expressa pela equação 3 (OLIVEIRA, 2003).

$$C^n \times t = \text{constante} \quad \text{equação 3}$$

Na qual:

C = concentração do desinfetante

n = constante

t = tempo necessário para se atingir um percentual constante de destruição.

3.2.2.4 Temperatura

A taxa de eliminação de microrganismo com a utilização de desinfetantes químicos é influenciada pelo efeito da temperatura, quanto maior for o aumento da temperatura, maior será aceleração do processo de desinfecção (METCALF; EDDY, 2016). Nesse caso, a temperatura pode ser representada pela relação de van't Hoff-Arrhenius (equação 4).

$$\ln \frac{A_1}{A_2} = \frac{E (T_2 - T_1)}{RT_1 T_2} \quad \text{equação 4}$$

Onde:

A1, A2 = coeficiente de letalidade específica nas temperaturas T1 e T2

E= energia de ativação, j/mol

R= constante universal dos gases (8,3144 j/mol.k)

3.2.2.5 Número e tipo de microrganismos

A eficácia do processo de desinfecção é influenciada pela natureza e pelas condições dos microrganismos (CHERNICHARO *et al.*, 2001). Uma vez que, a concentração de organismos no esgoto influencia todo o processo, pois quanto mais elevado o número inicial de organismo no meio, maior deverá ser o tempo de exposição com o desinfetante para conseguir a eliminação dos mesmos.

As células de bactérias viáveis em processo de crescimento vegetativo são, em geral, mais facilmente inativadas do que as células mais velhas, pois estas últimas já desenvolveram um revestimento externo de biofilme. As bactérias esporogênicas entram em um estado de proteção quando submetidas a condição de estresse como aumento de temperatura, ou quando são expostas a um agente tóxico (MARTINS; MAZOLLA e PENNA, 2001; MALLEY *et al.*, 2004; METCALF; EDDY, 2016).

Para casos específicos, como resistência de alguns organismos, é necessária a utilização de mais de um agente de desinfecção como calor ou radiação UV, uma vez que a ação dos agentes químicos apresenta baixa eficiência sobre os mesmos.

Vários estudos relataram uma maior resistência a UV por bactérias ambientais e esporos bacterianos, em comparação com cepas cultivadas em laboratório. Isso significa que maiores fluências UV são necessárias para obter o mesmo nível de inativação (HIJNEN *et al.*, 2006).

3.3 Radiação Ultravioleta

O estudo sobre a radiação ultravioleta (UV) na desinfecção em águas residuárias tem sido considerado importante no aspecto de reuso e dispensa final desses efluentes ao meio

ambiente. As propriedades germicidas da UV são conhecidas desde início do século XX. A descoberta da UV e sua função bactericida ocorreram no século XIX, nesse sentido, a evolução do uso da radiação ultravioleta para a desinfecção de efluentes iniciou realmente no século XX, com o desenvolvimento de novas lâmpadas, reatores (para acionamento das lâmpadas), assim como, outros equipamentos auxiliares (METCALF; EDDY, 2016).

Sendo um agente físico, a radiação eletromagnética da luz ultravioleta varia entre 100 a 400 nm (figura 1), bem como, está subdividido neste intervalo em várias regiões. Essa classificação é mais ou menos empírica, contudo integra o histórico de descoberta de diferentes faixas UV com efeitos químicos e fisiológicos, principalmente dentro dessa faixa de 300 a 200 nm (MASSCHELEIN, 2002). Dessa forma, a classificação da radiação UV é dividida em três categorias segundo seus efeitos sobre os seres vivos (GONÇALVES *et al.*, 2003), a seguir:

Categoria 1: UV-A (315-400 nm): possui comprimento de onda entre 315 nm (90,8 Kcal/einstein) e 400 nm (71,5 kcal/einstein), é o menos perigoso para os seres humanos. É utilizada para causar fluorescência em materiais.

Categoria 2: UV-B (280-315 nm): sua radiação possui um comprimento de onda entre 280 (102 Kcal/einstein) e 315 nm (90,8 Kcal/einstein). Trata-se de uma radiação que gera danos em tecidos biológicos e em qualquer quantidade mínima não pode ser absorvida completamente na atmosfera.

Categoria 3: UV-C (200-280 nm): possui comprimento de onda variando de 200 (143 Kcal/einstein) a 280 nm (102 Kcal/einstein), sendo que o comprimento de onda de maior efeito para inativação de microrganismo é 254 nm.

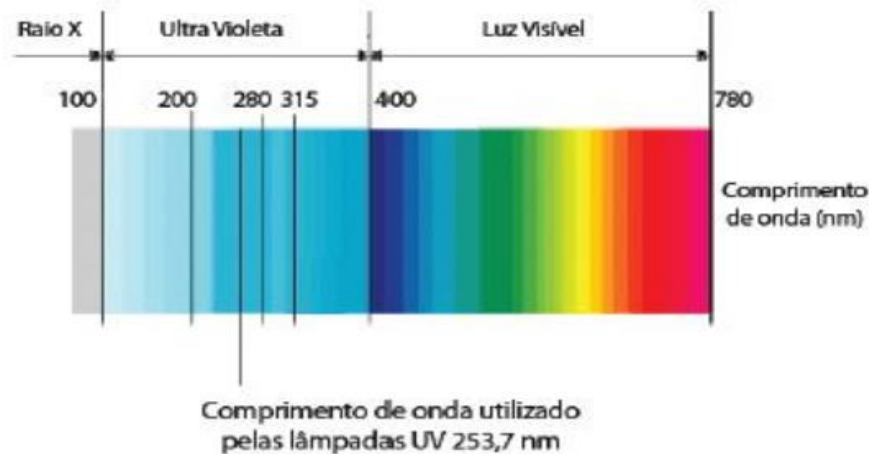


Figura 1 - Espectro eletromagnético.

Fonte: Revista TAE - Tratamento de Água e Efluentes (CHEIS, 2013).

3.3.1 A desinfecção de efluentes com a Radiação UV

A reutilização de águas residuárias domésticas deve ser considerada no planejamento e na gestão sustentável dos recursos hídricos como um substituto para o uso de águas destinadas a fins agrícolas e de irrigação, entre outros (OTENIO, 2015).

Os processos convencionais de tratamento de esgotos (pré-tratamento, tratamento primário e secundário) alcançam uma remoção satisfatória de carga orgânica (sólidos suspensos, DBO e DQO), mas mostram-se ineficientes na remoção de microrganismos patogênicos (OLIVEIRA, 2003).

A desinfecção por meio da radiação ultravioleta é bastante antiga, porém, somente a partir da década de 40 é que se tem notícia de sua aplicação para desinfecção de águas destinadas ao consumo humano (DI BERNARDO, 1993). É um processo considerado viável se comparado com a desinfecção química, pois é isenta de subprodutos tóxicos.

Oliveira (2003) recomenda que para uma eficiência na desinfecção, a qualidade físico-química da água deve permitir uma transmissão de, no mínimo, 50% da radiação UV. A eficiência também depende da dose de UV e do estado de agregação das bactérias.

3.3.2 Processos e Mecanismo de Desinfecção da Radiação UV

Os microrganismos são inativados pela radiação UV como resultado dos danos fotoquímicos causados a seus ácidos nucleicos (DANIEL; CAMPOS, 1992).

A radiação UV penetra na parede da célula dos microrganismos e é absorvida pelos ácidos nucleicos (DNA e RNA), os quais são responsáveis pelo seu desenvolvimento (METCALF; EDDY, 2016).

O DNA é constituído por uma sequência de quatro bases nitrogenadas (adenina, citosina, guanina e timina) que constituem o código genético. Essas bases formam as chamadas bases emparelhadas, ligadas por pontes de hidrogênio (figura 2) (GONÇALVES *et al.*, 2003).

