



UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDÔNIA
CAMPUS DE JI-PARANÁ
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL



AMANDA BOINA SPEROTO

TÉCNICAS DE DESINFECÇÃO DE EFLUENTE DOMÉSTICO VISANDO REUSO

Ji-Paraná

2019

AMANDA BOINA SPEROTO

TÉCNICAS DE DESINFECÇÃO DE EFLUENTE DOMÉSTICO VISANDO REUSO

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Departamento de
Engenharia Ambiental e
Sanitária, Fundação
Universidade Federal de
Rondônia, *Campus* de Ji-Paraná,
como parte dos requisitos para
obtenção do título de Bacharel
em Engenharia Ambiental e
Sanitária.

Orientador: Alberto Dresch Webler.

Ji-Paraná.
2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Fundação Universidade Federal de Rondônia
Gerada automaticamente mediante informações fornecidas pelo(a) autor(a)

S749t Speroto, Amanda Boina.

Técnicas de desinfecção de efluente doméstico visando reuso / Amanda Boina Speroto. -- Ji-Paraná, RO, 2019.

48 f.

Orientador(a): null Alberto Dresch Webler

Coorientador(a): null.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) -
Fundação Universidade Federal de Rondônia

1.Radiação UV. 2.Cloro. 3.Coliformes. I. Webler, Alberto Dresch. II. Título.

CDU 628.3

Bibliotecário(a) Alex Almeida

CRB 11.853



UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDÔNIA
CAMPUS DE JI-PARANÁ
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL



TÍTULO: TÉCNICAS DE DESINFECÇÃO DE EFLUENTE DOMÉSTICO VISANDO REUSO.

AUTOR: AMANDA BOINA SPEROTO.

O presente Trabalho de Conclusão de Curso foi defendido como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária e aprovado pelo Departamento de Engenharia Ambiental, Fundação Universidade Federal de Rondônia, *Campus* de Ji-Paraná, no dia 09 de dezembro de 2019.

Beatriz Machado Gomes
Fundação Universidade Federal de Rondônia

João Paulo Papaleo Costa Moreira
Secretaria de Estado do Desenvolvimento Ambiental

Alberto Dresch Webler
Fundação Universidade Federal de Rondônia

Ji-Paraná, 09 de dezembro de 2019.

AGRADECIMENTOS

A Deus pela vida. Famosa frase citada por adeptos da teoria criacionista a qual rege todo o universo e, obviamente, minha vida.

A meus pais, Fernando e Sandra pela minha insistência para com o curso. Devo minha formação em Engenharia Ambiental e Sanitária a vocês. Talvez estaria me formando em Medicina, mas, aliado ao primeiro parágrafo e a epígrafe devemos sempre nos transformar frente aos obstáculos impostos pela vida. Vocês são a base de tudo obrigada!

A minhas irmãs Fernanda e Nicole por todo amor emanado – é claro, da maneira delas – amo vocês. A minha querida avó Clarice por todas as vezes que perguntava pela faculdade, entrava no meu quarto para me ver estudar, não há palavras que expresse tal gratidão em amor. A minhas tias e familiares em geral.

Ao Bruno Guisso, por toda motivação e apoio para que eu termine logo este estudo e ingresse no mercado de trabalho. Dar apoio um ao outro em forma de amor é primordial na vida. Obrigada.

Ao professor Me. Rubens por toda a ajuda oferecida quando estava sem saída e paciência para comigo, parte deste trabalho não seria possível sem você.

A meu orientador Dr. Alberto, por toda oportunidade ofertada.

A professora Dra. Beatriz Gomes Machado, por toda paciência e ajuda desprendida para comigo. Obrigada.

A Fundação Universidade Federal de Rondônia que dentro de seus limites, ofereceu o melhor aos estudantes. Obrigada.

Ao PROCEA por toda bolsa disponibilizada.

“se há vida lhe der um limão faça dele uma limonada”

(Provérbio Chinês)

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 01 – Espectro eletromagnético. | 19 |
| Figura 02 – Reator piloto de lodo ativados. | 25 |
| Figura 03 – Esquematização do sistema de desinfecção UVC montado em laboratório. | 26 |
| Figura 04 - Relação entre concentração de coliformes totais e dosagem de cloro face a Resolução Conama 357/05. | 29 |
| Figura 05 - Cinética de remoção da concentração de coliformes totais frente à ação das diferentes dosagens de Cloro e exposição ao tempo de 40 minutos. | 30 |
| Figura 06 - Cinética de remoção da concentração de coliformes totais frente à ação das diferentes dosagens de Cloro e exposição ao tempo de 40 minutos. | 31 |
| Figura 07 - Cinética de remoção da concentração de coliformes totais frente à ação das diferentes dosagens de Cloro e exposição ao tempo de 120 minutos. | 31 |
| Figura 08 - Relação de coliformes inativados em função da vazão utilizada face a Resolução Conama 357/05. | 35 |
| Figura 09 – Cinética de remoção da concentração de coliformes totais frente a variação da vazão utilizada. | 35 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 01 - Principais características físico-químico e sua concentração, valores expressos em mg/L. | 11 |
| Tabela 02 - Principais processos de desinfecção de águas. | 14 |
| Tabela 03 - Principais desinfetantes utilizados..... | 14 |
| Tabela 04 - Custos de implantação e operação para os processos de desinfecção. | 16 |
| Tabela 05 - Compostos resultantes da reação do cloro com as formas de nitrogênio. | 18 |
| Tabela 06 – Recomendações da OMS sob a qualidade microbiológica de efluentes tratados para uso agrícola. | 21 |
| Tabela 07 – Uso agrícola das águas de classes doces e salobras com o padrão microbiológico aceito..... | 22 |
| Tabela 08 - Padrões de qualidade preconizados pela Resolução Conjunta nº 01/2017 do Estado de São Paulo. | 24 |
| Tabela 09 - Características do efluente utilizado provido do sistema de lodo ativado..... | 28 |
| Tabela 10 - Eficiência do processo de desinfecção com hipoclorito de sódio. | 32 |
| Tabela 11 - Resultados do teste de cloração face a concentração por tempo. | 33 |
| Tabela 12 - Análise de variância. | 33 |
| Tabela 13 - Resultados da cloração através do teste de Tukey..... | 33 |
| Tabela 14 - Dose de radiação UV utilizada em cada vazão. | 34 |
| Tabela 15 - Eficiência do processo de desinfecção com radiação UV. | 36 |

LISTA DE ABREVIATURAS

| | |
|-----------------|--|
| ANA | Agência Nacional de Águas |
| ANDA | Agência Nacional para a Difusão de Adubos |
| CONAMA | Conselho Nacional de Meio Ambiente |
| DBO | Demanda Bioquímica de Oxigênio |
| DQO | Demanda Química de Oxigênio |
| DEAS | Departamento de Engenharia Ambiental e Sanitária |
| DMS | Diferença Mínima Significativa |
| ETE | Estação de Tratamento de Esgoto |
| FAD | Flotação por Ar Dissolvido |
| FAN | Filtro Anaeróbio |
| FB | Filtro Biológico |
| ha | Hectare |
| HAA | Ácidos Haloacéticos |
| IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| ITB | Instituto Trata Brasil |
| LAAP | Lodos Ativados com Aeração Prolongada |
| LABLIM | Laboratório de Microbiologia e Limnologia |
| MAPA | Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento |
| MCidades | Ministério das Cidades |
| NIT | Nitrogênio Inorgânico Total |
| NTU | Unidade Nefelométrica de Turbidez |
| OMS | Organização Mundial de Saúde |
| ONU | Organização das Nações Unidas |
| PIB | Produto Interno Bruto |
| SANEAM | Laboratório de Saneamento |
| SNSA | Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental |
| SST | Sólidos Suspensos Totais |
| SDT | Sólidos Dissolvidos Totais |
| THMs | Trihalometanos |
| UASB | Upflow Anaerobic Sludge Blanket |
| UFC | Unidades Formadoras de Colônias |
| UNIR | Fundação Universidade Federal de Rondônia |

RESUMO

A prática do reuso de efluentes no Brasil vem tomando espaço frente a escassez de água ocasionadas em certas regiões do país. Aliado com a presença de nutrientes presente nos esgotos domésticos o reuso agrícola tem se mostrado bastante efetivo no desenvolvimento de algumas culturas como girassol, capim e rabanete. Entretanto, o processo de desinfecção de efluentes torna-se essencial para tal prática devido a presença de microrganismos patogênicos no seu meio como as bactérias do grupo coliformes. A desinfecção pode ser realizada através de agentes físicos como a radiação UV e agentes químicos como o hipoclorito de sódio os quais foram utilizados neste trabalho. Logo, o objetivo deste estudo foi comparar o uso do cloro e da radiação ultravioleta para a desinfecção do efluente doméstico através do indicador coliformes com o intuito de atender a Resolução Conama nº 357/05 que classifica os corpos de água e dispõe sobre a prática de irrigação restrita e irrestrita para algumas culturas agrícolas. O efluente escolhido provém dos sanitários de um dos prédios de ensino do *campus de Ji-Paraná*, da Universidade Federal de Rondônia, a qual se encontra instalado e operando um reator piloto tipo lodo ativado convencional. Para o processo de cloração foi utilizado dosagens de 4, 6, 8, 10 e 12 mg.Cl.L⁻¹ em tempos de 40, 80 e 120 minutos. Para o processo de desinfecção via radiação UV, variou-se a vazão de passagem pela lâmpada germicida em 20, 50, 80 e 100 mL.min⁻¹. O melhor resultado para o teste de cloração foi para a concentração de 12 mg.L⁻¹ de cloro ao tempo de 120 minutos, mostrando uma eficiência de inativação de 99,56%. Entretanto, nenhuma das dosagens utilizadas para o cloro conseguiu atingir os padrões impostos pela legislação vigente. Na radiação UV, as vazões a partir de 80 mL.min⁻¹ já foram efetivas para o enquadramento na resolução Conama 357/05 e as taxas de inativação chegaram a 99,97% de eficiência. Portanto, a desinfecção UV se sobressaiu a cloração, nas condições estudadas, apresentando maiores indicies de inativação levando ao enquadramento com a resolução Conama 357/05.

Palavras-Chave: Radiação UV, cloro, coliformes.

ABSTRACT

The practice of reuse of effluents in Brazil has been taking place against the scarcity of water caused in certain regions of the country. Combined with the presence of nutrients present in domestic sewage, agricultural reuse has been very effective in the development of some crops such as sunflower, grass and radish. However, the process of effluent disinfection becomes essential for this practice due to the presence of pathogenic microorganisms in its environment, such as coliform bacteria. Disinfection can be performed through physical agents such as UV radiation and chemical agents such as sodium hypochlorite which were used in this work. Therefore, the objective of this study was to compare the use of chlorine and ultraviolet radiation for domestic effluent disinfection through the coliform indicator in order to comply with Conama Resolution No. 357/05 that classifies water bodies and provides for the practice of restricted and unrestricted irrigation for some agricultural crops. The effluent chosen comes from the toilets of one of the teaching buildings of the Ji-Paraná campus of the Federal University of Rondônia, which is installed and operating a conventional activated sludge pilot reactor. For the chlorination process was used dosages of 4, 6, 8, 10 and 12 mg.Cl.L⁻¹ in times of 40, 80 and 120 minutes. For the disinfection process via UV radiation, the flow through the germicidal lamp was varied in 20, 50, 80 and 100 mL.min⁻¹. The best result for the chlorination test was 12 mg.L⁻¹ chlorine concentration at 120 minutes, showing an inactivation efficiency of 99.56%. However, none of the dosages used for chlorine could meet the standards imposed by current legislation. In UV radiation, the flow rates from 80 mL.min⁻¹ were already effective to comply with Conama resolution 357/05 and inactivation rates reached 99.97% efficiency. Therefore, UV disinfection stood out for chlorination, under the conditions studied, presenting higher indications of inactivation leading to compliance with Conama resolution 357/05.

Keywords: UV radiation, chlorine, coliforms, activated sludge.

SUMÁRIO

| | | |
|--------------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 9 |
| 2 | REFERENCIAL TEÓRICO | 10 |
| 2.1 | O CENÁRIO DA AGROPECUÁRIA NO BRASIL | 10 |
| 2.2 | EFLUENTES DOMÉSTICOS | 10 |
| 2.3 | REUSO AGRÍCOLA | 11 |
| 2.4 | DESINFECÇÃO..... | 13 |
| 2.4.1 | Cloração | 16 |
| 2.4.2 | Radiação Ultravioleta | 18 |
| 2.5 | LEGISLAÇÃO | 20 |
| 3 | METODOLOGIA | 25 |
| 3.1 | CONSIDERAÇÕES INICIAIS..... | 25 |
| 3.2 | CLORAÇÃO | 25 |
| 3.3 | RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA | 26 |
| 3.4 | COLIFORMES | 26 |
| 3.5 | TESTE ESTATÍSTICO DE TUKEY | 27 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES | 28 |
| 4.1 | ENSAIO DE CLORAÇÃO | 28 |
| 4.2 | ENSAIO NO UV..... | 34 |
| 5 | CONCLUSÃO | 37 |
| 5.1 | RECOMENDAÇÕES DE TRABALHOS FUTUROS | 37 |
| 6 | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 38 |

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos a preocupação com a água e seus usos vem se intensificando devido aos períodos de escassez enfrentados por alguns estados e cidades do Brasil. Estudos mostram esses quadros de secas extremas e severas acontecendo no Piauí, Bagé no Rio Grande do Sul, Maranhão, São Paulo e região sudeste e outras pelo país (GUEDES et al., 2012; TEIXEIRA et al., 2013; MARENGO e ALVES, 2016; SILVA et al, 2017; COELHO et al, 2016).

