

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CENTRO-OESTE - UNICENTRO
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E AMBIENTAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM ENGENHARIA SANITÁRIA
E AMBIENTAL

THAÍS KOVALSKI

INATIVAÇÃO DE MICRORGANISMOS INDICADORES POR SISTEMAS
COMBINADOS DE DESINFECÇÃO.

IRATI
2017

THAÍS KOVALSKI

INATIVAÇÃO DE MICRORGANISMOS INDICADORES POR SISTEMAS
COMBINADOS DE DESINFECÇÃO.

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção de grau de Mestre em Engenharia Sanitária e Ambiental, curso de Pós Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, área de concentração Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos, da UNICENTRO.

Orientadora: Prof.^a Dra. Jeanette Beber de Souza

IRATI
2017

Catálogo na Fonte
Biblioteca da UNICENTRO

KOVALSKI, Thais.

K88i Inativação de microrganismos indicadores por sistemas combinados de
desinfecção / Thais Kovalski. – Irati, PR : [s.n], 2017.
83f.

Orientador: Prof^a. Dr^a. Jeanette Beber de Souza
Dissertação (mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Sanitária e Ambiental. Área de concentração: Saneamento Ambiental e
Recursos Hídricos. Universidade Estadual de Ponta Grossa. Universidade
Estadual do Centro-Oeste, PR.

1. Engenharia Ambiental – dissertação. 2. Processos oxidativos. 3. Ácido
peracético. 4. Peróxido de hidrogênio. 5. Radiação UV. 6. Sinergismo. I. Souza,
Jeanette Beber de. II. UEPG. III. UNICENTRO. IV. Título.

CDD 620.85

TERMO DE APROVAÇÃO

Thaís Kovalski

“Inativação de microrganismos indicadores por sistemas combinados de desinfecção”


Dissertação aprovada em 25/08/2017, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre, no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, área de concentração em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos, da Universidade Estadual do Centro-Oeste, pela seguinte Banca Examinadora:



Dra. Jeanette Beber de Souza
Universidade Estadual do Centro-Oeste
Orientadora e Presidente da Banca Examinadora



Dra. Grasielle Soares Cavallini
Universidade Federal de Tocantins



Dra. Kely Viviane de Souza
Universidade Estadual do Centro-Oeste

Irati-PR, 25 de agosto de 2017.

Aos meus pais Jorge e Helena, e minha avó Martha (*in memoriam*) pelo incentivo na busca pelo conhecimento e aperfeiçoamento profissional. O meu sincero reconhecimento e gratidão.

AGRADECIMENTOS

À Deus, a Kwan Yin, a Metatron, a Arcanjo Miguel e meu Anjo da Guarda por me fortalecerem nos momentos necessários e trazerem sabedoria na condução do meu dia-a-dia, de forma a reunir todos os elementos que foram precisos nesta etapa da minha vida. Minha gratidão eterna!

Aos meus pais, minha irmã e meu sobrinho que, de alguma ou várias formas, me ajudaram, agradeço pelo amor e incentivo constantes.

À minha orientadora Jeanette Beber de Souza, pela oportunidade, confiança e compreensão na condução deste trabalho. Agradeço toda ajuda e conhecimentos partilhados, levarei teus ensinamentos para toda a minha vida acadêmica.

Aos professores Carlos Magno de Souza Vidal e Kely Viviane de Souza pelas considerações e sugestões muito bem vindas decorrente na participação da banca de qualificação deste trabalho. Agradeço ainda, todo o carinho, acolhimento e prontidão de ambos em sanar as dúvidas que surgiram no decorrer da pesquisa, contribuindo assim para a execução deste trabalho.

Aos Professores Artur Lourival da Fonseca Machado e Jorim Sousa das Virgens Filho pela contribuição, tempo e dedicação nos ensinamentos estatísticos.

A todos os professores que passaram pela minha vida escolar e acadêmica. Muito obrigada pelas contribuições de todos que auxiliaram na busca e na conquista desta etapa.

As técnicas de laboratório Ana Maria Charney e Odíméia Teixeira Mendes pela ajuda, aprendizados, amizade e acompanhamento durante algumas análises.

Ao meu amigo Carlos Raphael Pedroso pela parceria no laboratório que começou na graduação, IC e que espero que se estenda pela vida. Agradeço por toda ajuda nos experimentos, nas coletas, pelas conversas de incentivo e amizade. Conte comigo sempre!