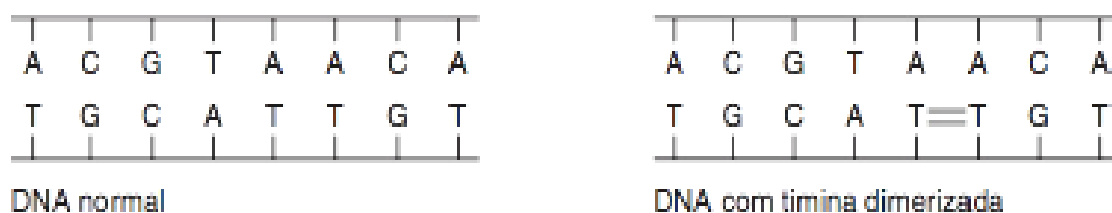


Figura 2 - Efeito da radiação sobre a cadeia de DNA da bactéria, dimerizando a timina.
Fonte: GONÇALVES *et al.*, 2003

A absorção da radiação ultravioleta por bases nitrogenadas forma produtos denominados dímeros. Estes são resultados da ligação entre as bases citosina, adenina e timina. A produção de dímeros comprova a influência que a radiação UV tem sobre o material genético e comprova a incapacidade de reprodução e contaminação do microrganismo após a absorção dos raios UV (DANIEL, 2001; METCALF; EDDY, 2016).

Dessa maneira, os organismos ricos em timina, tendem a serem mais sensíveis a radiação UV. A uracila e a citosina são as moléculas correspondentes no RNA. Os vírus contêm DNA ou RNA, os quais podem ter estruturas simples ou dupla (GONÇALVES *et al.*, 2003). Enquanto que, as formas encistadas dos protozoários e os ovos de helmintos são muito resistentes a radiações UV, exigindo doses extremamente elevadas e, na maioria dos casos, antieconômicas, para resultar em eficiente inativação.

3.3.3 Subprodutos da desinfecção com radiação UV

Diferente de outros processos de desinfecção, a radiação UV não inativa os microrganismos por reação química, no entanto, a UV causa uma reação fotoquímica nos organismos, alterando o código genético (USEPA, 1999).

Como reportado por Awad; Gerba; Magnuson, (1993) *apud* Aguiar (2000) ocorre a formação de subprodutos da desinfecção com radiação UV, principalmente, formaldeído,

acetaldeído e a redução de 8 a 12 hidrocarbonetos de carbono ao irradiar águas residuárias a partir de lâmpadas de mercúrio de baixa pressão.

Em síntese, a formação de subprodutos nos processos de desinfecção de águas de abastecimento com radiação UV é mínima, não tendo sido verificada a formação de subprodutos mutagênicos ou carcinógenos (WRIGHT; CAIRNS, 1998).

3.4 Sistema de tratamento aeróbio - Filtro biológico percolador (FBP)

Os sistemas biológicos de tratamento de águas residuárias participam em grande parte na redução de carga orgânica presente nos efluentes, que posteriormente, dependendo da finalidade de reuso e lançamento, estes podem ser otimizados em tratamento avançado, que corresponde à etapa de desinfecção utilizada por diversos mecanismos físicos, como a radiação ultravioleta e demais mecanismos de polimento.

Nesses sistemas biológicos ocorrem processos de tratamento anaeróbio e aeróbio, sendo que o primeiro atua sem a presença de oxigênio, enquanto que o aeróbio com a presença de oxigênio. Esses processos seguem a essência do tratamento secundário de esgotos domésticos, enquanto no tratamento preliminar e primário a predominância é de ordem física. Nesse sentido, nos processos biológicos a remoção da matéria orgânica é efetuada por reações bioquímicas, realizadas por microrganismos (VON SPERLING, 2005).

Os processos aeróbios de tratamento de águas residuárias são geralmente empregados no pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios (UASB), desse modo, a utilização de filtros biológicos percoladores (FBP) têm sido uma estratégia promissora para a remoção de matéria carbonácea residual, assim como, a matéria orgânica nitrogenada (amônia) em águas residuárias (ALMEIDA, 2012).

Para atender aos padrões de lançamento, uma vez que, os reatores UASB dificilmente removem nutrientes e organismo patogênicos, os FBP apresentam vantagens por se tratar de um processo aeróbio, não sendo necessária areação mecanizada, baixo consumo energético, menor complexidade em termos de equipamentos, facilitando a operação e manutenção do sistema (CHERNICHARO *et al.*, 2001; CONELL, 2014).

De acordo com Silva e Gonçalves (2004), o funcionamento do sistema de tratamento do FBP ocorre de maneira similar aos sistemas com biofilme, o tratamento é baseado pelos microrganismos que se desenvolvem em meio a uma matriz biológica aderida a uma

superfície, utilizando-se os meios filtrantes, dependendo das condições operacionais impostas ao FBP, pode-se obter concentrações baixas de sólidos suspensos, mesmo sem outra unidade de decantação secundária.

3.5 Coliformes e *Escherichia coli* como indicadores de contaminação fecal

De acordo com (FRANCO; LANDGRAF, 2008; BRASIL, 2013) o grupo dos coliformes totais compreende grupo de bacilos gram-negativos, aeróbios ou anaeróbios facultativos, não formadores de esporos, oxidase-negativos, que são capazes de desenvolver na presença de sais biliares ou agentes tensoativos que fermentam a lactose com produção de ácido, gás e aldeído a $35,0 \pm 0,5$ °C em 24-48 horas. A maioria das bactérias do grupo coliformes pertence aos gêneros *Escherichia*, *Citrobacter*, *Klebsiella* e *Enterobacter*, embora vários outros gêneros e espécies pertençam ao grupo.

Os coliformes termotolerantes são um subgrupo dos coliformes que fermentam a lactose a $44,5 \pm 0,2$ °C em 24 horas; tendo como principal representante a *E. coli*, sendo considerado o mais específico indicador de contaminação fecal e de eventual presença de organismos patogênicos (OMS, 2004).

De acordo com Fundação Nacional de Saúde (FUNASA), os microrganismos indicadores são usados para avaliar as condições sanitárias adequadas, e a escolha desse grupo de bactérias como indicador deve-se aos seguintes fatores:

- a) São encontradas nas fezes de animais de sangue quente, inclusive dos seres humanos; b) são facilmente detectáveis e quantificáveis por técnicas simples e economicamente viáveis; c) sua concentração na água contaminada possui uma relação direta com o grau de contaminação fecal desta; d) tem maior tempo de sobrevivência na água que as bactérias patogênicas intestinais, por serem menos exigentes em termos nutricionais, além de serem incapazes de se multiplicarem no ambiente aquático ou se multiplicarem menos que as bactérias entéricas. e) são mais resistentes aos agentes tensoativos e agentes desinfetantes do que bactérias patogênicas (BRASIL, 2013, p. 10).

Existem diferentes métodos para analisar quantitativamente os coliformes totais e termotolerantes nas amostras coletadas, descritos em diversas publicações internacionais e nacionais, considerados como referências (FRANCO; LANDGRAF, 2008). O mais utilizado é o método tradicional de tubos múltiplos, que estima aproximadamente o número de microrganismos presentes na amostra original denominado “Numero Mais Provável” (NMP),

envolve uma etapa presuntiva e duas confirmativas levando pelo menos 96 horas para sua realização (LEITE; FRANCO, 2006).

3.6 Contagem Padrão em Placas (CPP)

Para Hajdenwurcel (1998) e Silva *et al.* (2010), a contagem de microrganismos em placas é um método geral, utilizado para contar todos os grupos microbianos desenvolvidos em placas, variando-se o tipo de meio, a temperatura e o tempo de incubação. O procedimento se baseia no princípio de que cada célula microbiana presente em uma amostra irá formar uma colônia separada e visível, quando inoculada em meio que lhe permita crescer (JAY, 1994).

As células microbianas podem ocorrer em agrupamentos, não sendo possível estabelecer uma relação entre a quantidade de colônia e quantidade de células. A relação adequada é realizada entre o número de unidades formadoras de colônias (UFC), que podem ser, tanto, células individuais como agrupamentos característicos de certos microrganismos, por mililitro ou grama de amostra (SILVA; JUNQUEIRA; SILVEIRA, 1997).