O aporte de efluentes sem tratamento em mananciais acarretam ao desequilíbrio de toda biota aquática do local, visto as concentrações de diversas substâncias químicas presente no esgoto, como matéria orgânica, compostos nitrogenados, fósforo e outros, podendo levar a eutrofização destes ou servir de veiculação de doenças hídricas.

A prática de reuso de efluentes sobretudo por meio da irrigação agrícola tornou-se uma alternativa atraente ao dilema envolvendo a contaminação das águas subterrâneas, superficiais e a escassez hídrica (GONÇALVES e MARQUES, 2016; BERTONCINI, 2008). Países como Israel, Arábia Saudita e Estados Unidos destacam-se neste cenário destinando cerca de 50 a 90% do seu efluente a irrigação (OSÓRIO, 2013; ANA, 2018).

Essa reutilização de água residuária tratada pode favorecer a produtividade agrícola visto os nutrientes ali presentes (COSTA e BARROS JÚNIOR, 2005), como por exemplo o nitrogênio e fósforo. Todavia parâmetros quanto ao tipo de cultura a ser irrigada e tratamento recebido pelo efluente devem ser levadas em consideração devido à presença de microrganismos patogênicos e substâncias químicas presentes em sua composição que possa estar acarretando a contaminação da cultura, solo e lençol freático (MAROUELLI e DA SILVA, 1998).

Logo, o processo de desinfecção torna-se fundamental para atividade de reuso visto que a mesma tem como princípio a inativação destes microrganismos patogênicos. Alguns processos de desinfecção incluem o uso do cloro, radiação ultravioleta, ozônio, ácido peracético e pasteurização (METCALFY e EDDY, 2015; JORDÃO e PESSOA, 2011). A escolha do melhor método a se utilizar depende de fatores como a características do efluente, tempo despendido para a desinfecção, grupo de microrganismos alvos para a inativação, geração de subprodutos, valor econômico e outros.

Neste contexto, este trabalho teve como objetivo a comparação entre o uso do cloro e radiação ultravioleta para a desinfecção do efluente doméstico, usando o grupo de coliformes totais como indicador para posterior reuso agrícola. Ademais, essa comparação se dará através dos parâmetros do indicador sob ótica da Resolução Conama 357/05.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 O CENÁRIO DA AGROPECUÁRIA NO BRASIL

O Brasil é o quinto maior país com extensão territorial e está entre os dez países com a maior área equipada para irrigação do mundo (FAO, 2013). Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU) (2019) a prática da agricultura (incluindo a irrigação, pecuária e aquicultura) utiliza cerca de 69% de toda água anualmente retirada em todo planeta. No cenário nacional, os maiores usos da água se dão pela irrigação com 68,4% e ao abastecimento animal com 10,8% (ANA, 2018).

Nos anos de 2009 a 2014 o comércio de fertilizantes cresceu cerca de 20,3% e a área plantada apenas 11,8% (ANA, 2017). Somente para o ano de 2018 foram entregues no mercado aproximadamente 35 mil toneladas de fertilizantes (ANDA, 2019).

Projeções mostram em apenas uma década a produção de grãos e carnes do país crescendo respectivamente, 26,8% e 27,3% mil toneladas de produto (MAPA, 2019). Apenas em 2015 foram embarcados cerca de 83,2 milhões de toneladas de milho e soja nos portos brasileiros (AMARAL et. al., 2019). Em 2018 a agropecuária brasileira teve alta de 0,1% sob o crescimento de 1,1% do Produto Interno Bruto (PIB) (IBGE, 2018).

O consumo mais expressivo de água provem da cultura do arroz e posteriormente da irrigação por pivô central (ANA, 2017). Projeções mostram a área de abrangência dos pivôs centrais crescendo de 30,8 mil hectares (ha), em 1985 para 1,4 milhões em 2017 e com tendência a aumento até 2030 (ANA, 2019).

2.2 EFLUENTES DOMÉSTICOS

Grande parte das cidades brasileiras se desenvolveram próximos a cursos d'água, seja para seu abastecimento ou para o despejo final do seus efluentes. Um estudo levantado pela Agência Nacional de Águas (ANA) em parceria com a Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental do Ministério das Cidades (SNSA/MCidades) intitulado Atlas Esgotos: Despoluição de Bacias Hidrográficas, revela que 61,6% do esgoto coletivo é coletado, 43,4% são devidamente tratados e 18,2% da parte coletada não é tratada (ANA, 2017). Essa parcela de efluente coletado que não possui tratamento se dá devido as falhas na rede coletora onde, parte é perdido por ligações clandestinas e/ou com mau estado de conservação, e a outra parcela não é tratada nas próprias estações de tratamento de esgoto (ETE) (ANA, 2017).

A NBR 9648 define esgoto doméstico como “despejo líquido resultante do uso da água para higiene e necessidades fisiológicas humanas” (ABNT, 1986). De acordo com Jordão e Pessoa

(2011) essas águas são compostas “essencialmente por água de banho, urina, fezes, papel, restos de comida, sabão, detergentes e águas de lavagem”.

Entretanto, os efluentes são caracterizados de acordo com sua utilização ou processo produtivo ao qual são submetidos, variando de acordo com situação social, econômica, clima e outros (MUFFAREG, 2003). Se tratando de efluentes domésticos, Jordão e Pessoa (2011) caracterizam os valores típicos das principais características físico-química, conforme a sua concentração de poluentes em fraco, médio ou forte.

Tabela 01 - Principais características físico-químico e sua concentração, valores expressos em mg/L.

| Parâmetro | Esgoto Fraco | Esgoto Médio | Esgoto Forte |
|------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| DQO | 200 | 400 | 800 |
| DBO ₅ | 100 | 200 | 400 |
| Oxigênio Dissolvido | 0 | 0 | 0 |
| Nitrogênio Total | 20 | 40 | 85 |
| Nitrogênio Orgânico | 10 | 20 | 35 |
| Amônia Livre | 10 | 20 | 50 |
| Nitrito | 0 | 0,05 | 0,1 |
| Nitrato | 0,1 | 0,2 | 0,1 |
| Fósforo Total | 5 | 10 | 20 |
| Carbono Orgânico Total | 80 | 160 | 290 |
| Sólidos Totais | 350 | 720 | 1200 |

Fonte: Adaptado de Metcalf e Eddy, 1991; Von Sperling, 2005 e Jordão e Pessoa, 2011;

Muitas destas características supracitadas favorecem ao seu reuso no solo, como no caso da matéria orgânica que quando em baixa concentração e em frequentes aplicações tendem a incorporar-se ao solo, elevando assim os níveis de produtividade (WEST, 2018).

2.3 REUSO AGRÍCOLA

A Resolução nº 54 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) (2005) estabelece em seu artigo segundo, definições importantes sob a temática, são elas:

Água residuária: esgoto, água descartada, efluentes líquidos de edificações, indústrias, agroindústrias e agropecuária, tratados ou não;

Reuso de água: utilização de água residuária;

Água de reuso: água residuária, que se encontra dentro dos padrões exigidos para sua utilização nas modalidades pretendidas;

Reuso direto de água: uso planejado de água de reuso, conduzida ao local de utilização, sem lançamento ou diluição prévia em corpos hídricos superficiais ou subterrâneos;

Ainda de acordo com a resolução, esse reuso direto não potável pode ser destinado a fins urbanos, agrícolas e florestais, ambientais, industriais e na agricultura. Outra definição importante é dada por Hespanhol (2002) a qual define reuso indireto como a diluição de um efluente após o tratamento em corpo hídrico e, após um tempo, este corpo hídrico sofre captação para eventual tratamento e distribuição.

Outra definição importante dada a temática foi definida pela OMS (2006) a qual classifica o reuso de efluentes em restrita e irrestrita.

A irrigação restrita utiliza efluentes com menor grau de potabilidade para irrigação de cultivos não ingeridos de forma crua. Já a irrigação irrestrita utiliza efluentes com alto grau de potabilidade para irrigação de toda e qualquer plantação, inclusive as consumidas cruas.

O reuso da água consiste em recuperar efluentes de modo a se utilizar em usos menos exigentes (MORUZZI, 2008). Para essa atividade o principal objetivo é garantir que a água utilizada esteja sanitariamente segura para ser usada de forma racional (WEST, 2018). Logo, não se visa a potabilidade destas águas residuárias, apenas a desinfecção e um tratamento preparatório para tal já é o suficiente (MONTE e ALBUQUERQUE, 2010).

O uso de efluentes domésticos tratado para fins agrícolas tem se mostrado como uma alternativa face a escassez hídrica, contaminação das águas superficiais e subterrâneas (GONÇALVES e MARQUES, 2016; BERTONCINI, 2008). Além destes benefícios o uso de efluentes tratados na irrigação favorece a um pós-tratamento no solo e sob a ótica da agronomia torna-se uma forma atrativa de reciclagem de nutrientes e de água (DOMINATO, 2011).

Pesquisas realizadas no nordeste brasileiro mostram o uso eficiente da irrigação agrícola com efluente no crescimento de capim, girassol, rabanete e outras culturas (SANTOS, 2012; WEST, 2018; DANTAS et. al., 2014). Essa reutilização de efluentes na agricultura tem aumentado em todo o planeta, especialmente nas regiões áridas e semiáridas (COSTA e BARROS JÚNIOR, 2005). Vale ressaltar que a escassez não é um fenômeno exclusivo das regiões áridas e semiáridas do Brasil visto os locais onde os recursos hídricos são abundantes, mas se tornam insuficiente face a excessiva demanda populacional, que é o caso da bacia do Alto Tietê (HESPANHOL, 2002).

Os efluentes sanitários tratados podem ser reutilizados para a recuperação de áreas e improdutivas visto a quantidade elevada de nutrientes presente em sua composição (SOUZA, 2011). As concentrações de macro e/ou micronutrientes, sais, metais variam de acordo com o processo de utilização desta água residuária (SANTOS, 2012). Como por exemplo o fósforo e o nitrogênio sendo um dos principais macronutrientes essenciais à vida das plantas (SOUZA, et. al., 2007; FREITAS, et. al., 2013; GONÇALVES e MARQUES, 2015).

Através da irrigação, esses nutrientes presentes nos esgotos domésticos são absorvidos pelas raízes das plantas levando ao rendimento da produção, por vezes maiores até que a combinação água potável e fertilizante artificial (MURRAY e RAY, 2010). Diversas pesquisas apontam uma redução do uso de fertilizantes ao se explorar os macros e micronutrientes presentes nos efluentes (DOMINATO, 2011). Alguns micros e macronutrientes presentes tanto nos fertilizantes quanto nos efluentes domésticos são o fósforo, nitrogênio, matéria orgânica, ureia, fosfatos e outros (RIBEIRO, GUIMARÃES e V. ALVAREZ, 1999; AMARO, [s. d.]; JORDÃO e PESSOA, 2011).

Apesar das diversas vantagens sob a temática do reuso de efluentes, especial atenção deve ser dada quanto ao seu manejo adequado visto que quando mal manuseados podem acarretar a salinização do solo devido as elevadas concentrações de sais presentes no efluente o que pode dificultar o desenvolvimento de cultivos posteriores, o excesso de matéria orgânica aplicado ao solo pode influenciar na produção e desenvolvimento da cultura, além da toxidez de determinados efluentes sem tratamento a qual podem estar ocasionado a contaminação de pessoas que tem contato com a cultura (WEST, 2018).

2.4 DESINFECÇÃO

Embora que cerca de 99,9% da sua constituição seja água, é apenas a parcela de 0,1% onde estes organismos estão localizados junto a matéria sólida orgânica e inorgânica a qual necessitam de especial tratamento sob a ótica do reuso (JORDÃO e PESSOA, 2011; MELO e MARQUES, 2000).

Um estudo realizado por Sousa et al, (2018) demonstra que os índices de notificações e óbitos de doenças de veiculação hídrica - como a dengue e a leptospirose sendo as mais expressivas - ocorridas nos anos de 2011 a 2015 na região metropolitana de Belém tem como causa a falta de saneamento básico e a sua precariedade.