4 MATERIAL E METODOS

O experimento foi realizado em três etapas distintas. As fases de construção e operação dos sistemas foram realizadas no Laboratório de Tratamento de Águas Residuárias (LabTar), da Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA), no município de Santarém – PA.

Etapa 1: construção de um reator ultravioleta (sistema I), onde foi adaptada uma lâmpada UV, esta protegida por uma proveta, análises microbiológicas para quantificação de coliformes totais, termotolerantes e carga microbiana.

Etapa 2: construção do sistema II, e teste da lâmpada.

Etapa 3: análises para quantificação da carga microbiana, onde o efluente recebeu diretamente a radiação.

4.1 Etapa 1

4.1.1 Construção do sistema I

Foi construído um reator (sistema I) em escala de bancada laboratorial de tubo de PVC, com diâmetro nominal 75 mm e altura aproximada de 38 cm, com capacidade de 440 mL, conforme figura 3.



Figura 3 - Sistema UV I.

O sistema foi revestido com a finalidade de proteção visual e na sua parte interna foi adaptada uma lâmpada UV de baixa pressão, com potência de 18 W, modelo HNS L 18 W GFT18DL/ 2G11/SE/OF da OSRAM® (tabela 2), para proporcionar a desinfecção do efluente. O acionamento da lâmpada dava-se de forma direta, no momento em que se conectava o plugue com a saída do sistema à tomada de energia. Foi adaptada uma proveta de vidro com volume de 500 mL com objetivo de evitar o contato direto da lâmpada com o efluente (figura 4).

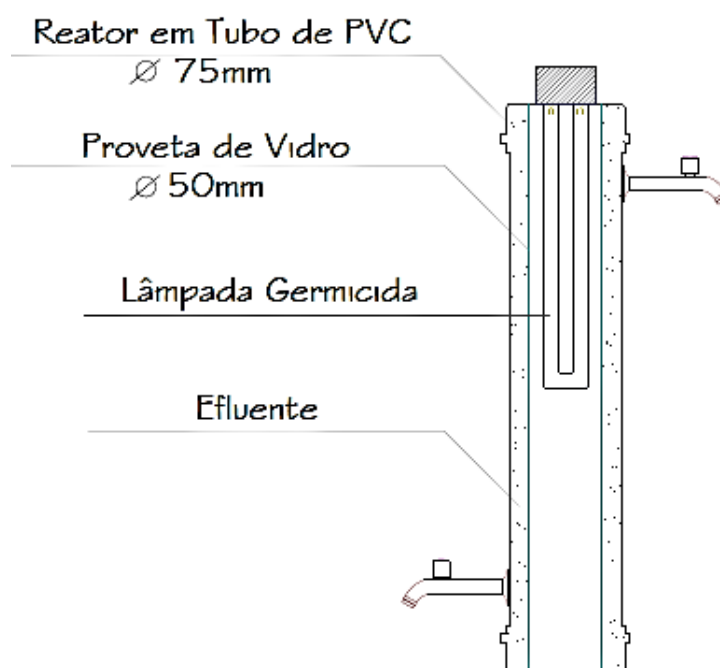


Figura 4 - Vista interna do sistema I

Tabela 2 - Ficha técnica da lâmpada ultravioleta usada nos experimentos.

Modelo da Lâmpada	DADOS ELÉTRICOS				DADOS FOTOMÉTRICOS		DIMENSÕES
	Potência nominal	Tensão nominal	Tensão de construção	Corrente nominal	Corrente da lâmpada	Comprimento de onda UVC entre 200...280 nm	Diâmetro
HNS L 18 W 2G 11	18.00 W	58.0 V	58.00 V	0.38 A	0.38 A	5.5w	40.0mm

4.1.2 Operação

O sistema utilizado foi projetado para operar em regime de bateladas, tendo sido

introduzido um ponto de entrada na extremidade inferior do tubo e um ponto de saída na extremidade superior. Para auxiliar no processo de recirculação foi utilizada uma bomba peristáltica.

A figura 5 esquematiza o processo de funcionamento do sistema I.

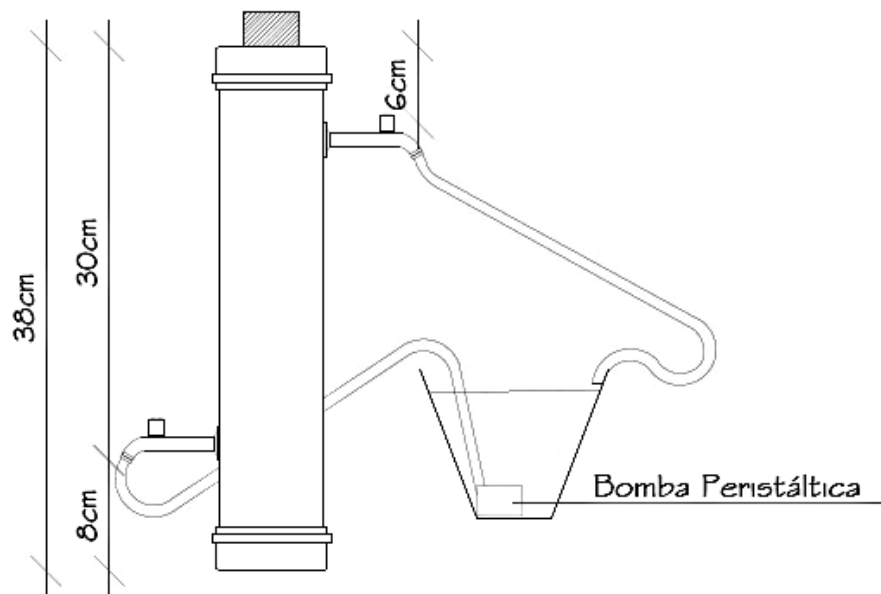


Figura 5 - vista frontal do sistema I.

Para o processo de desinfecção foram utilizados no sistema 2L de efluente proveniente de um tratamento por filtro biológico percolador. Esse processo foi realizado em dois testes.

1º teste: o efluente recebeu radiação durante 30 min, o qual levou aproximadamente 4 minutos para recirculação total do volume (2L), o que resulta em 7,5 ciclos de repetições. Foram realizados dois testes nessa etapa.

2º teste: o efluente foi exposto à radiação por 60 min, completando 15 ciclos de repetições. Foram realizados dois testes nessa etapa.

4.2 Etapa 2

4.2.1 Construção do sistema II

Para o etapa 2 foi montado um sistema (sistema II) utilizando uma caixa de isopor, onde a mesma foi revestida internamente com fita alumínio para ajudar a refletir a radiação incidente, conforme representa a figura 6.



Figura 6 - Sistema de desinfecção usado no etapa 2.

Nesse sistema utilizou-se como fonte de radiação ultravioleta uma lâmpada (a mesma usada na etapa 1), e foram adaptados a caixa dois recipientes com capacidade total de 2500 mL, onde o efluente era depositado durante o processo de desinfecção (figura 7 e 8).

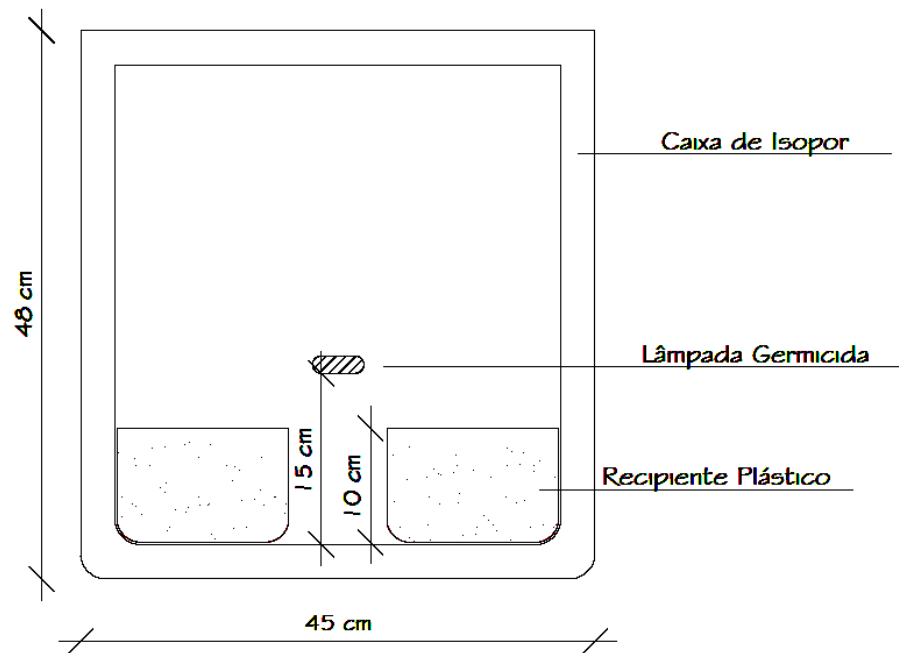


Figura 7 - Vista interna do sistema II

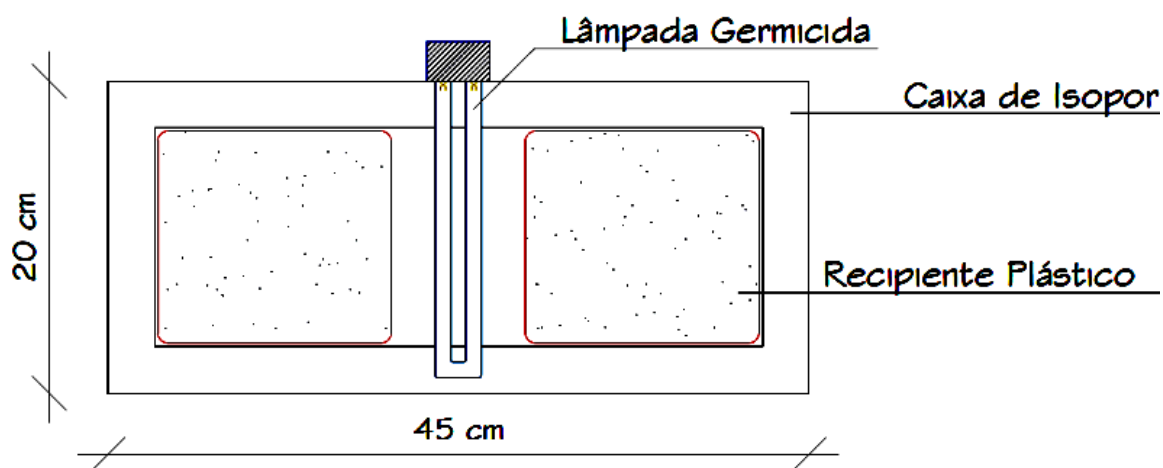


Figura 8 - Vista superior do sistema II

4.2.2 Operação

Nessa etapa foi realizado, primeiramente, um teste para verificar a eficiência de desinfecção da lâmpada, onde a mesma não recebeu nenhum tipo de proteção em seu entorno, como foi realizado na etapa 1 (uso de uma proveta). Diante disto, foi usado 1100 mL de um efluente proveniente de um reator de bateladas sequenciais (RBS) e 1100 mL de efluente de FBP, tendo assim uma lâmina de 5,5 cm, os quais ficaram expostos a radiação por 40 minutos, e em seguida foram coletadas as amostras para devidas análises.

4.3 Etapa 3

Após verificação da eficiência da lâmpada, foi realizado um novo processo de desinfecção, com exposição de 1200 mL de efluente pré-tratado por FBP, atendendo uma lâmina d'água de 6 cm em 3 três intervalos de tempo: 1 minuto, 30 minutos e 60 minutos. Após cada tempo de exposição à lâmpada era desligada, e as amostras do efluente foram coletadas para a realização de análises microbiológicas.

4.4 Análise física, química e microbiológica

Foram realizados monitoramentos dos parâmetros físico, químico: pH e temperatura, com o auxílio de um pHmetro de bancada, e análises microbiológicas para identificação de coliformes totais (CT), coliformes termotolerantes (CTT) e a quantificação da carga

microbiana (CPP), ver tabela 3.

Tabela 3 - Parâmetros analisados durante o processo de desinfecção por radiação UV

Variáveis	Métodos Analíticos	Referência
pH	Potenciométrico	4500 / APHA (2012)
Temperatura (°C)	-	2550 / APHA (2012)
CT NMP/100 mL	Tubos múltiplos	CETESB (2018)
CTT NMP/100 mL	Tubos múltiplos	CETESB (2018)
<i>E. coli</i>	Semeadura por estriamento	CETESB (2018)
CPP (UFC/100 mL)	<i>Spread Plate</i>	SILVA <i>et al.</i> , (2010)

CT - coliformes totais; CTT – coliformes termotolerantes; CPP – Contagem Padrão em Placas.

Após o término do processo de desinfecção do efluente uma amostra de 100 mL foi coletada em um frasco estéril diretamente na saída do sistema da etapa 1. As amostras na etapa 2 foram coletadas com auxílio de um Becker estéril, e assim transferidas para os frascos estéreis. Os recipientes com as amostras foram devidamente identificados, acondicionados e encaminhados para o Laboratório de Ensino Multidisciplinar de Biologia Aplicada (LaBio) da Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA), para realização das análises microbiológicas. Para analisar a eficiência do sistema UV foram coletadas amostras dos afluentes ao sistema UV como: esgoto bruto (EB), UASB, e FBP.

A inoculação das amostras em placas seguiu a técnica de semeadura *Spread Plate*, e a quantificação da carga microbiana foi realizada pela Contagem Padrão em Placas (CPP) considerando todas as unidades formadoras de colônias (UFC/100 mL).

Para a identificação de coliformes totais e coliformes termotolerantes foi realizada a técnica de tubos múltiplos, utilizando-se diluições de 10^{-1} a 10^{-5} com séries de 3 tubos, e o cálculo foi pelo método do Número Mais Provável (NMP) de acordo com CETESB (2018). As análises dos testes presuntivo e confirmativo foram realizadas em paralelo, devido ao reduzido tempo para realização das análises e a disponibilidade do laboratório.

Para a confirmação da presença de *E. coli*, os tubos como meio EC (teste confirmativo para CTT) positivos foram semeados em placas contendo Ágar Eosina Azul de Metileno – EMB, através da técnica de semeadura por estriamento e incubadas por $35 \pm 0,5^\circ\text{C}$ durante 24 ± 2 horas. Após o período de incubação, as colônias que apresentaram características típicas (colônias preta azuladas com centros escuros e um brilho verde metálico) foram consideradas positivas.

4.5 Análise de dados

Os dados obtidos após as análises dos parâmetros físico, químico e microbiológico, foram tabulados e analisados estatisticamente com auxílio das ferramentas do software *Excel* 2010, onde foram confeccionados gráficos de forma a apresentar os resultados mais claramente.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Parâmetros físico e químico

Na tabela 4 apresenta-se os resultados referentes aos parâmetros de controle de temperatura e pH, analisados durante o processo de desinfecção no tempo de exposição de 30min e 60min.

Tabela 4 - Parâmetros físicos e químicos analisados durante o processo de desinfecção por radiação UV em efluente de FBP e RUV.

EFLUENTE	30min (Invólucro de proveta de borosilicato)		60min (Sem invólucro)	
	Temperatura °C	pH	Temperatura °C	pH
FBP	27,9	7,42	26,1	7,22
RUV	28,2	7,59	28,8	7,37

Observa-se que os parâmetros físico e químico apresentaram pouca variação entre si, isto quando comparados na etapa 1 (adaptação com proveta) e etapa 2 (sem proveta).

A desinfecção pela radiação UV é um processo onde a energia se encontra em forma de ondas eletromagnéticas, e a inativação de microrganismos acontece por meio da interferência na biossíntese e na reprodução celular. Dessa forma, a eficiência do processo não é afetada por fatores físicos e químicos como pH, temperatura, alcalinidade e carbono inorgânico (CHERNICHARO *et al.*, 2001).