O Instituto Trata Brasil (ITB) (2019) afirma que a cada R\$ 1,00 investido em saneamento economiza-se R\$ 4,00 em saúde, apresentando assim melhora na qualidade de vida e expectativa da população. Em média, cerca de cinco mil crianças morrem diariamente no mundo por doenças evitáveis relacionadas a água e saneamento (ONU, 2013).

A desinfecção visa a inativação dos organismos patogênicos presentes no efluente através da inserção de compostos químicos como o cloro, por meio da radiação ionizante ou não-ionizante como o caso do uso da radiação UV ou ainda pela remoção mecânica advinda dos processos primários como peneiramento, filtração e sedimentação (METCALF e EDDY, 2015). Essa inativação pode ser adquirida através do uso de agentes físicos, químicos ou

naturais a quais geram danificação, destruição ou alteração das organelas ou metabolismo dos microrganismos patogênicos (SILVA, 2007). Esses agentes físicos, químicos ou naturais podem ser caracterizados de acordo com sua natureza, como o exemplificado na Tabela 02.

Tabela 02 - Principais processos de desinfecção de águas.

| Processos de desinfecção de esgoto sanitário | | |
|--|---|---|
| Naturais | Artificiais | |
| | Agentes Físicos | Agentes Químicos |
| Lagoas de maturação. Disposição no solo. | Radiação Ultravioleta. | Cloro e seus derivados (Decloração/ dióxido de cloro, hipoclorito de sódio e etc.). |
| | Radiação Gama. | Ácido peracético. |
| | Processos de membranas: micro, nano e ultrafiltração, osmose reversa. | Ozônio. |
| | Ultrassons | Misturas oxidantes e outros |

Fonte: Adaptado Gonçalves (2003) e Monte e Albuquerque (2010).

Os principais organismos presentes em corpos d'água e esgotos são bactérias, vírus, fungos, protozoários, algas, helmintos e outros (METCALF e EDDY, 2015; JORDÃO E PESSOA, 2011). Nos efluentes domésticos esses microrganismos estão presentes em diversas concentrações as quais possuem características patogênicas ou não (TONON, 2007). Atualmente as bactérias mais utilizadas como indicador de contaminação são do grupo dos coliformes totais, contudo, devido a sua menor resistência a desinfetantes outros grupos de microrganismos patogênicos vem sendo estudados para a melhor efetividade dos processos de desinfecção (ASSIRATI, 2005).

É possível observar de forma ampla na Tabela 03 os tipos mais comumente de desinfetantes utilizados, bem como suas vantagens e desvantagens. Entretanto cabe ressaltar que a atuação de cada desinfetante depende diretamente da resistência específica de cada organismo patogênico (GONÇALVES, 2003).

Tabela 03 - Principais desinfetantes utilizados.

| Desinfetante | Vantagem | Desvantagem |
|--------------|--|--|
| Cloro | <ul style="list-style-type: none"> • Disponibilidade nas formas gasosa, líquida e sólida; • Formação do residual; • Controle de odores e moscas; • Oxida sulfetos; • Baixo custo; • Auxilia no espessamento do lodo; | <ul style="list-style-type: none"> • Formação de Trihalometanos, organoclorados e ácido acético; • Menos efetivo em pH elevado; • Liberação de compostos orgânicos voláteis na câmara de contato; |

| | | |
|-----------------------|---|---|
| | | <ul style="list-style-type: none"> • Tempo de contato maior comparado a outros desinfetantes; • Sofre degradação pela luz solar • Quando em maior dosagem tem poder oxidativo sob o ferro, manganês e outros compostos inorgânicos; • Formação de cloraminas em efluentes com alto teor de amônia; • Poder corrosivo; • Quando gasoso, apresenta alta toxicidade. |
| Radiação Ultravioleta | <ul style="list-style-type: none"> • Não há formação de subprodutos; • Requer menor área de instalação; • Ausente de toxicidade residual; • Simplicidade de operação; • Maior segurança operacional; • Oxidação de alguns contaminantes orgânicos, caso haja interesse; • Não altera a qualidade físico-química da água. | <ul style="list-style-type: none"> • Requer um esgoto com baixo teor de sólidos suspensos e turbidez; • Maior periodicidade de limpeza; • Maior consumo energético; • Custo de investimento alto; • Requer projeto hidráulico; • Não possibilita o controle de odor; • Formação de limo nos tubos de quartzo. |
| Ozônio | <ul style="list-style-type: none"> • Menor tempo de contato comparado ao cloro; • Oxida sulfetos; • Menor espaço para instalação; • Sua propriedade de desinfecção não é afetada pelo pH. | <ul style="list-style-type: none"> • Altamente corrosivo e tóxico; • Não possui ação residual; • Formação de subprodutos; • Consumo energético elevado; • Riscos com a segurança; • Formação de gases de exaustão; • Custo elevado para implantação. |

Fonte: Adaptado Oliveira, 2003; Medeiros, 2010; Jordão e Pessoa, 2011.

Para a escolha do melhor sistema de desinfecção, deve-se levar em consideração principalmente as características físico-química do efluente, o volume a ser desinfetado, formação de subprodutos indesejáveis, custos de operação, não patogenicidade ao ser humano, ser solúvel a água e outros (METCALF e EDDY, 1991; MONTE e ALBUQUERQUE, 2010).

Posteriormente, alguns fatores podem afetar a ação dos desinfetantes como o tempo de contato, concentração, temperatura, tipo de microrganismo, intensidade e a natureza dos agentes físicos e químicos desinfetantes, são de suma importância no projeto (METCALF e

EDDY, 1991; AISSE, et. al. 2003). Para Metcalf e Eddy (1985) a maior importância no processo de desinfecção deve ser dada ao tempo de contato. Atenção especial deve ser dada a temática visto que pesquisas da indústria alimentícia revelam que o uso de alguns desinfetantes tem fixado uma pressão seletiva e contribuído para o surgimento de microrganismos resistentes a estes desinfetantes químicos (SILVEIRA, 2004).

Jordão e Alem Sobrinho realizaram o levantamento dos custos de implantação e operação para os processos de desinfecção que podem ser vistos a seguir na Tabela 04.

Tabela 04 - Custos de implantação e operação para os processos de desinfecção.

| Desinfecção | Origem do Efluente | População (hab.) | Vazão (L/s) | Custo de Implantação (R\$) | Custo Unitário de Implantação (R\$/hab.) | Custo de Operação (R\$/m ³) |
|----------------------|---|------------------|-------------|----------------------------|--|---|
| Dióxido de Cloro | UASB ^(a) +FAD ^(b) | 5.844 | 10 | 46,83 | 273.674,00 | 0,108 |
| Cloro Gasoso | UASB+FB ^(c) | 71.000 | 137 | 3,80 | 270.000,00 | 0,012 |
| | LAAP ^(d) | 124.000 | 310 | 4,83 | 600.000,00 | 0,024 |
| Hipoclorito de Sódio | UASB+FAN ^(e) | 41.380 | 88 | 5,55 | 230.000,00 | 0,078 |
| | UASB+Lagoa | 14.425 | 40 | 14,56 | 210.000,00 | 0,089 |
| Radiação UV | UASB+FB ^(c) | 5.84 | 10 | 21,98 | 128.433,00 | 0,034 |

Fonte: Adaptado Camargo (2004), Jordão e Sobrinho (2003).

Legenda: a) UASB: Upflow Anaerobic Sludge Blanket; b) FAD: Flotação por ar dissolvido; c) FB: Filtro biológico; d) LAAP: Lodos ativados com aeração prolongada; e) FAN: Filtro anaeróbio.

Portanto, para se alcançar uma melhor solução e garantia sanitária através da desinfecção, deve-se visar um ponto ótimo entre os custos (de aplicação e considerando os riscos associados a formação de subprodutos) e o benefício cada processo e nível de desinfecção (DA SILVA 2007).

2.4.1 Cloração

Por questões de disponibilidade, baixo custo, eficiência na remoção de patógenos, técnica de aplicação e controle o uso do cloro para a desinfecção de águas e efluentes vem sendo amplamente utilizado no Brasil e no mundo (OLIVEIRA, 2003; AISSE, et. al. 2003; OSÓRIO, 2013). Pode ser encontrado nos três estados físico da matéria como o hipoclorito de sódio na

forma líquida (NaClO), gasosa como o gás cloro (Cl₂) e sólida como o hipoclorito de cálcio (Ca(ClO)₂) (DANIEL, 2001; TONON, 2007; DA SILVA, 2007).

O principal objetivo da cloração em esgotos sanitários ou tratamento da água é a prevenção da disseminação das doenças de veiculação hídrica (OLIVEIRA, 2003). Ele atua de maneira eficiente na inativação de bactérias e vírus, entretanto, apresenta ação reduzida na inativação de protozoários (TONON, 2007). Ademais, tem como finalidade o controle de odor, controle da espuma nos digestores, aumenta a eficiência da decantação, promove o controle de organismos patogênicos e atua oxidando a matéria orgânica presente nos efluentes (JORDÃO e PESSOA, 2011).

O hipoclorito de sódio é disponibilizado gratuitamente no Brasil e suas concentrações podem variar de 1 a 10% na forma líquida, pois concentrações maiores de 10% já apresentam instabilidade (CAMARGO, 2004). Entretanto, de acordo com Monte e Albuquerque (2010) soluções de 12 a 15% de hipoclorito de sódio são mais utilizados para a desinfecção. Devido ao grande volume de cloro utilizado na desinfecção de efluentes, muitas ETE's vêm investindo na geração deste agente químico *in loco* a fim de se reduzir os custos de operação, riscos de transportes e armazenamento (MARTINS et al., 2006).

A forma pelo qual o cloro é aplicado influi diretamente no processo de desinfecção e a inativação dos microrganismos obedece a Lei de Chick, sendo (JORDÃO e PESSOA, 2015):

$$\log \frac{N}{N_0} = (-k \log e)t \quad (1)$$

Onde:

No = número de organismos originalmente presentes;

N = número de organismos restantes;

k = velocidade de decaimento ou taxa de destruição.

t = tempo

A Lei de Chick reconhece a inativação dos microrganismos em função do tempo (GONÇALVES, 2003).

Para a cloração, alguns compostos presentes nos esgotos sanitários acabam interferindo no processo, como os sulfetos, metais, substâncias orgânicas nitrogenadas e aromáticas (JORDÃO e PESSOA, 1995). Porém, ao se adicionar o hipoclorito ou o cloro gasoso em águas com ínfimas quantidades de matéria orgânica, nitrogênio e/ou outras substâncias que demandam cloro, rapidamente se estabelece um equilíbrio entre as diversas espécies químicas em solução (OLIVEIRA, 2003). Essas reações entre cloro e substâncias presente no efluente

resulta em perda de desinfetante ou mudança para uma forma menos ativa, como no caso das cloraminas ou o cloro residual combinado (GONÇALVES, 2003, CAMARGO, 2004). De acordo com Daniel (2001) normalmente os compostos resultantes desta ação do cloro sob os compostos nitrogenados são os elencados na Tabela 05.

Tabela 05 - Compostos resultantes da reação do cloro com as formas de nitrogênio.

| Composto | Fórmula Empírica |
|--------------------------|--------------------|
| Cloro Livre | |
| Ácido Hipocloroso | HOCl |
| Íon Hipoclorito | OCl ⁻ |
| Cloraminas | |
| Monocloramina | NH ₂ Cl |
| Dicloramina | NHCl ₂ |
| Tricloreto de Nitrogênio | NCl ₃ |

Fonte: Adaptado Daniel (2001).

Cada um dos três compostos formados do grupo da cloramina exposto na Tabela 05 contribuem para o residual de cloro combinado, sendo preferível a sua formação por se tratar de substâncias que contribuem para o processo de desinfecção (AISSE, 2003; TONON, 2007).

Todavia, o uso de cloro merece atenção especial devido a sua capacidade de formação dos trihalometanos (THMs), ácidos haloacéticos (HAA) e compostos organoclorados, principalmente na forma de dióxido de cloro ClO₂ (DA SILVA, 2007). Estudos relacionados apontam que a matéria orgânica dissolvida na água é principal precursora na formação de subprodutos do cloro, sobretudo os de origem vegetal que são originados por ácidos húmicos e fúlvicos (PIANOWSKI e JANISSEK, 2003).

De acordo com Baldotto e Baldotto (2014) “as substâncias húmicas são compostos orgânicos condensados, produzidos pela ação microbiana”. Rocha e Rosa (2003) define os ácidos húmicos como um “material de coloração escura, a qual pode ser extraída do solo por vários reagentes, sendo insolúvel em meio ácido (pH<2), possuindo cerca de 58% de carbono”. Esses ácidos húmicos possuem maior potencial na formação de THMs, quando se comparado aos demais precursores e, podem reagir a substâncias como o agrotóxico e a pesticidas quando em contato com o solo (BALDOTTO e BALDOTTO, 2014; PIANOWSKI e JANISSEK, 2003).