A determinação destes parâmetros, (pH e temperatura) serviram para demonstrar que o efluente é passível de presença de organismos vivos, garantindo assim que não houve ou haverá redução dos mesmo antes do início do teste por desinfecção em UV.

Etapa 1

O sistema construído (sistema I) mostrou-se de fácil operação e limpeza, o que facilitou o manuseio durante o processo de desinfecção. No entanto, em relação a sua principal finalidade que era a desinfecção de efluente, apresentou-se ineficiente.

De acordo com as análises microbiológicas, considerando a contagem padrão em placas, em um tempo de exposição de 30 minutos o qual o efluente foi submetido à radiação UV, verificou-se que não houve diminuição das unidades formadoras de colônias (UFC), pelo contrário, houve um aumento em relação ao efluente do FBP.

O aumento da carga microbiana ocorreu nos dois testes realizados com o tempo de exposição de 30min, notou-se um crescimento no teste 1 de 5 vezes, e no teste 2 de 10 vezes, conforme representado, em escala logarítmica, na figura 9 (a e b).

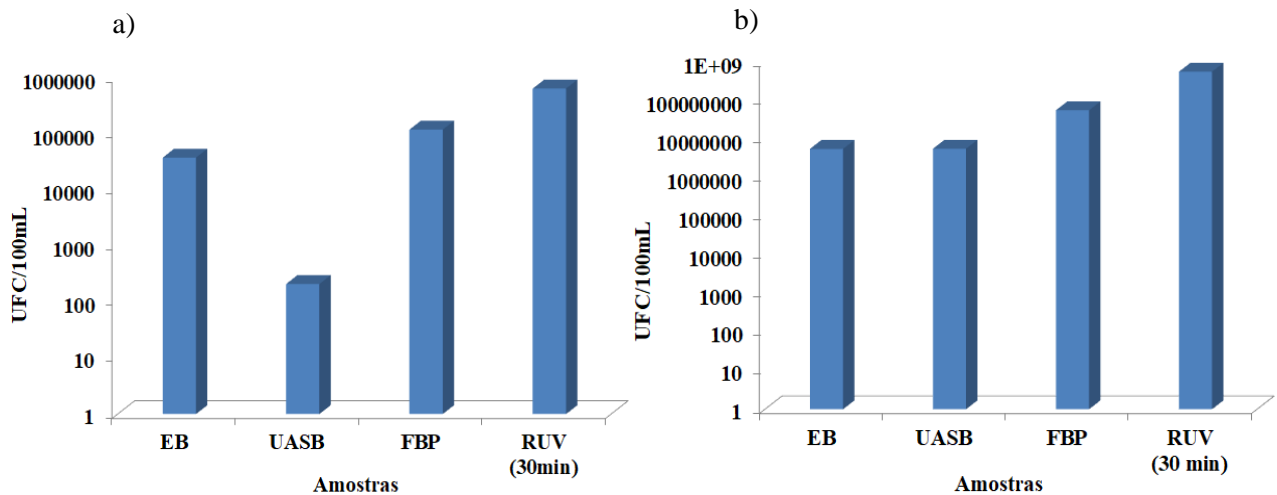


Figura 9 - a) Teste 1 em 30 min de exposição; b) Teste 2 em 30min de exposição.

Em virtude dos resultados encontrados para o tempo de exposição de 30 minutos, o efluente foi submetido a dois outros testes, com tempo de exposição de 60 minutos. De acordo com os resultados representados na figura 10 (a e b), nota-se que não houve redução da carga microbiana na primeira exposição, enquanto que, na segunda ocorreu a redução da carga microbiana em 1 escala logarítmica, o que não comprovou o processo de desinfecção.

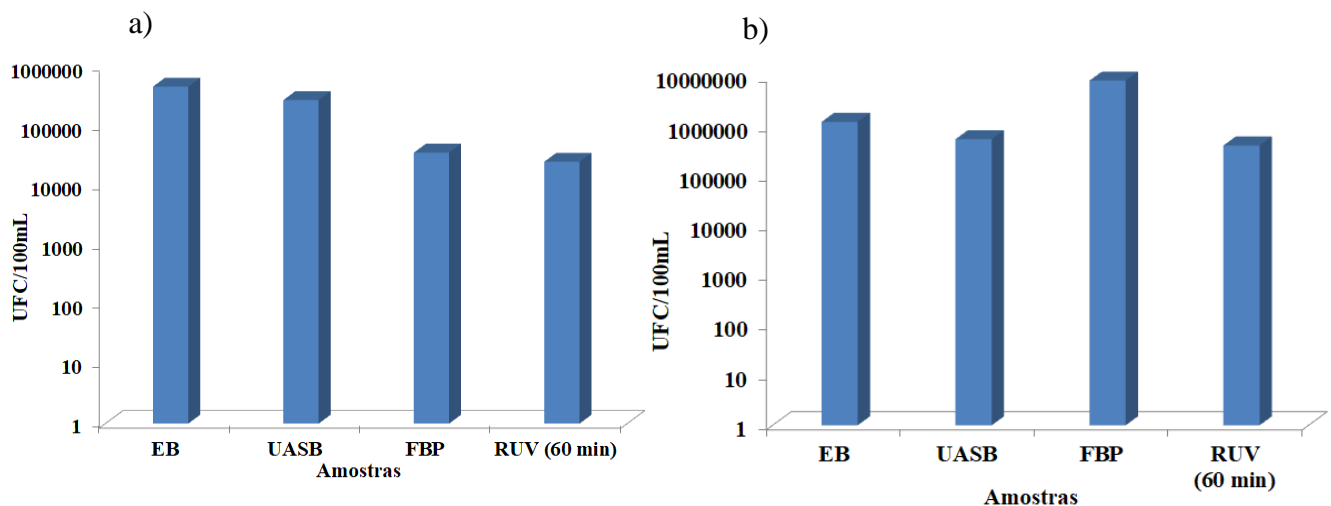


Figura 10 - a) Teste 1 em 60 min de exposição; b) Teste 2 em 60min de exposição.

Observou-se que o sistema I não se mostrou eficiente no processo de desinfecção, como representa a figura 11.

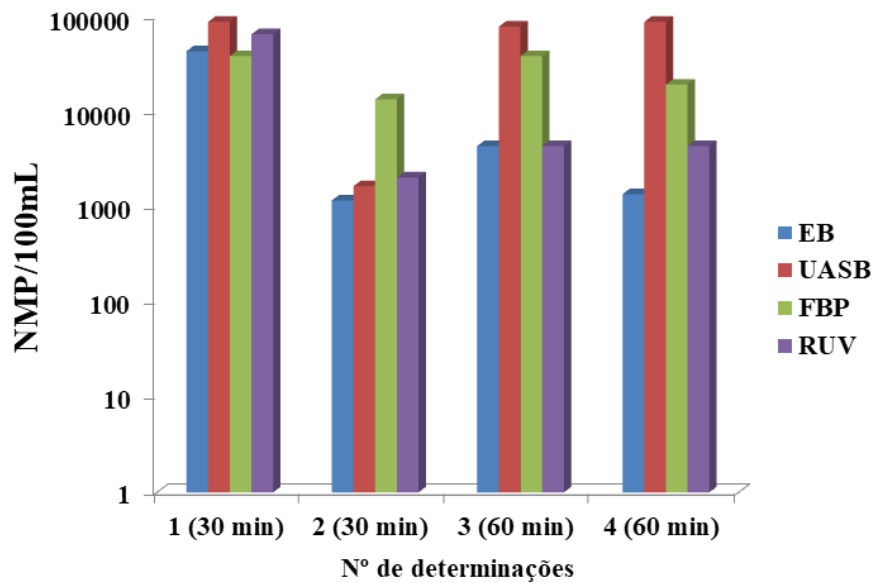


Figura 11 - Quantificação de coliformes expressa em NMP/100mL, nos efluentes analisados.

Com relação à presença de coliformes termotolerantes ocorreu o crescimento nos efluentes de FBP e RUV no tempo de 30min e 60min de exposição, conforme figura 12. Quando essas amostras foram submetidas ao teste de confirmação para *E. coli*, houve crescimento de colônias, porém não apresentaram características típicas (colônias preta azuladas com centros escuros e um brilho verde metálico) para a espécie, sendo assim, foi considerada negativa a presença de *E. coli* nos efluentes.

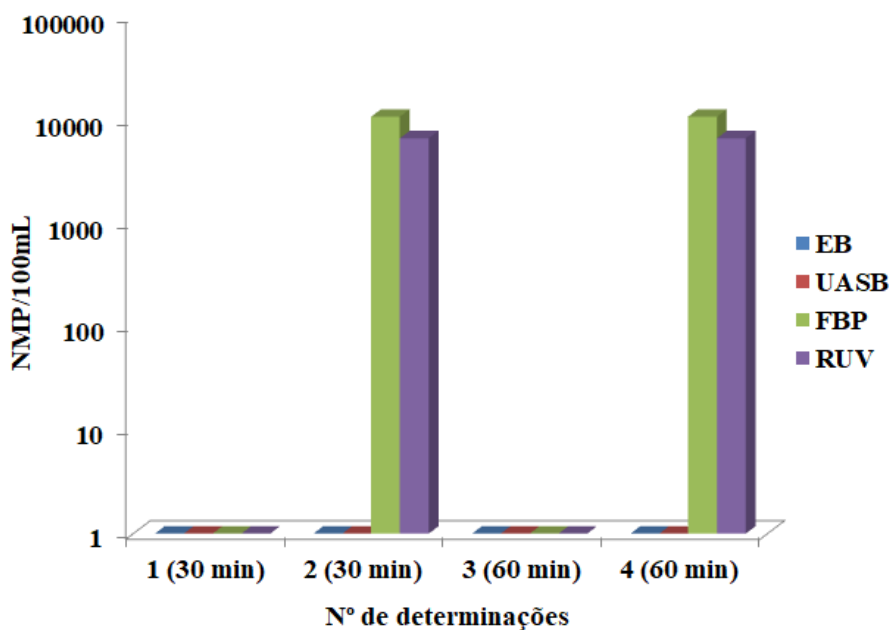


Figura 12 - Quantificação dos coliformes termotolerantes em NMP/100 mL.

Os resultados obtidos no processo de desinfecção no tempo de exposição de 30min não atenderam o objetivo de redução da carga microbiana e dos coliformes (CT e CTT),

supostamente, deve-se a adaptação da lâmpada dentro do sistema, uma vez que, a lâmpada UV recebeu revestimento de material constituído de borosilicato (adaptação de uma proveta). O vidro borosilicato é fabricado a partir do sistema de código 7740 (resistente ao ataque químico) com um corante vermelho para proteção contra radiação ultravioleta (WAISER SCIENTIFIC, [1999?]). Buscou-se com a elevação no tempo de exposição 30 e 60 minutos obter alguma redução utilizando a proveta em substituição ao material sem resistência a radiação ultravioleta (sendo o ideal utilizar vidro de quartzo). A ineficiência com a utilização deste material proporcionou justificar o uso primordial de material adequado ao processo de transpasso de radiação ultravioleta com proteção à lâmpada UV.

Como reforço da justificativa do processo efetuado, Gonçalves *et al.* (2003), recomendam revestimentos das lâmpadas com invólucros de quartzo para evitar a redução de emissão da radiação ultravioleta, e assim ter eficiência no processo de desinfecção.

O uso do invólucro de borosilicato, se deu pelo fato de tentativa de economia de recursos para viabilização do trabalho, na busca de redução dos valores comerciais na produção de um reator para desinfecção com lâmpada ultravioleta.

Etapa 2

Diante dos resultados obtidos no etapa 1, um novo sistema foi adaptado sem o revestimento da lâmpada para verificação de sua eficiência. Nesse novo protótipo o efluente foi submetido a 40 minutos de radiação UV e os resultados obtidos para coliformes (figura 13a), e para carga microbiana (figura 13b), foram aceitáveis de acordo com a legislação.

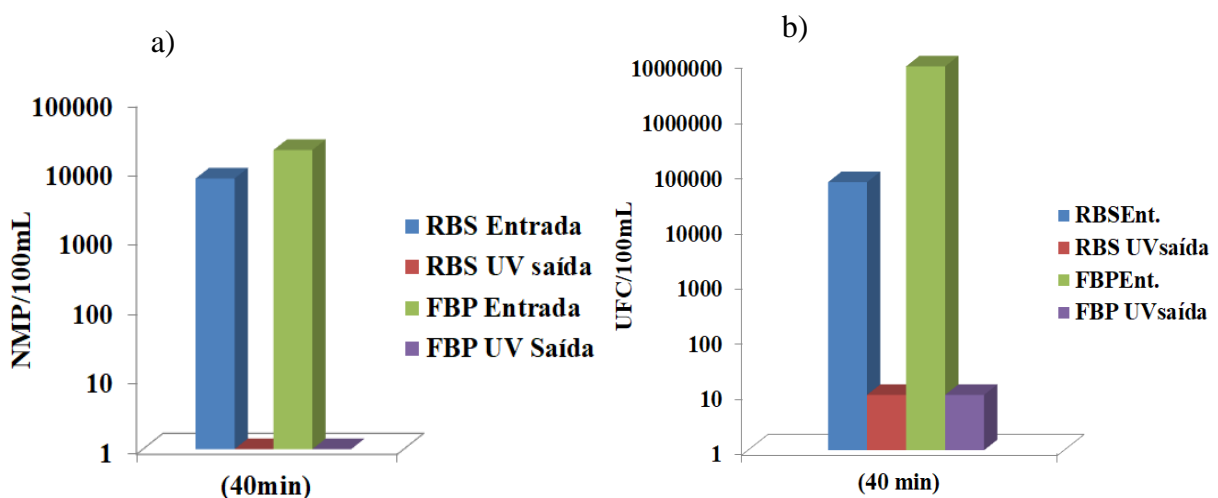


Figura 13 - a) Resultados da quantificação de coliformes em NMP/100 mL; b) Resultados da quantificação da carga microbiana em UFC/100 mL.

A redução de bactérias coliformes totais e termotolerantes foram de 100%, enquanto que a redução da carga microbiana considerando o efluente do sistema RBS, foi de 99,9857%, e para o FBP de 99,9999%. Diante desses resultados, verificou-se que o revestimento que a lâmpada UV recebeu na etapa 1 estava influenciando negativamente no processo de desinfecção.

Os resultados encontrados na etapa 2 mostraram estar de acordo com os padrões estabelecidos pela Resolução nº 357/2005 do CONAMA, que especifica que o efluente para ser lançado em um corpo receptor de classe 2, deve atender um pH entre 6 a 9 e padrões microbiológicos de coliformes termotolerantes de 1000 NMP/100 mL. No entanto, não pode ser comparado, pois não foi realizado o mínimo de amostragem (6 amostras coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral).

Oliveira (2003), realizou testes para avaliar a capacidade de desinfecção da radiação UV em efluentes domésticos tratados em diferentes sistemas, considerando a inativação de coliformes totais, *E. coli*, cistos de protozoários e ovos de helmintos. As aplicações de UV que variavam de 10 a 100 mWs/cm² de intensidade, removeram os coliformes totais com uma exposição de intensidade de radiação de 40 a 60 mWs/cm². Portanto, os efluentes domésticos, após passarem pelo tratamento com radiação UV de 30 mWs/cm², alcançaram um nível de qualidade aceitável para utilização em irrigação, de acordo com os padrões da Organização Mundial da Saúde (OMS).

Neste estudo, não foi verificado a determinação de doses de intensidade de radiação. Os motivos estão baseados pela falta de equipamentos de medição, ficando, portanto, baseado apenas no processo de redução dos contaminantes por ação de exposição e tempo.

Soares, Leão e Salgado (2017), obtiveram resultados positivos na desinfecção de águas residuárias aplicando radiação UV, a remoção de microrganismo foi de 99,99% com um tempo de contato de 6 minutos, utilizando lâmpadas de média pressão.