2.4.2 Radiação Ultravioleta

A radiação ultravioleta corresponde a faixa do espectro eletromagnético que vai de 100 a 400nm, localizado entre as regiões do raio-x e a luz visível (NUVOLARI, 2003):

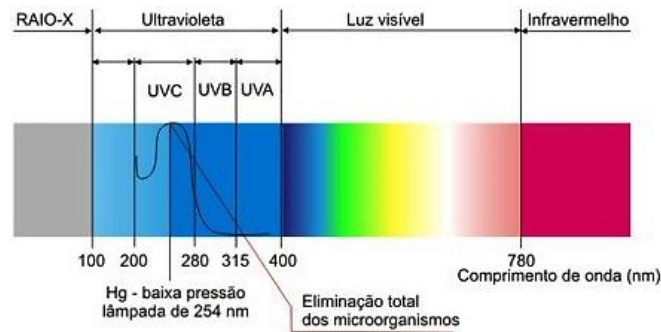


Figura 01 – Espectro eletromagnético.

Fonte: Food Safety News.

A radiação UV é um componente invisível da radiação solar e sua faixa de comprimento de onda com maior efeito sobre o DNA das células encontra-se entre a faixa de 250 a 270nm (METCALF e EDDY, 2007; BOLTON 1999). As radiações com maior efeito germicida encontram-se nas faixas UVB e principalmente no UVC (SOUZA, 2011).

O processo e uso mais simples e difundido de desinfecção UV provém da própria radiação solar sob as lagoas de maturação. As lagoas de maturação são usadas no final de um sistema clássico de lagoas de estabilização a qual deseja-se a melhor qualidade do efluente tratado face a remoção de organismos patogênicos como os coliformes totais (JORDÃO e PESSOA, 2011). Este tipo de desinfecção está presente em mais de 260 ETE's pelo Brasil (ANA, 2017).

A inativação dos organismos decorre da penetração dos raios ultravioletas a parede celular e sendo absorvida pelos ácidos nucleicos e em menor extensão pelas proteínas (OLIVEIRA, 2003). Entretanto, a destruição ou inativação dos microrganismos está diretamente relacionado a intensidade da radiação UV, tempo de exposição, configuração do reator e características do líquido a ser desinfetado (DIAS, 2001).

As fontes de radiação UV podem ser naturais como a emitida pelo sol ou por fontes artificiais através de uma lâmpada de vapor de mercúrio de baixa pressão a qual pode estar imersa ou emersa ao efluente. Esse vapor de mercúrio é bastante utilizado em lâmpadas germicidas devido a sua capacidade de emissão de radiação na faixa do ultravioleta e pela sua propriedade de não interação com os eletrodos ou invólucro da lâmpada

As lâmpadas imersas ao efluente localizam-se dentro de um canal ou tubulação por onde o líquido a ser desinfetado escoar estando em contato direto com a lâmpada. Esse canal ou tubulação deve possuir um revestimento especial de quartzo, pois este material apresenta baixa capacidade de absorção dos raios emitidos e, a fim de se evitar a redução de radiação emitida decorrente à redução de temperatura da lâmpada face a redução de temperatura do líquido. (JORDÃO e PESSOA, 2011; DANIEL e CAMPOS, 1992).

As lâmpadas emersas ao efluente localizam-se a parte externa do fotoreator e o escoamento do líquido a ser desinfetado se dá através de tubos de teflon, podendo ou não possuir refletores em sua superfície (JORDÃO e PESSOA, 2011; DANIEL e CAMPOS, 1992). Neste modelo de desinfecção deve ser levado em consideração a parte de energia e radiação perdida, visto que somente partes desta atinge a superfície líquida e parte é absorvida pelo material do tubo (DANIEL e CAMPOS, 1992).

Dentre as vantagens do uso da radiação UV como desinfetante de efluentes destaca-se a facilidade de operação e segurança, não geração de compostos organoclorados, não gera qualquer residual, dispõe de menor área de instalação e operação, melhor eficácia comparada ao cloro quanto a inativação de vírus, cistos e esporos, curto período de tempo de contato com o efluente e outros (JORDÃO e PESSOA, 2011; METCALF e EDDY, 2015; GONÇALVES e MARQUES, 2015).

Entretanto gera como desvantagem a necessidade de um efluente com baixa concentração de sólidos em suspensão e turbidez, pois qualquer fator que impeça que a radiação UV atinja os organismos contribui para a diminuição da sua eficiência (DONAIRE, 2001).

A eficiência do processo de desinfecção por meio da radiação UV é baseada na dose de radiação a qual os organismos serão expostos, sendo definida pela equação (METCALF e EDDY, 2015):

$$D = I_{avg} \times t \quad (2)$$

Onde:

D = dose de radiação UV expressa em mJ/cm^2 ($\text{mJ}/\text{cm}^2 = \text{mW} \cdot \text{s}/\text{cm}^2$)

I_{avg} = intensidade média de radiação UV, mW/cm^2

t = tempo de exposição, s.

Este parâmetro é similar ao termo dose utilizado em agentes químicos de desinfecção, sendo expresso em mg/L (DONAIRE, 2001; METCALF e EDDY, 2015). Além da dose de radiação necessária para a inativação dos microrganismos deve-se levar em consideração os tipos de microrganismos resistentes a esse método de desinfecção e concentração dos sólidos suspensos da água (DONAIRE, 2001).

2.5 LEGISLAÇÃO

Em âmbito mundial Organização Mundial da Saúde (OMS) tornou-se referência ao adotar padrões para o reuso de efluentes, visto que muitos países realizam tal ação, porém não possuem uma normativa vigente, como é o caso do Brasil. A qualidade microbiológica adotada

pela OMS (2006) se baseia na concentração de coliformes totais e em números de ovos de helmintos, como vide a Tabela 06.

Tabela 06 – Recomendações da OMS sob a qualidade microbiológica de efluentes tratados para uso agrícola.

| Tipo de Irrigação | Cultura | Helmintos (Ovos/L) | Coliformes Totais (UFC/100 ml) |
|--|--|--------------------|--------------------------------|
| Irrestrita: Produtos ingeridos crus. | Cultura de Raízes | ≤ 1 | $\leq 10^3$ |
| | Cultivo de Folhas | ≤ 1 | $\leq 10^4$ |
| | Irrigação por gotejamento, culturas de alto crescimento. | ≤ 1 | $\leq 10^5$ |
| Restrita: Produtos não ingeridos crus. | Prática agrícola com alto contato entre o trabalhador e efluente a ser reutilizado | ≤ 1 | $\leq 10^4$ |
| | Prática agrícola mecanizada; baixo contato entre o trabalhador e efluente a ser reutilizado. | ≤ 1 | $\leq 10^5$ |

Fonte: Adaptado de WHO (2006) e Gonçalves e Marques (2015).

Para cenário o nacional a legislação brasileira ainda se encontra a uma padronização dos níveis de qualidade para o reuso de efluentes na agricultura. A Lei Nacional nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997, conhecida como Lei das Águas institui a Política Nacional de Recursos Hídricos do Brasil e possui o enfoque para a questão do gerenciamento dos recursos hídrico, entretanto a mesma deixou ausente princípios e critérios para a reutilização da água no país (SANTOS, 2012).

A resolução nº 151 de 16 de dezembro de 2010 do CNRH estabelece diretrizes e critérios para a prática de reuso direto não potável de água na modalidade agrícola e florestal. Em seu artigo 6º dispõe que “as concentrações recomendadas de elementos e substâncias químicas no solo, para todos os tipos de reuso para fins agrícolas e florestais, são os valores de prevenção que constam da legislação pertinente” (CNRH, 2010), entretanto não estabelece padrões ou indica aos mesmos.

A resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) nº 357 de 17 de março de 2005 além de classificar corpos de água, estabelece condições e padrões de lançamento de efluentes. Para a irrigação em suas formas restritas e irrestritas, aborda a classe à qual o corpo hídrico pertence e estabelece padrões com base no parâmetro coliforme, como vide Tabela 07.

Tabela 07 – Uso agrícola das águas de classes doces e salobras com o padrão microbiológico aceito.

| | Classes | Irrigação Restrita | Irrigação Irrestrita | Coliformes (CF/100ml) |
|-------------------------------|----------|---|---|-----------------------|
| Águas Doces ^(a) | 1 | - | Hortalças consumidas cruas e frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam consumidas cruas sem remoção de película. | 200 ^(c) |
| | 2 | Plantas frutíferas e hortalças, não sendo consumidas cruas. | - | 1000 ^(c) |
| | 3 | Culturas arbóreas e cerealíferas. | - | 4000 ^(c) |
| | Especial | - | - | - |
| Águas Salobras ^(b) | 1 | - | Hortalças consumidas cruas e frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam consumidas cruas sem remoção de película. | 200 ^(d) |
| | 2 | - | - | - |
| | 3 | - | - | - |
| | Especial | - | - | - |

Fonte: Adaptado Conama (2005).

a) Águas doces: salinidade inferior a 0,5%; b) águas salobras: salinidade entre 0,5 e 30%; c) valores estipulados de acordo com 80% ou mais de pelo menos 6 amostras analisadas durante 1 (um) ano; e d) valores estipulados de acordo com 90% com valores de até 88 coliformes das 5 amostras coletadas em 1 ano.

Posteriormente a resolução 357/05 sofreu algumas alterações pela 430 de 13 de maio de 2011. Entretanto, a única menção ao reuso de efluentes para fins agrícolas é exposto em seu artigo 2º:

Art. 2º A disposição de efluentes no solo, mesmo tratados, não está sujeita aos parâmetros e padrões de lançamento dispostos nesta Resolução, não podendo, todavia, causar poluição ou contaminação das águas superficiais e subterrâneas. (BRASIL, 2011).

Há-se o avanço um pouco moroso no estabelecimento de parâmetros operacionais específicos para o reuso da água, entretanto o estado de São Paulo promulgou em julho de 2017 a resolução conjunta nº 01 a qual disciplina o reuso direto não potável de água, para fins urbanos, proveniente das ETE's. Abrange as atividades de irrigação paisagística, lavagem de logradouros e outros espaços públicos e privados, construção civil, desobstrução de galerias de água pluvial e rede de esgotos, lavagem de veículos e combate a incêndio (ESTADO DE SÃO

PAULO, 2017). Uma definição importante utilizada pela resolução é quanto as categorias de reuso, sendo divididas em uso com restrição moderada e restrição severa. De acordo com a Resolução 01/17 o uso com restrição moderada são direcionadas as seguintes atividades:

- I - irrigação paisagística;
- II - lavagem de logradouros e outros espaços públicos e privados;
- III - construção civil;
- IV - desobstrução de galerias de água pluvial e rede de esgotos;
- V - lavagem de veículos;
- VI - combate a incêndio. (ESTADO DE SÃO PAULO, 2017).

O uso com restrição severa é destinado exclusivamente as atividades dos incisos I a V, exceto lavagens de veículos. A Tabela 08 a seguir exhibe alguns padrões de qualidade dispostos no artigo 5º da resolução, para as atividades anteriormente mencionadas.

Tabela 08 - Padrões de qualidade preconizados pela Resolução Conjunta nº 01/2017 do Estado de São Paulo.

| Padrões de Qualidade | | Categorias de Reuso | |
|---|--------------------|---------------------|------------------|
| Parâmetro | Unidade | Restrição Moderada | Restrição Severa |
| Sólidos Dissolvidos Totais (SDT) | | <450 | <2.000 |
| Sólidos Suspensos Totais (SST) | mg.L ⁻¹ | ≤0,5 | <30 |
| DBO | | ≤10 | ≤30 |
| Cloreto | | <106 ⁽³⁾ | <350 |
| Cloro Residual Total | | <1 | <1 |
| Boro | | <0,7 | <2,0 |
| Coliformes Termotolerantes ⁽²⁾ | 100 UFC/mL | Não detectável | <200 |
| Ovos de Helmintos | Ovo/L | <1 | 1 |
| <i>Ascaris sp.</i> | | | |
| Turbidez ⁽¹⁾ | NTU | ≤2 | - |
| Condutividade Elétrica | dS/m | <0,7 | <3,0 |
| pH | - | 6 a 9 | |

Fonte: Resolução Conjunta SES/SMA/SSRH N° 01 de 28 de junho de 2017.

1) A turbidez deve ser respeitada antes da desinfecção, baseado nas médias das medições horárias durante o período de 24h com nenhuma medição horária excedendo 5 NTU. 2) Caso seja utilizado o parâmetro E. coli, o limite para o uso restrito deve ser 120 UFC/100mL. 3) Utilizado para irrigação, para os demais usos utiliza-se o padrão de uso com restrição severa.

Ademais, o artigo 5º desta resolução que dispõe sobre os parâmetros mencionados na Tabela 08 não exclui a obrigação de atender os padrões de lançamento de efluentes estabelecidos nas legislações ambientais específicas. Logo, os padrões estipulados pela Conama 357/05 mediarão este trabalho.