Comparando os resultados obtidos neste estudo com a literatura, é notório que as características das lâmpadas são fatores muito importantes no processo de desinfecção. Visto que, o processo de inativação dos microrganismos pode ser dado por um curto período de tempo, mas com uma grande intensidade de radiação, ou com uma radiação de pequena intensidade, mas por um período de tempo mais extenso.

Silva *et al.* (2002), quando avaliaram a aplicabilidade de um fotorreator implantado a jusante de um sistema de tratamento, composto de reator UASB e filtro biológico percolador (FBP), observaram excelentes eficiências médias de inativação, tanto para coliformes totais

quanto para *E. coli*, essas eficiências de inativação ficaram sempre próximas, ou acima, de 4 unidades logarítmicas

Etapa 3

Para quantificação da carga microbiana, após o teste de eficiência da lâmpada, os efluentes foram submetidos a radiação UV por 3 tempos distintos: 1 minuto, 30 minutos e 60 minutos.

Embora não tenham sido realizados estudos de determinação da dose de radiação UV nestes testes, é possível admitir com base na redução da escala logarítmica, que a técnica investigada nos tempos de exposição de 1 min e 60 min proporcionaram resultados positivos na redução da carga microbiana, conforme representado na figura 14.

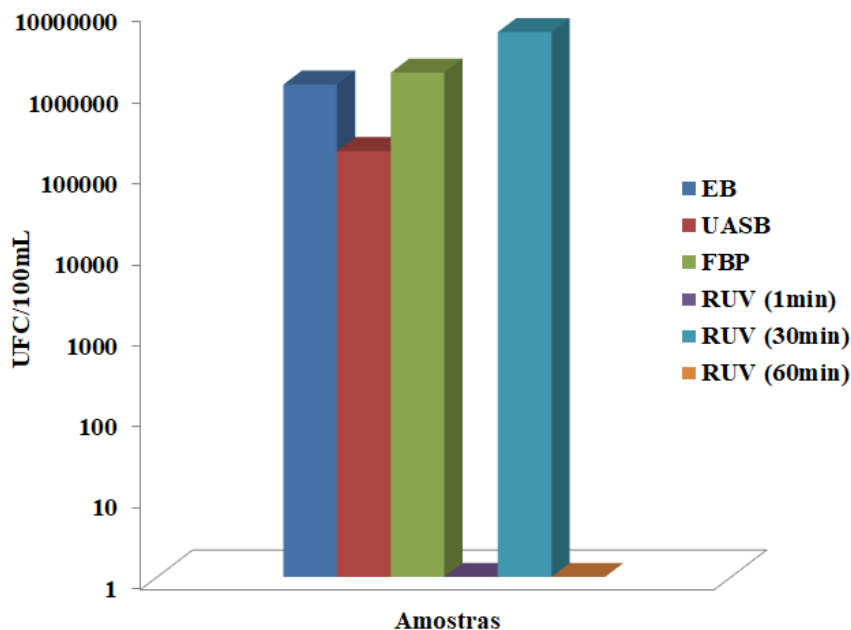


Figura 14 - Quantificação da carga microbiana UFC/100 mL.

Em relação ao teste realizado no tempo de exposição de 30min, verificou-se que não houve redução da carga microbiana, e sim um aumento expressivo, quando comparado com os tempos de exposição de 1min e 60min.

Na tentativa de explicar o resultado encontrado no tempo de exposição de 30 minutos, a literatura mostra alguns fatos que pressupõe o resultado encontrado. Bilotta e Daniel (2006), verificaram em experimentos de desinfecção de água que apresentam *E. coli*, que a fração de sobrevivência diminuía em tempos de exposição de 30 para 60s, no entanto, com 120s a fração de sobrevivência voltava a aumentar.

Daniel (1993), afirma que alguns organismos possuem mecanismos, que possibilitam recuperar lesões causadas por fontes externas, selecionando e preservando as espécies. O mecanismo de reparação do dano, recebe o nome de fotorreativação, que é um processo que envolve enzimas específicas que podem reparar as seções do DNA que foram danificadas pela exposição a luz (METCALF; EDDY, 2016).

Diante disso, supõe-se que o processo de fotorreativação pode ter ocorrido durante o processo de desinfecção no tempo de exposição de 30min.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O reator projetado (sistema I), apresentou fácil operação e limpeza, porém, em relação a sua principal finalidade que era a desinfecção de efluente, apresentou-se ineficiente, isto possivelmente ocorreu devido a lâmpada UV estar em um invólucro de material constituído de borosilicato (adaptação de uma proveta), impossibilitando o processo de desinfecção.

Diante dos resultados encontrados com o sistema I e para atender ao principal objetivo deste trabalho, foi necessária a construção de outro (sistema II) sem o revestimento da lâmpada UV. Nesse sistema, os resultados das análises microbiológicas das amostras, apresentaram-se de acordo com a legislação CONAMA 357/2005 para os parâmetros coliformes totais, coliformes termotolerantes e *E.coli*.

Como perspectivas de continuidade deste trabalho, sugere-se:

- a) Definir a intensidade de radiação do equipamento através de medição por radiômetro no comprimento de onda de 254nm.
- b) Utilizar lâmpadas com revestimentos de quartzo, para proporcionar melhor processo de desinfecção devido a garantia de maior fornecimento de radiação ultravioleta ao efluente.
- c) Realizar análises para turbidez e presença de sólidos, pois a radiação ultravioleta pode ser uma ótima alternativa desinfetante de esgotos, no entanto, para melhores eficiências este deve apresentar características mínimas de qualidade, no que se refere aos parâmetros citados.
- d) Realizar mais análises microbiológicas, para confirmar a eficiência do processo de desinfecção, seguindo o padrão estabelecido pela legislação.

REFÊRENCIAS

- ALMEIDA, P. G. S. *Remoção de matéria orgânica e nitrogênio em filtros biológicos percoladores aplicados ao pós-tratamento de efluentes de reatores UASB*. 2012. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- APHA – AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 22th. Washington: Public Health Association, 2012.
- AGUIAR, A. M. S. *Avaliação do emprego da radiação ultravioleta na desinfecção de águas com cor e turbidez moderadas*. 2010. 114f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte.
- BILOTTA, P.; DANIEL, L. A. *Ozônio e radiação UV na inativação de indicadores patogênicos em esgoto sanitário: análise comparativa*. *Minerva*. v. 3, n. 2, 2006, p. 199 – 207.
- BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente - Resolução Conama nº 357 de 17 de Março de 2005. *Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências*. Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. 2011. Diário Oficial da União, Brasília.
- _____. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. *Processos de tratamento de esgotos: guia do profissional em treinamento: nível 1*. – Brasília: SNSA/MCIDADES, 2008. 72p.
- _____. Fundação Nacional de Saúde - FUNASA. *Manual prático de análise de água*. 4 ed. Brasília. 2013. 150 p.
- CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Norma Técnica L5.202: *Coliformes totais, coliformes termotolerantes e Escherichia coli- Determinação pela técnica de tubos múltiplos*. 5 ed. São Paulo. 2018. 29p.
- CHERCHINARO, C. A.; DANIEL, L. A.; SENS, M.; FILHO, B. C. Pós-tratamento de efluentes anaeróbios por sistemas de desinfecção. In: *Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios*. Rio de Janeiro. Rima: ABES, 2001. p. 1-66p.
- CHICK, H. *An Investigation of the Laws of Disinfectin*. *Journal of Hygiene*. v. 8, n. 1, 1908, p. 92-158.
- CHIN, A.; BERUBE, P. R. *Removal of disinfection byproduct precursors with ozone-UV advanced oxidation process*. *Water Research*, v. 39, 2005, p. 2136-2144.
- CONNELL, M. R. F. D. A. *Caracterização da comunidade bacteriana de filtros biológicos percoladores tratando efluente anaeróbio*. 2014.143 f. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos.). Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2014.

DI BERNARDO, L. *Métodos e técnicas de tratamento de água*. Rio de Janeiro. ABES, 1993. 503 p.

DANIEL L. A; CAMPOS, J.R. *Fundamentos e aspectos de projeto de sistemas de desinfecção de esgoto sanitário com radiação ultravioleta*. Revista DAE-SABESP, n. 163, 1992, p. 5-11.

DANIEL L. A. *Desinfecção de esgotos com radiação ultravioleta fotorreativação e obtenção de parâmetros cinéticos*. 1993. 182p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil: Hidráulica e Saneamento). Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos.

DANIEL, Luiz Antônio. *Processos de desinfecção e desinfetantes alternativos na produção de água potável*. Rio de Janeiro: ABES, 2001. 155 p.

FRANCO, B.D.G.M.; LANDGRAF, M. *Microbiologia dos alimentos*. São Paulo: Atheneu, 2008, 182p.

GONÇALVES, R. F.; Filho, B. C.; CHERNICHARO, C. A. L.; LAPOLLI, F. R.; AISSE, M. M.; PIVELI, R. P. Desinfecção por radiação ultravioleta. In: *Desinfecção de efluentes sanitários*. Rio de Janeiro: Rima: ABES, 2003. 209-273 p.

GONÇALVES, R. F.; JORDÃO, E. P.; ALÉM SOBRINHO, P. Introdução. In: *Desinfecção de efluentes sanitários*. Rio de Janeiro: Rima: ABES. 2003. 1- 26 p.

GUO, M.; HUANG, J.; HONG YING, H.; WENJUN. L. *Growth and repair potential of three species of bacteria in reclaimed wastewater after uv disinfection*. Biomed Environ Sci. China. v. 24, n. 4, 2011, p. 400-407.

HAJDENWURCEL, J.R. *Atlas de microbiologia de alimentos*. São Paulo: Fonte comunicações e editora. v. 1, 1998, p. 28.

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

JAY, J. M. *Microbiologia moderna de los alimentos*. Zaragoza: Acribia, 1994. 804p.

KOIVUNEN, J.; HEINONEN-TANSKI, H. *Inactivation of enteric microorganisms with chemical disinfectants, UV irradiation and combined chemical/UV treatment*. Water Research. v. 39, 2005, p. 1519-1526.

KOLLU, K.; ÖRMECI, B. *Regrowth Potential of Bacteria after Ultraviolet Disinfection in the Absence of Light and Dark Repair*. J. Environ. Eng. v. 141, n. 3, 2015, p. 04014069.

LAPOLLI, F. R.; SANTOS, L. F.; HASSEMER, M. E.; AISSE, M. M.; PIVELI, R.P. Desinfecção de efluentes sanitários por meio da ozonização. In: *Desinfecção de efluentes sanitários*. Rio de Janeiro: Rima, ABES, 2003. 169- 205p.

LAZAROVA, Z., et al. *Advanced wastewater disinfection technologies: Short and long term efficiency*. Water Science and Technology. v. 38, n. 12, 1999, p. 109-117.

LEITE, A. M. O. FRANCO, R.M. *Coliformes totais e Escherichia coli em coxas de frango comercializados no Rio de Janeiro*. Revista Brasileira de Ciência Veterinária, v. 13, n. 2, 2006, p. 80-83.

LINDENAURE K.G.; DARBY J.L. *Ultraviolet disinfection of marginal effluents: determining ultraviolet absorbance and subsequent estimation of ultraviolet intensity*. Water Environment Research, v. 70, n. 2, 1998, p. 214-223.

MALLEY, J. P., N. A. BALLESTER, A. B. MARGOLIN, K. G. LINDEN, A. MOFIDI, J. R. BOLTON, G. CROZES, J. M. LAINE, and M. L. JANEX. *Inactivation of pathogens with innovative UV technologies*. AWWARF, Denver CO, US. 2004.

MARTINS, A. M. S.; MAZZOLA, P. G.; PENNA T. C. V. *Eficácia de desinfetantes*. Controle de Contaminação, n. 29, 2001, p. 36-40.

MASSCHELEIN W. J. *Ultraviolet Light in Water and Wastewater Sanitation*. Lewis Publishers. 2002.

METCALF, L.; EDDY, H. *Tratamento de efluentes e recuperação de recursos*. 5 ed. Porto Alegre: AMGH. 2016. 1980p.

MORGADO, W. F. F. *Desinfecção de águas naturais por radiação solar utilizando os bioindicadores: escherichia coli e clostridium perfringens*. 2008. 125 f. Dissertação (Mestre em Engenharia do Meio Ambiente) - Universidade Federal de Goiás. Goiânia.

OLIVEIRA, E. C. M. O. *Desinfecção de efluentes sanitários tratados através da radiação ultravioleta*. 2003. 110 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (OMS). *Guias para a calidad Del agua potable*. 3 ed. Ginebra. v. 1. 2004.

OTENIO, M. H. *Reaproveitamento de água residuária em sistemas de produção de leite*. 2015. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/127918/1/Cap-7-Lv-2015-Sustentabilidade-Reaproveitamento.pdf>. Acesso em 25 de fev. 2018.

RECESA – Rede Nacional de Extensão e Capacitação Tecnológica em Saneamento Ambiental. *Esgotamento sanitário: Operação e manutenção de sistemas simplificados de tratamento de esgotos: Guia do Profissional em Treinamento – nível 2*. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Belo Horizonte, 2008. 112p.

SILVA, G. M.; GONÇALVES, R. F. *Desempenho de um sistema UASB mais filtro biológico percolador sem etapa de decantação tratando esgoto sanitário (Performance of a UASB more trickling filter system without secondary settler treating domestic wastewater)*. In: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES. Campo Grande, Brasil, 2004.

SILVA, J. C. C.; CHERNICHARO, C. A. L. VON SPERLING, M.; ALVES, C. V. P.; ZERBINI, A. M.; GODINHO, V. M.; LAUFFER, J. *Desenvolvimento e avaliação de um fotorreator simplificado de radiação UV para inativação de coliformes e ovos de helmintos em*

esgotos tratados. In: *XXVIII Congresso Interamericano de Ingenieria Sanitaria y Ambiental*. Gancún, México. 2002.

SILVA, N.; JUNQUEIRA, V. C. A.; SILVEIRA, N. F. A. *Manual de métodos de análise microbiológica de alimentos*. São Paulo: Varela, 1997. 295p.

SILVA, N.; JUNQUEIRA, V. C. A.; SILVEIRA, N. F.A.; TANIWAKI, M. H.; SANTOS, R. F. S.; GOMES, R. A. R. *Manual de métodos de análise microbiológica de alimentos e água*. 4 ed. São Paulo. Livraria Varela, 2010, 632 p.

SOARES, M. F. A.; LEÃO, A. C. N.; SALGADO, R. M. N. Eficiência de desinfecção de águas residuárias por radiação uv e por ozônio na etar de setúbal (Portugal). In: *IX Simpósio Brasileiro de Engenharia Ambiental, XV Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Ambiental e III Fórum Latino Americano de Engenharia e Sustentabilidade*. 2012.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). *Alternative disinfectants and oxidants guidance manual*: EPA 815-R-99-014. Washington, 1999. 328p.

VON SPERLING, M. *Princípios do tratamento biológico de águas residuárias Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG. V. 1. 3 ed. 2005. 452 p.

WAISER CIENTÍFICA. *Manual de vidro para laboratório - Glass For Laboratory*. [1999?]. São Paulo. Disponível em: <http://www.waiser.com.br/vidraria/manual.pdf>. Acesso em 10 mar. de 2018.

WRIGTH, H.B.; CAIRNS, W.L. Desinfección de agua por medio de luz ultravioleta. In: *Simposio Regional Sobre Qalidad del Agua: Desinfección Efectiva*. Lima, Peru. 1998, p. 1-28.

WHITE, S. C.; JERNICAN, E. B.; VENOSA, A. D. *A study of operational ultravioleta disinfection equipment at secondry treatment plants*. Journal Water Pollution Control Federation, v. 58, n.3, 1986, p. 181-192.