3 METODOLOGIA

3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Os experimentos para este trabalho foram realizados no Laboratório de Saneamento (SANEAM) e as análises de coliformes totais no Laboratório de Microbiologia e Limnologia (LABLIM) localizados no Departamento de Engenharia Ambiental (DEA) da Fundação Universidade Federal de Rondônia (UNIR) *campus* Ji-Paraná.

O efluente escolhido provém dos sanitários de um dos prédios de ensino do *campus*, após o tratamento por um reator piloto de lodo ativado convencional. Este sistema é composto por um reator com aeração constante, tanque de decantação, recírculo e descarte, como vide Figura 2.

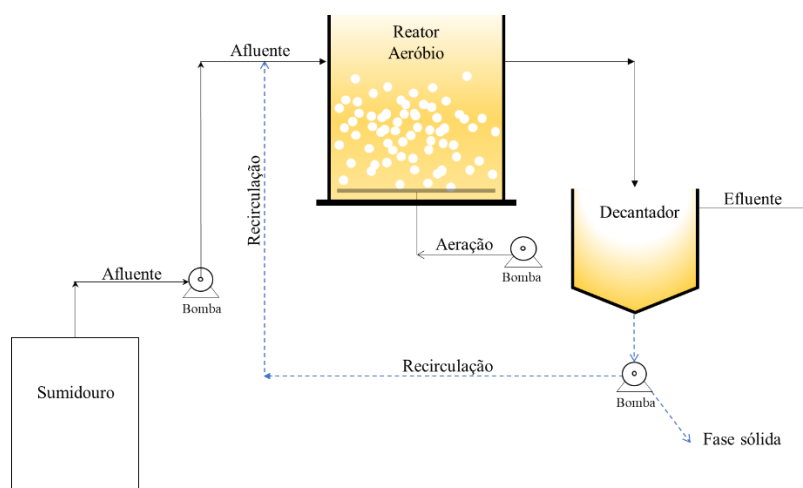


Figura 02 – Reator piloto de lodo ativados.
Fonte: Adaptado de JORDÃO e PESSOA (2005).

3.2 CLORAÇÃO

Para a realização das análises foi utilizado o hipoclorito de sódio (NaClO) em estado líquido, cujo é distribuído gratuitamente em postos de saúde pelo país. Para a quantificação do teor de cloro ativo no produto foi realizado a titulação do produto por meio do tiosulfato de sódio como preconizado pelo estudo de De Lucca (2006). Cloro ativo, de acordo com o autor supracitado, refere-se ao cloro presente no hipoclorito de sódio que tem o mesmo poder oxidante do cloro molecular, ou seja, é a quantidade do cloro puro na solução em questão que exerce o mesmo poder oxidante de que em uma quantidade unitária da solução.

O ensaio de desinfecção utilizou agitadores magnéticos como câmara de contato entre o efluente e o desinfetante. Metcalf e Eddy (2012) relata que o tempo de contato médio entre efluente e desinfetante é estipulado pelos órgãos regulamentadoras e salienta tempos entre 30 a 120 min. Entretanto, Oliveira (2003) preconiza que para efluentes domésticos tratados um

tempo de contato de 30 a 60 minutos já seria o suficiente. Baseado no exposto, utilizou-se tempos de contato de 40, 80 e o maior tempo de 120 minutos visando o melhor tempo de contato para o agente e sua degradação por completa ao utilizar o maior limite. As dosagens requeridas foram de 4, 6, 8, 10 e 12 mg/L de cloro.

3.3 RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA

O reator utilizado foi confeccionado no próprio laboratório de saneamento do *campus* da universidade sendo composto por uma lâmpada UV-C (Modelo: HNS 8W, base G5, bulbo T5, comprimento de 287mm da Marca OSRAM) em um tubo de quartzo, câmara de contato e bombeamento para a entrada e saída do efluente no sistema. A entrada do esgoto dava-se pela parte inferior e sua posterior saída localiza-se a parte superior do reator.

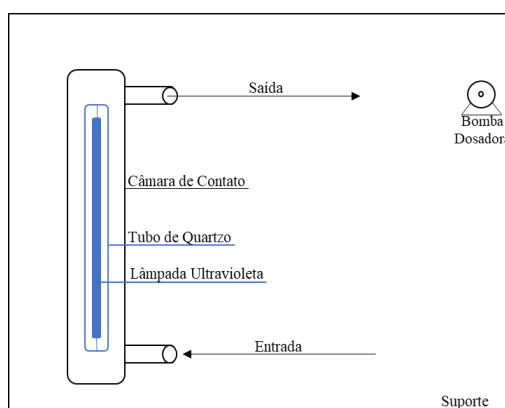


Figura 03 – Esquematização do sistema de desinfecção UVC montado em laboratório.
Fonte: A autora.

A alimentação do sistema deu-se através de uma bomba dosadora de micro vazão da marca MS Tecnopon modelo LDP 101-3. Vale ressaltar que o efluente de entrada ao passar pela lâmpada UV era descartado em Becker diferente ao da entrada para assim, se medir a real eficiência do sistema. As dosagens analisadas foram de 100, 80, 50 e 20 ml/min com um tempo de contato de 60, 75, 120 e 300s, respectivamente. Após a calibração de cada dosagem da bomba, aguardou-se o tempo de 30 minutos para o total enchimento do sistema. Em seguida, separou-se uma amostra de 100ml de cada dosagem para a realização da análise de coliformes.

3.4 COLIFORMES

As análises de coliformes foram realizadas de acordo com o estipulado pela Funasa (2013) através da técnica da membrana filtrante. Consiste, portanto, na homogeneização e filtragem da amostra através de membranas filtrantes de acetato de celulose ou nitrocelulose com porosidade de 45 µm cuja possui a função de reter os microrganismos maiores que o tamanho do poro da membrana. Posteriormente, a membrana é disposta em contato com a parte

quadriculada ao meio de cultura (Agar) é direcionada a incubação em estufa a 35°C e decorrido o período de 24h é realizado a contagem das colônias (GREGHI, 2005; FUNASA 2013).

3.5 TESTE ESTATÍSTICO DE TUKEY

O software utilizado para a realização das análises estatísticas foi o R Studio disponível gratuitamente no site de mesmo nome. O teste estatístico de Tukey é baseado na amplitude total estudentizada (*studentized range*) utilizado para comparar todo e qualquer contraste entre duas médias de tratamentos (OLIVEIRA, 2008). Esse teste é exato e de uso muito simples pois o número de repetições é o mesmo para todos os tratamentos e tem como princípio a diferença mínima significativa (DMS) sendo calculada da seguinte forma (VIEIRA e HOFFMANN, 1989; OLIVEIRA, 2008):

$$\Delta(\alpha) = q(\alpha) \sqrt{\frac{QMR}{r}} \quad (3)$$

Onde:

$q(\alpha)$ = o valor tabelado por Tukey em função do número de tratamento e dos graus de liberdade do resíduo;

α = o valor dado na tabela ao nível de significância estabelecido;

QMR = é o quadrado médio do resíduo da análise de variância, e

r = é o número de repetições de cada um dos tratamentos.

Segundo o teste, as duas médias serão estatisticamente diferentes entre si, toda vez que o valor absoluto da diferença entre elas for igual ou maior que DMS (VIEIRA e HOFFMANN, 1989). Ainda de acordo com Vieira e Hoffman, (1989) para a realização deste teste, as seguintes suposições devem ser levadas em consideração:

- I) As observações são independentes dentro e entre os grupos;
- II) Os grupos devem ser normalmente distribuídos;
- III) A variância dentro do grupo deve ser constante.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O efluente doméstico utilizado foi coletado do decantador do sistema de lodos ativados e suas características podem ser descritas vide Tabela 09. Não houve regime de chuvas nas últimas 24h que antecederam o estudo.

Tabela 09 - Características do efluente utilizado provido do sistema de lodo ativado.

| Parâmetro | Valores | Desvio Padrão σ |
|---|-----------------------|------------------------|
| DQO ^(a) | 118,6 | 35,3 |
| N-NH ₄ ⁻ ^(a) | 49,25 | 15,91 |
| N-NO ₂ ⁻ ^(a) | 21,41 | 12,9 |
| NIT ^(a) | 72,17 | 19,4 |
| pH | 6,38 | 0,587 |
| T ^(b) | 29,96 | 0,850 |
| Cond. Elétrica ^(c) | 1016,4 | 206 |
| Turbidez ^(d) | | - |
| ORP ^(e) | 7,7 | 31,8 |
| Salinidade ^(f) | 2 | 0,436 |
| Coliformes Totais ^(g) | 7,0 x 10 ⁶ | - |

Fonte: A autora.

Unidades de cada parâmetro: a) mg/L; b) °C; c) $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$; d) NTU – Unidade Nefelométrica de Turbidez; e) mV; f) %; e g) UFC.

Ao analisar a Tabela 09 nota-se elevada quantidade de nitrogênio amoniacal presente no efluente estudado. Sua presença pode interferir na cinética de inativação dos microrganismos indicadores (METCALF e EDDY, 1985; HASSEN et al., 1998). Principalmente para a cloração a amônia minimiza o efeito bactericida do desinfetante levando a sua baixa eficiência de inativação (RIBEIRO et al., 2001).

Outro parâmetro importante observado empiricamente *in loco* no efluente estudado foi a concentração de sólidos em suspensão presente. Para a realização do experimento o efluente ficou em repouso durante 30 minutos para a decantação do material particulado e posteriormente foi retirada o sobrenadante para o teste de desinfecção. Entretanto, é cabível que não há uma precisão exata na eliminação dos sólidos com o processo anteriormente citado, apenas uma separação dos flocos maiores presentes.

4.1 ENSAIO DE CLORAÇÃO

Para ambos os ensaios de cloração e radiação UVC o valor médio da concentração de coliformes totais no esgoto bruto foi de 7,0 x 10⁶ UFC/100ml ficando entre a faixa estipulada por Jordão e Pessoa (2005) de 10⁶ a 10¹⁰ UFC/100 ml.

Diversos autores recomendam intervalos diferentes de tempo e concentração para as dosagens de cloro nos efluentes. Na literatura é abordado concentrações variando entre 2 a 20 mg/L com destaque Jordão e Pessoa (2005), indica dosagens entre 2 a 8 mg/L de cloro para o processo de lodo ativado, por sua vez Gonçalves (2003) e Oliveira (2003) estabelecem dosagens de cloro entre 6 e 13 mg/L e concentrações variando entre 5 a 20 mg/L, respectivamente. Diante o exposto, as dosagens utilizadas foram 6, 8, 10 e 12 mg/L. São estudados diversos tempos de contato, desde 5 minutos como o utilizado por Souza e Daniel (2005) a 240 minutos usados por Medeiros, Sartori e Daniel (2018).

Após a aplicação da metodologia anteriormente exposta, foi realizado os ensaios de cloração variando a concentração de cloro nos tempos estipulados de 40, 80 e 120 minutos. Dado o tempo determinado, foi retirado uma parte da amostra clorada e realizada a análise de coliformes de acordo com o preconizado pela Funasa (2013). Os resultados a seguir apresentam a variação da concentração dos coliformes totais (UFC/100ml) em relação a dosagem de cloro submetida (mg. Cl/L).

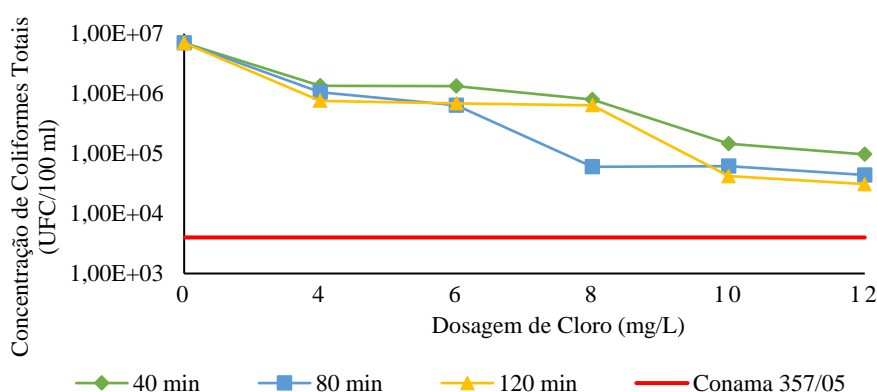


Figura 04 - Relação entre concentração de coliformes totais e dosagem de cloro face a Resolução Conama 357/05.

Fonte: A autora.

Ao analisar de forma geral todos os tempos estudados, observa-se a partir da Figura 04 uma tendência na diminuição nas unidades formadoras de colônias à medida que se aumenta a concentração de cloro no efluente. Contudo, por meio da linha vermelha, nenhum dos tempos e concentrações estudados a remoção foi eficiente para atingir o padrão estabelecido pela Conama 357/05. Tal fato também foi encontrado por Tonon (2007) que estudou diversas concentrações do desinfetante, a qual só passou a atingir o parâmetro da resolução a partir de concentrações acima de 25 mg.L^{-1} onde, estatisticamente os tempos estudados de 30, 45 e 60 minutos não diferenciavam entre si, apenas as concentrações do desinfetante utilizado.

Como vide Figura 4, observa-se uma redução rápida da concentração de coliformes já na primeira dosagem de 4mg/L de cloro para os diferentes tempos. Esse rápido consumo de cloro e baixa capacidade de inativação dos microrganismos também foi observado no estudo de Souza e Daniel (2005) a qual atribuíram tal fato ao significativo teor de matéria orgânica presente no esgoto, esse acometimento é decorrente da competição entre as reações de oxido-redução e da substituição do cloro no meio. Essa variável foi observada empiricamente *in loco* pela quantidade expressiva de sólidos suspensos em toda amostra coletada e a relação DQO/DBO com valores de 1,9 de degradabilidade do efluente utilizado. Ademais, a expressiva quantidade de amônia presente no efluente acarreta também a perda da eficiência do processo de inativação dos microrganismos devido a formação de cloraminas (RIBEIRO et al, 2001).

À medida que se aumenta a dosagem de cloro para o tempo de 80 minutos, há uma redução gradual da concentração de coliformes totais ao longo do tempo de exposição. Contudo, para o tempo de 40 minutos ao aumento de dosagens de cloro provoca uma lenta redução na concentração de coliformes totais, mantendo seu comportamento quase que de forma linear.

Para o tempo de 120 minutos a ação bactericida se mantém linear nas três primeiras dosagens e, a partir da dosagem de 8 a 12 mg.L⁻¹ apresenta resultados expressivos quanto a inativação dos microrganismos, levando a um leve caimento nas UFC, contudo, comparado aos outros tempos e concentrações, atinge os maiores valores de inativação.

A seguir, foi analisado de acordo com a Lei de Chick o log de decaimento das unidades formadoras de colônia em função da dosagem em cada tempo. Na Figura 5,6 e 7 pode-se observar que existe uma relação relativamente constante de decaimento entre os valores de concentração de coliformes totais e a variação de dosagens de cloro quando expostos aos tempos estipulados de 40, 80 e 120 minutos. O valor dos coeficientes de determinação ($0.9 \leq r^2 < 1$) indica um alto poder de explicação (maior que 90%) do modelo ajustado. Além de possuir também forte correlação positiva ente as variáveis em estudo.

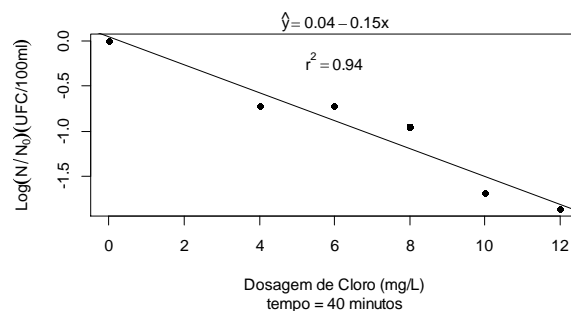


Figura 05 - Cinética de remoção da concentração de coliformes totais frente à ação das diferentes dosagens de Cloro e exposição ao tempo de 40 minutos.

Fonte: A autora.

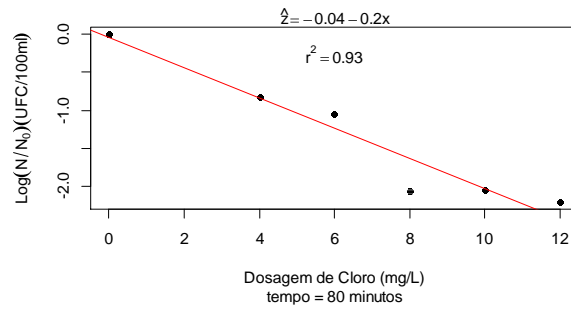


Figura 06 - Cinética de remoção da concentração de coliformes totais frente à ação das diferentes dosagens de Cloro e exposição ao tempo de 40 minutos.

Fonte: A autora.

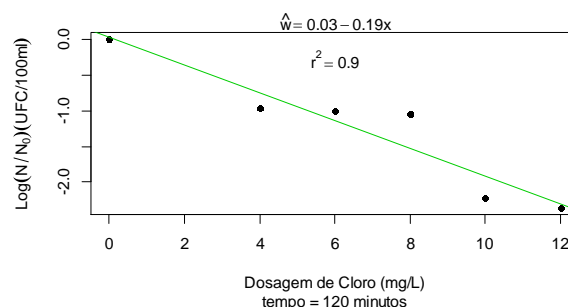


Figura 07 - Cinética de remoção da concentração de coliformes totais frente à ação das diferentes dosagens de Cloro e exposição ao tempo de 120 minutos.

Fonte: A autora.

Através das Figuras 05, 06 e 07 podemos observar um declínio exponencial do número de coliformes totais face a concentração do desinfetante e o tempo de contato com ele. Através do comportamento dos gráficos, as equações de decaimento bacteriológico K foram na ordem de 0,04, -0,04 e 0,03 UFC/mg.CL.min⁻¹.

Tal comportamento também foi encontrado por Scherer (2004) com fortes correlações entre as variáveis e eficiências de dosagem variando de 1,97 a 5,08 unidades log para o efluente de lodo ativado e regressão baixa na ordem de -0,095 para efluente de uma segunda ETE, devida a ação bactericida do hipoclorito ser grande na primeira dosagem, o que levou ao decaimento de inativação ao passar do tempo.

Logo, o aumento da concentração de cloro no efluente e a variação de tempo não acarretou em melhores taxas de inativação como o esperado. Souza e Daniel (2005) obtiveram resultados semelhantes ao se estudar a variação da concentração de cloro em longos tempos de contato em efluentes com elevada concentração de matéria orgânica. Nesses casos, a instalação de filtros para a retenção do material particulado pode levar a um aumento na taxa de inativação dos microrganismos ali presentes, pois a cloração depende do grau de tratamento prévio a que se encontra o esgoto, ou seja, quanto mais processos no tratamento prévio do efluente maior será as taxas de eficiência na desinfecção via cloração (JORDÃO e PESSOA, 2015).

Outro aspecto importante para este tipo de desinfecção é no tocante a geração de subprodutos advindos do cloro. Pianowski e Janissek (2003), utilizando efluente proveniente de um Reator Anaeróbio de Leito Fluidizado (RALF) e um Filtro Biológico Anaeróbio (FA), encontraram valores acima do preconizado pela resolução Conama nº 20/94 para concentrações de 1 mg.L⁻¹ de trihalometanos (THMs) em dosagens de cloro maiores que 12 mg.L⁻¹ em tempos de contato de até 30 minutos. Ainda de acordo com o estudo, para dosagens de cloro a 4, 8 e 12 mg.L⁻¹ em um efluente com concentração de 60mg.L⁻¹ de nitrogênio amoniacal levaram a concentrações de 16,8, 48,8 e 97,1 mg.L⁻¹ de THMs. Elevadas dosagens de cloro podem levar ao aumento da formação destes compostos (SCHERER, 2004).

Para efluente provido do sistema de lodo ativados, os maiores valores encontrados por Oliveira e Sobrinho (2009) foram de 0,05 mg.L⁻¹ a dosagens de 5 mg.L⁻¹ de cloro, ficando a baixo do recomendado pela resolução Conama nº 20. A Tabela 10 expõe as taxas de eficiência da cloração face a cada concentração e tempos utilizados.

Tabela 10 - Eficiência do processo de desinfecção com hipoclorito de sódio.

| Dosagens (mg.L ⁻¹) | Eficiência (%) | | |
|-----------------------------------|----------------|--------|---------|
| | Tempos | | |
| | 40 min | 80 min | 120 min |
| 4 | 80,71 | 84,86 | 89,14 |
| 6 | 80,86 | 90,86 | 90,14 |
| 8 | 88,57 | 99,14 | 90,86 |
| 10 | 97,91 | 99,11 | 99,40 |
| 12 | 98,61 | 99,37 | 99,56 |

Fonte: A autora.

Baseado no exposto da Tabela 10 a melhor eficiência de inativação da desinfecção via hipoclorito de sódio encontra-se a dosagem de 12mg.L⁻¹ ao tempo de 120 minutos. Entretanto, atingir elevados níveis de inativação não significa necessariamente o enquadramento do efluente dentro do preconizado pela resolução para a sua reutilização agrícola, como foi o caso do estudo realizado por Da Silva e Paterniani (2009) a qual atingiu eficiência de remoção no âmbito de 82 a 85%, e que não foram capazes de suprir ao determinado pela resolução. Os autores supracitados atrelam a baixa inativação dos microrganismos ao aumento da matéria orgânica a ser degradada após a inserção do desinfetante devido à presença de algas no efluente e aos microrganismos que passam de biomassa ativa a matéria orgânica não estabilizada.

Ademais, foram submetidos a análise de variância (ANOVA) e comparados pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade os dados da Tabela 11.

Tabela 11 - Resultados do teste de cloração face a concentração por tempo.

| Tempo (min) | Dosagem de Cloro (mg/L) | | | | | |
|----------------|-------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | 0 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 |
| 40 | 7,00e+06 | 1,35e+06 | 1,34e+06 | 8,00e+05 | 1,46e+05 | 9,70e+04 |
| 80 | 7,00e+06 | 1,06e+06 | 6,40e+05 | 6,00e+04 | 6,20e+04 | 4,40e+04 |
| 120 | 7,00e+06 | 7,60e+05 | 6,90e+05 | 6,40e+05 | 4,20e+04 | 3,10e+04 |

Fonte: A autora.

Concentrações elevadas de bactérias acima de 10^4 UFC.mL⁻¹ podem ocasionar o entupimento do sistema de irrigação (BUCKS et al., 1979) como no estudo de Batista et al. (2011) ao analisar efluentes com elevadas concentrações de coliformes na ordem de 10^8 , 10^7 e 10^5 UFC.ml⁻¹, inferindo problemas na irrigação caso utiliza-se esgoto *in natura*. Ademais, submeteu-se os dados da Tabela 11 a Análise de Variância (ANOVA), verifica-se que valor de F é significativo ao nível de 5%, existe pelo menos uma média diferente das demais.

Tabela 12 - Análise de variância.

| Causas de variação | GL | SQ | QM | F | p-valor |
|--------------------|----|----------|----------|-----------|-------------------------|
| Dosagens | 5 | 1,08e+18 | 2,15e+17 | 4.724.139 | 1,55e-08 ⁽¹⁾ |
| Tempo | 2 | 3,35e+15 | 1,68e+15 | 36.842 | 0.06327 |
| Resíduo | 10 | 4,55e+15 | 4,55e+14 | | |

Fonte: A autora.

1) Significativo ao nível $\alpha < 0,05$

A Tabela 13 apresenta os resultados obtidos através do teste de Tukey para as concentrações de cloro utilizadas.

Tabela 13 - Resultados da cloração através do teste de Tukey.

| Dosagem | Concentração | Grupos * |
|---------|--------------|----------|
| 0 | 7,00E+06 | a |
| 4 | 1,06E+06 | b |
| 6 | 8,90E+05 | b |
| 8 | 5,00E+05 | bc |
| 10 | 8,33E+04 | c |
| 12 | 5,73E+04 | c |

Fonte: A autora.

* Médias seguidas pela mesma letra na mesma coluna, não apresentam diferenças significantes, ao nível de significância de 5%, pelo teste Tukey.

Através do teste de Tukey ao nível de significância de 5% foi possível observar que as dosagens de 4, 6, e 8 mg.L⁻¹ não apresentam diferença significativa entre suas médias. O mesmo acontece para as dosagens de 8, 10 e 12 mg.L⁻¹. Entretanto, de forma isolada, as médias que apresentaram diferenças significantes foram para as concentrações de 4 e 10 mg.L⁻¹; 4 e 12 mg.L⁻¹. E para as dosagens 6 e 10 mg.L⁻¹; e 6 e 12 mg.L⁻¹.

4.2 ENSAIO NO UV

Para os ensaios de desinfecção via radiação UV utilizou-se vazões de 100, 80, 50 e 20 ml/min para este estudo, e, posteriormente foi calculado por meio da equação 2 a dose de radiação desprendida em cada vazão expostas na Tabela 14.

Tabela 14 - Dose de radiação UV utilizada em cada vazão.

| Vazão (ml/min) | Dose (mWs/cm ²) |
|-------------------|--------------------------------|
| 0 | 0 |
| 20 | 4,57 |
| 50 | 1,83 |
| 80 | 1,14 |
| 100 | 0,91 |

Fonte: A autora.

A partir da Tabela 14 é possível observar uma diminuição da dose da radiação UV com o aumento da vazão. Infere-se que o aumento da vazão ocasiona a elevação da lâmina líquida a ser desinfetada pela lâmpada o que afeta diretamente a eficiência de inativação do processo. Nos estudos de Dias (2001) e Tinôco (2011) as autoras observaram que maiores espessuras da lâmina líquida acarretavam a menores índices de eficiência na remoção de agentes patógenos presentes no efluente e a maiores custos de operação.

Em relação a potência aplicada são encontrados na literatura variações entre 1,7 mWs/cm² a 317 mWs/cm² (COLETTI, 2003; SOUZA et. al., 2012; TINÔCO, 2011; DIAS, 2001; BILOTTA e DANIEL, 2012) tal amplitude varia de acordo com o efluente estudado e o tipo de microrganismo a ser inativado. O comportamento da Tabela 14 pode ser relacionada com a Figura 09 que retrata a concentração das unidades formadoras de colônias dos coliformes totais face a vazão adotada.

O efluente estudado possuiu um pré-tratamento com lodos ativados que, como de acordo com Von Sperling (2005) o processo de lodos ativados é responsável pela remoção de 60 a 90% de coliformes, ocasionando a um aumento na eficiência de inativação como exposto pela Figura 09 mesmo em baixa potência aplicada via radiação UV.

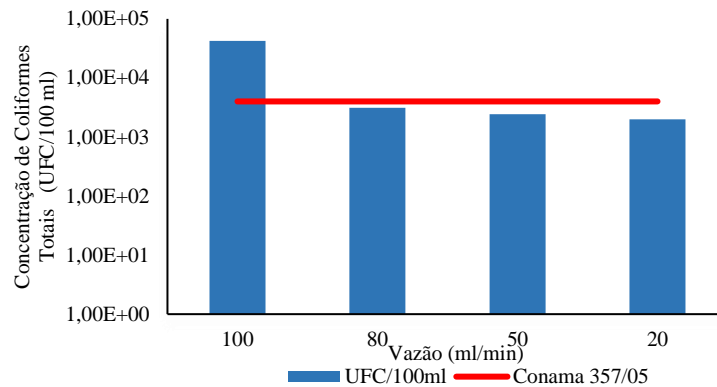


Figura 08 - Relação de coliformes inativados em função da vazão utilizada face a Resolução Conama 357/05.

Fonte: A autora.

Observa-se no gráfico da Figura 08 uma tendência regressiva nas UFC de coliformes à medida que se diminui a vazão da passagem do efluente pela lâmpada, e a linha vermelha indica o padrão preconizado pela Resolução Conama 357/05, sendo possível observar que a partir da vazão de 80 ml/min já foi possível atingir o parâmetro para a irrigação restrita em culturas arbóreas e cerealíferas, desde que não consumidas *in natura*, como irrigação de mudas arbóreas, pastagens, culturas de trigo, aveia entre outras. Pesquisas como de Augusto et. al. (2003) e Augusto et. al. (2007) apresentaram bom desenvolvimento de mudas de *Eucalyptus grandis*, capixingui e copaíba mesmo com efluentes com a presença de coliformes. A seguir a Figura 09 expõe a cinética de desinfecção em função do logaritmo da fração sobrevivente ao UV.

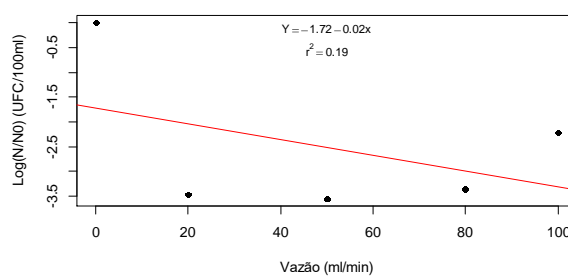


Figura 09 – Cinética de remoção da concentração de coliformes totais frente a variação da vazão utilizada.

Fonte: A autora.

É possível observar alguns pontos dispersos no gráfico da Figura 11, entretanto, a cinética de inativação para o processo de desinfecção via radiação UV apresentou correlação bem fraca, correspondendo a 19% da explicação da taxa de inativação para as vazões adotadas. A seguir a Tabela 15 apresenta os valores de eficiência atingidos pelo processo de radiação UV.

Tabela 15 - Eficiência do processo de desinfecção com radiação UV.

| Vazão (ml/min) | Eficiência | |
|----------------|------------|--|
| | (%) | |
| 100 | 99,395 | |
| 80 | 99,955 | |
| 50 | 99,965 | |
| 20 | 99,971 | |

Fonte: A autora.

Como mostrado na Figura 09 e Tabela 15 as melhores eficiências alcançadas foram em menores vazões do efluente. A concentração de matéria orgânica e sólidos suspensos que interferiram no experimento de cloração anterior, baseado nos resultados abordados, aparentemente não afetou o desempenho da desinfecção por radiação UV. Comportamento similar ao encontrado por Dias (2001) ao usar a radiação UV para a desinfecção em dois efluentes originados de tratamento distintos com elevadas concentrações de matéria orgânica e de SST. De acordo com a autora mencionada, tais fatores não intervíram na desinfecção vistos as eficiências superiores de 99,99% atingidas.

Entretanto, estudos como o de Pohlmann (2010) e Oliveira e Sobrinho (2009) evidenciam que a falta de limpeza periódica das lâmpadas prejudica o índice de eficiência do método, o que demonstra que sistemas deste tipo exigem periodicidade de manutenção. Mesmo com as intempéries sofridas com ambos os estudos mencionados, os autores ainda conseguiram alcançar taxas de eficiências de remoção na mesma ordem de 99,9% que os encontrados neste trabalho.

Não foi possível analisar os resultados obtidos para o teste de Tukey devido à ausência de algumas variáveis necessárias para o desempenho do teste.

5 CONCLUSÃO

Sob a ótica da remoção de coliformes e posterior enquadramento a legislação vigente, conclui-se que a desinfecção pela radiação UV se sobressaiu ao método de desinfecção por cloro, nas condições estudadas. O efluente desinfetado por UV atingiu os parâmetros preconizados pela resolução Conama 357/05, destinados a irrigação restrita de plantas frutíferas e hortaliças.

Para a desinfecção de efluentes, a cloração se mostrou em desvantagem face a utilização da radiação UV devido ao seu poder de formação de subprodutos como analisados anteriormente e sua passível reação com a matéria orgânica e compostos nitrogenados, levando assim a uma baixa eficiência do processo. A utilização da desinfecção via radiação UV mostrou-se eficaz frente a concentrações baixas de matéria orgânica e presença de compostos inorgânicos, como o grupo nitrogênio.

Contudo, ao analisar os resultados obtidos com o teste estatístico de Tukey foi possível observar que as concentrações de 4, 6 e 8 mg.L⁻¹ não diferem estatisticamente entre si, bem como as concentrações de 8, 10 e 12 mg.L⁻¹. A cloração difere estatisticamente entre si para as concentrações de 4 e 10 mg.L⁻¹, 4 e 12 mg.L⁻¹; 6 e 10 mg.L⁻¹, 6 e 12 mg.L⁻¹.

5.1 RECOMENDAÇÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Como indicação para trabalhos futuros, recomenda-se estudos a realização de um tratamento preliminar neste tipo de efluente visando-se a redução do material particulado e concentrações de amônia para o êxito do estudo.

Ademais, o teste estatístico de Monte Carlo também pode ser utilizado para inferir se há uma tendência de declínio ou estabilização na inativação de microrganismos para o ensaio de cloração.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- _____. **Resolução Conjunta: Reuso direto não potável de água para fins urbanos, proveniente de Estações de Tratamento de Esgoto Sanitário. D. O. E. 29 de Junho de 2017.** SES, SMA, SSRH. São Paulo, SP. Diário Oficial do Estado, 2017.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 9648: estudo de concepção de sistemas de esgotamento sanitário.** Rio de Janeiro 1986.
- AISSE, M. M. *et al.* **Desinfecção de efluentes sanitários, remoção de organismos patogênicos e substâncias nocivas. Aplicações para fins produtivos como agricultura, aquicultura e hidroponia.** In: Cloração e Decloração. ABES Rio de Janeiro. PROSAB 3, p. 113-168. 2003.
- AMARAL, G. S. C. *et al.* Macrologística: Caracterização das Bacia Logísticas da Agropecuária Brasileira. **Anais do XIX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO.** Santos. INPE, 2019.
- AMARO, G. B. **Árvore do Conhecimento: Pimenta. Adubos e Fertilizantes.** Agência Embrapa de Informação Tecnológica – AGEITEC. [s.d.]. Disponível em <<https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/pimenta/arvore/CONT000gn08zc7m02wx5ok0liq1mqw825isw.html#>>. Acesso em: 18 de out. de 2019.
- ANA. Agência Nacional de Águas. **Atlas Esgotos: Despoluição de Bacias Hidrográficas.** Agência Nacional de Águas, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Brasília, Distrito Federal. 2017. Disponível em: <<http://atlasesgotos.ana.gov.br/>>. Acesso em: 15 de mar. de 2019.
- ANA. Agência Nacional de Águas. **Atlas Irrigação: Uso da Água na Agricultura Irrigada.** Brasília, 2017.
- ANA. Agência Nacional de Águas. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2018: informe anual.** Brasília, 2018.
- ANA. Agência Nacional de Águas. **Elaboração de Proposta do Plano de Ações para Instituir uma Política de Reuso de Efluente Sanitário Tratado no Brasil, PRODUTO VII – RESUMO EXECUTIVO.** CH2M. São Paulo. 2018.
- ANA. Agência Nacional de Águas. **Levantamento da agricultura irrigada por pivôs centrais no Brasil.** Embrapa Milho e Sorgo. 2. ed. Brasília, 2019.
- ANDA. Associação Nacional para Difusão de Adubos. Pesquisa Setorial. Disponível em <<http://anda.org.br/estatisticas/>>. Acesso em: 18 de out. de 2019.
- ASSIRATI, D. M. **Desinfecção de efluentes de ETE com ozônio para uso agrícola.** Campinas, 2005. 152p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil, Área de Concentração de Saneamento e Meio Ambiente) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil e Arquitetura e Urbanismo. 2005.
- AUGUSTO, D. C. C. *et al.* Utilização de esgotos domésticos tratados através de um sistema biológico na produção de mudas de *Croton floribundus* Spreng.(capixingui) e *Copaifera langsdorffii* Desf.(copaíba). **Revista Árvore**, p. 335-342, 2003.
- AUGUSTO, D. C. C. *et al.* Utilização de águas residuárias provenientes do tratamento biológico de esgotos domésticos na produção de mudas de *Eucalyptus grandis* Hill. Ex. Maiden. **Revista Árvore**, v. 31, n. 4, p. 745-751, 2007.
- BALDOTTO, M. A.; BALDOTTO, L. E. B. Ácidos húmicos. *Revista Ceres*, v. 61. n. 7. p.856-881. Viçosa, MG. 2015.

- BERTONCINI, E. I. Tratamento de efluentes e reuso da água no meio agrícola. **Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária**, v. 1, n. 1, p. 152-169, 2008.
- BOLTON, J. R. **Light Compendium, Ultraviolet Principles and Applications**. EPA – Newsletter, n. 66. p. 9-37. 1999.
- BRASIL. **Resolução CONAMA nº 357**. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente. Brasília, 2005.
- BRASIL. **Resolução CONAMA nº 430**. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente. Brasília, 2011.
- CAMARGO, J. G. **Aplicação do dióxido de cloro na desinfecção de esgotos domésticos tratados pelo sistema de lodos ativados**. 2004. 79 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2004.
- CNRH. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. **Resolução nº 54, de 28 de novembro de 2005**. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reuso direto não potável de água e dá outras providências. Ministério do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente, 2005.
- COELHO, C. A. S.; CARDOSO, D. H. F.; FIRPO, M. A. F. A seca de 2013 a 2015 na região sudeste do Brasil. **Revista Climanalise**, p. 55-66, 2016.
- COSTA, D. M. A.; BARROS JÚNIOR, A. C. Avaliação da necessidade do reuso de águas residuais. **Holos**, [S.l.], v. 2, p. 81-101, dez. 2007. ISSN 1807-1600.
- COLETTI, F. J. **Inativação de microorganismos indicadores presentes em efluentes secundários de esgoto sanitário com radiação ultravioleta**. 239 p Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos. 2003.
- DA SILVA, M. J. M.; PATERNIANI, J. E. S. Comparação entre cloração, radiação ultravioleta e radiação solar (sodis), com fluxo contínuo na desinfecção de efluentes domésticos. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 3. Campinas, pg. 117-126. 2009.
- DA SILVA, S. S. **Aplicação de radiação UV para desinfecção de efluente da associação de reator UASB e Biofiltro Aerado Submerso**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento). São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 152 p. 2007.
- DANIEL, L. A. Métodos Alternativos de Desinfecção da Água. In: Processos de Desinfecção e Desinfetantes Alternativos na Produção de Água Potável. 1. ed. PROSAB. São Carlos, SP. 2001.
- DANIEL, L. A.; CAMPOS, J. R. Fundamentos e aspectos de projeto de sistemas de desinfecção de esgoto sanitário com radiação ultravioleta. **Revista DAE**, v. 52, n. 163, p. 5-011, 1992.
- DANTAS, I. L. *et. al.* Viabilidade do uso da água residuária tratada na irrigação da cultura do rabanete (*Raphanus sativa* L.). **Revista Ambiente & Água**, v. 9, n. 1, jan./mar. 2014.
- DE LUCCA, L. Controle de qualidade do hipoclorito de sódio no processo de produção. Florianópolis. 2006. 40p. Relatório Final (Bacharel em Química) – Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Química – UFSC. 2006.
- DE SOUSA, E. *et al.* Panorama situacional do serviço de esgotamento sanitário e sua relação com doenças de veiculação hídrica na região metropolitana de Belém-Pará. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 7, n. 3, p. 487-503, 2018.

DE SOUZA, H. A. *et al.* Doses de nitrogênio e fósforo na formação de mudas de tamarindo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 23, n. 1, p. 59-64. 2007.

DIAS, V. D. **Radiação ultravioleta e ozônio aplicados como métodos alternativos de desinfecção de efluentes secundários de esgoto sanitário.** São Carlos, 2001. 150p. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo – USP. 2001.

DOMINATO, D. T. **Tratamento de Efluente Anaeróbio: Condicionamento em Filtro de Areia Visando Lançamento e Reuso.** 278p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Universidade Estadual de Campinas, São Paulo. 2011.

DONAIRE, P. P. R. **Desinfecção de águas utilizando radiação ultravioleta e fotocatalise heterogênea.** 130p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil na área de concentração em Saneamento e Ambiente) – Curso de Pós-Graduação e Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas UNICAMP, Campinas, SP. 2001.

FAO. Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura. **Global Map of Irrigation Areas version 5.** Roma (Itália), 2013. Disponível em: <<http://www.fao.org/nr/water/aquastat/irrigationmap/>>. Acesso em: 19 set. 2019

FREITAS, R. M. O. *et. al.* Fertilizante fosfatado no desenvolvimento inicial de mudas de pinheira. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 29, n. 2, p. 319-327, 2013.

FUNASA. Fundação Nacional de Saúde. **Manual prático de análise de água.** 4a. ed. Brasília, DF, 2013. 150p.

GONÇALVES, P. C.; MARQUES, J. M. **Desinfecção de efluentes sanitários para reuso agrícola.** 100p. Trabalho Conclusão de Curso (Engenharia Química) – Departamento de Engenharia Química e de Petróleo, Universidade Federal Fluminense, Niterói, Rio de Janeiro. 2015.

GONÇALVES, R. F. **Desinfecção de efluentes sanitários, remoção de organismos patogênicos e substâncias nocivas. Aplicações para fins produtivos como agricultura, aquicultura e hidroponia.** In: Desinfecção de efluentes sanitários. ABES. Rio de Janeiro. PROSAB 3. 2003.

GREGHI, S. Q. **Avaliação da eficiência de métodos rápidos usados para detecção de coliformes totais e coliformes fecais em amostras de água, em comparação com a técnica de fermentação em tubos múltiplos.** 104p. Dissertação (Mestrado em Alimentos e Nutrição - Área de Ciências dos Alimentos) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Araraquara, SP. 2005.

GUEDES, R.; MACEDO, M. J.; SOUSA, F. Análise espacial de eventos de secas com base no índice padronizado de precipitação e análise de agrupamento. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais (Online)**, n. 23, p. 55-65, 30 mar. 2012.

HASSEN, A. *et al.* **Inactivation of indicator bacteria in wastewater by chlorine a kinetics study.** Tunisia: Elsevier Science, 1998. p. 85-93

HESPAHOL, I. Potencial de reuso de água no Brasil: agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 7, n. 4, p. 75-95, 2002.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção da Pecuária Municipal 2018.** Rio de Janeiro, v. 46, p.1-8, 2018.

ITB. Instituto Trata Brasil. Disponível em: <<http://www.tratabrasil.org.br/saneamento/principais-estatisticas/no-brasil/saude>>. Acesso em: 15 de mar. de 2019.

JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos**. 4a. ed. Rio de Janeiro. 2005.

JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos**. 6a. ed. Rio de Janeiro. 2011.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Projeções do Agronegócio. Brasil 2018/19 a 2028/29 Projeções a Longo Prazo. Brasília, Distrito Federal. 2019. 10ª edição. Disponível em <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/politica-agricola/todas-publicacoes-de-politica-agricola/projecoes-do-agronegocio/projecoes-do-agronegocio-2018-2019-2028-2029/view>>. Acesso em: 18 de set. 2019.

MARENGO, J. A.; ALVES, L. M. Crise hídrica em São Paulo em 2014: seca e desmatamento. **Geosp – Espaço e Tempo (Online)**, v. 19, n. 3, p. 485-494, mês. 2016. ISSN 2179-0892.

MARQUELLI, W. A.; DA SILVA, H. R. Aspectos sanitários da água para fins de irrigação. **Embrapa Hortaliças-Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**, 1998.

MARTINS, D. E. A., JÚNIOR OLIVEIRA, R. P., OLIVEIRA, M. A. S.; **Produção eletroquímica e cloro ativo, uma alternativa viável para processos de desinfecção**. 94p. Anais do 12º Encontro de Iniciação Científica e Pós-Graduação do ITA. São José dos Campos-SP, 2006.

MEDEIROS, R. C. **Comparação da resistência de protozoários patogênicos - *Giardia spp.* e *Cryptosporidium spp.* – e de microrganismos indicadores à desinfecção sequencial Cloro-Radiação Ultravioleta e Ozônio-Radiação Ultravioleta**. 210p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2010.

MEDEIROS, R. C.; SARTORI, L.; DANIEL, L. A. Desinfecção sequencial: estudo de caso em ETE em escala plena. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.9, n.3, p.149-160, 2018. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2018.003.0013>.

MELO, W. J.; MARQUES, M. O. Potencial do lodo de esgoto como fonte de nutrientes para as plantas. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. (Ed.). **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. p. 109-141

METCALF & EDDY. **Wastewater Engineering: Treatment and Reuse**. 4. ed. Boston: Mc Graw Hill, 2003.

METCALF L.; EDDY; H.; TCHOBANOGLIOUS, G.; BURTON, F. L. **Wastewater engineering: treatment, disposal, and reuse**. 3rd.ed. New York: McGraw-Hill, 1991. 1334p.

METCALF, L.; EDDY, H. P. **Tratamento de efluentes e recuperação de recursos**. 5ª ed. McGraw Hill Brasil, 2015.

METCALF; EDDY. **Tratamiento y depuración de las aguas residuales**. New York: McGraw-Hill, 1985.

MONTE, H.; ALBUQUERQUE, A. **Reutilização de Águas Residuais**. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa – Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos, 1a. ed. 2010.

MORUZZI, R. B. Reuso de água no contexto da gestão de recursos hídricos: impacto, tecnologias e desafios. **OLAM - Ciência & Tecnologia**, Rio Claro, SP. Ano VIII, Vol. 8, N.3, P. 271. 2008.

MUFFAREG, M. R. **Análise e discussão dos conceitos e legislação sobre reuso de águas residuárias**. 72p. Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Saúde Pública) – Escola Nacional de Saúde Pública, Rio de Janeiro. 2003.

MURRAY, A. RAY, I.; “*Wastewater for agriculture: A reuse-oriented planning model and its application in peri-urban China*”. Article from: Water Research, Energy and Resources Group, University of California, 2010.

NUVOLARI, A. **Esgoto Sanitário: coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola**. 1º Edição. São Paulo. Editora Edgard Blücher. 2003.

OLIVEIRA, E. C. M. **Desinfecção de efluentes sanitários tratados através da radiação ultravioleta**. 97 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2003.

OLIVEIRA, A. F. G. Testes estatísticos para comparação de médias. **Revista Eletrônica Nutritime**, v. 5, n. 6, p. 777-788, 2008.

OLIVEIRA, F. L; SOBRINHO, P. A. Estudo da desinfecção com cloro gás e radiação UV| de efluentes nitrificados e não nitrificados de sistemas de lodos ativados. produção de trihalometanos. **Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: investigación, desarrollo y práctica**, v. 1, n. 2, 2009.

OMS. *Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture*. Genebra, 1989.

ONU. Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura. **Global Map of Irrigation Areas version 5**. Roma (Itália), 2013. Disponível em <<http://www.fao.org/nr/water/aquastat/irrigationmap/>>. Acesso em: 16 set. 2017.

ONU. Organização das Nações Unidas. **17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. Disponível em <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000367276_por>. Acesso em 11 de jul. de 2019.

ONU. Organização das Nações Unidas. **Relatório mundial das Nações Unidas sobre desenvolvimento dos recursos hídricos 2019: não deixar ninguém para trás, fatos e dados**. Disponível em <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000367276_por>. Acesso em 11 de jul. de 2019

OSÓRIO, R. C. F. **Estudo do potencial reuso industrial de água não potável a partir de efluentes domésticos tratados**. 141f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Exatas, Programa de Pós-graduação em Meio Ambiente Urbano e Industrial, Curitiba, 2013.

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

POHLMANN, M. **Tratamento de esgotos sanitários visando reuso**. 102f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil na área de concentração em Saneamento e Ambiente). Universidade Estadual de Campinas, Faculdade Estadual de Campinas - UNICAMP, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Campinas. São Paulo, 2010.

REBOUÇAS, A. C. Água no Brasil: abundância, desperdício e escassez. **Bahia análise & dados**, v. 13, p. 341-345, 2003.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; V. ALVAREZ, V. H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais - 5ª Aproximação. Viçosa, MG, 1999. 359p.

RIBEIRO, L. F. *et al.* Eficiência do dióxido de cloro na desinfecção de efluentes domésticos tratados por lagoas de estabilização. In: **Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, 21ª Feira Internacional de Tecnologias de Saneamento Ambiental, 4. ABES, 2001. p. 1-11.

ROCHA, J. C.; ROSA, A. H. **Substâncias húmicas aquáticas: Interação com espécies metálicas**. Editora UNESP. São Paulo. 2003.

SANTOS, C. M. **Reuso de efluente doméstico tratado, no cultivo hidropônico de capim buffel no semiárido baiano**. Salvador/BA. 83 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana) – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2012.

SILVA, M. N. *et al.* A seca no Maranhão no período de 2010 a 2016 e seus impactos. **Parcerias Estratégicas**, v. 22, n. 44, p. 119-138, 2017.

SILVEIRA, I. C. T. **Cloro e ozônio aplicados à desinfecção de efluente hospitalar tratado em contadores biológicos rotatórios, com avaliação de efeitos tóxicos em *Daphnia similis***. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Porto Alegre, SC. 173p. 2004.

SOUZA, J. B.; DANIEL, L. A. Comparação entre hipoclorito de sódio e ácido peracético na inativação de *E. coli*, colifagos e *C. perfringens* em água com elevada concentração de matéria orgânica. Artigo Técnico. Engenharia Ambiental e Sanitária. Vol.10 - Nº 2 - abr-jun, 111-117. 2005.

SOUZA, G. S. M. B. **Desinfecção de efluente sanitário por radiação UV e gama: efeitos na inativação de ovos de *Ascaris spp.*** Tese de Doutorado (Parasitologia) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2011.

SOUZA, J. B. *et al.* **Avaliação do emprego da radiação ultravioleta na desinfecção de esgoto sanitário**. Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas, Londrina, v. 33, n. 2, p. 117-126, jul./dez. 2012.

TEIXEIRA, C. F. A. *et al.* Intensidade da seca utilizando índices de precipitação. **Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science** Paulo, São Carlos, 2011. v. 8, n. 3, p. 203-213, 2013.

TINÔCO, J. D. **Desinfecção por radiação ultravioleta: estudo de desempenho do processo e avaliação econômica**. 2011. 222 f. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São

TONON, D. **Desinfecção de efluentes sanitários por cloração visando o uso na agricultura**. 248p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil na Área de Concentração de Saneamento e Ambiente). Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Universidade Estadual de Campinas. Departamento de Saneamento e Ambiente. São Paulo. 2007.

VIEIRA, S.; HOFFMANN, R. **Estatística experimental**. São Paulo: Atlas, 1989. 175p.

VON SPERLING, M. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos**. 3a. ed. UFMG. 2005.

WEST, L. G. M. **Uso de efluentes domésticos tratados na cultura do girassol (*Helianthus annuus L.*)**. 2018. 115 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil e Ambiental)

– Departamento de Tecnologia, Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, Bahia.

WHO - World Health Organization. **Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater.** Policy and regulatory aspects. WHO Library Cataloguing-in-Publication Data, v.1, 2006.