Aos técnicos Antônio Marcos e Margarete da Companhia de Saneamento, ETE Riozinho, agradeço pela disponibilidade, atenção e acompanhamento durante as coletas.

A todos os colegas de mestrado, pessoas incríveis que conheci, e que tornaram as aulas mais leves e divertidas. Em especial agradeço a Andreia, Henrique e Vanessa pela amizade conquistada, companheirismo, ajuda e cumplicidade.

Aos funcionários da UNICENTRO e do PPGESA por toda colaboração, em especial a Joelma, que demonstrou amizade, carinho e confiança em todos os momentos, me fazendo acreditar que era possível, mesmo diante das dificuldades. Gratidão pelo incentivo!

Aos meus amigos do “LAB”, Ana, Andressa, Deyse, Henrique, Lis e Raphael pela ajuda e momentos de descontração que tornaram essa etapa muito mais leve. Agradeço pela amizade de todos e levarei vocês em meu coração.

Aos meus queridos amigos Amanda, Caroline, Fabiane, Fernanda, Francieli, Isabela, João e Ludmilla (minha fono preferida) e Maxy, amigos que a Engenharia Ambiental me presenteou, agradeço por toda amizade, incentivo e carinho de todos sempre, estão sempre presentes em minhas lembranças!

A todos do Grupo Cáritas, meu imenso carinho pelos conselhos, suporte, amizade, troca de experiências e enfrentamento necessários nesta jornada.

A ALLOXY Especialidades Químicas Ltda, por fornecer os desinfetantes utilizados na pesquisa. Em especial ao Victor pela sua atenção e suporte técnico.

A todos que direta ou indiretamente me auxiliaram e torceram por mim para a conclusão deste trabalho.

A Universidade Estadual do Centro Oeste – UNICENTRO pela oportunidade de aperfeiçoamento técnico.

A CAPES, pela concessão da bolsa de mestrado.

“Jamais considere seus estudos como uma obrigação, mas como uma oportunidade invejável para aprender a conhecer a influência libertadora da beleza do reino do espírito, para seu próprio prazer pessoal e para proveito da comunidade à qual seu futuro trabalho pertencer.”

Albert Einstein

RESUMO

Neste estudo foi avaliada a eficiência dos métodos individuais de desinfecção empregando ácido peracético (APA), peróxido de hidrogênio (H₂O₂) e radiação UV e os métodos de desinfecção combinados APA/UV e H₂O₂/UV para efluente final de Estação de Tratamento de Esgoto municipal. Avaliou-se o desempenho dos desinfetantes empregados em função da eficiência das inativações dos microrganismos indicadores, *Escherichia coli*, coliformes totais, *Clostridium perfringens* e colifagos. Para as condições experimentais adotadas, as concentrações de APA e H₂O₂ foram de 2,0 e 3,0 mg/L e tempos de contato de 10 e 20 minutos, e doses médias de exposição variando de 30,62 a 206,65 mWs.cm² para radiação UV. A desinfecção APA/UV e H₂O₂/UV consistiu na combinação dos tempos, concentrações e doses de desinfetantes adotados nos métodos individuais. Os resultados obtidos nos ensaios de desinfecção com ácido peracético e peróxido de hidrogênio não promoveram inativações significativas para nenhum dos microrganismos indicadores, nas condições experimentais empregadas. A radiação UV mostrou-se mais efetiva na redução de todos os microrganismos indicadores, apresentando resultados superiores comparados aos demais desinfetantes. Os processos de desinfecção APA/UV e H₂O₂/UV apresentaram inativações próximas às obtidas pelo método de radiação UV, alcançando resultados de inativações superiores para todos os microrganismos indicadores, estes resultados ocorreram de forma isolada para as condições experimentais adotadas. *Clostridium perfringens* foi o microrganismo que apresentou maior resistência à inativação para todos os desinfetantes utilizados. A ocorrência de sinergismo foi observada para *Escherichia coli*, *Clostridium perfringens* e colifagos, apenas nas concentrações e tempos de contatos superiores. Houve um aumento significativo de 1 log de inativação para *Clostridium perfringens* quando comparado aos resultados obtidos pelos métodos individuais, quando utilizou-se o método combinado de desinfecção H₂O₂/UV.

Palavras-chave: processos oxidativos avançados, ácido peracético, peróxido de hidrogênio, radiação UV, sinergismo.

ABSTRACT

This study evaluated the efficiency of individual disinfection methods using peracetic acid (PAA), hydrogen peroxide (H₂O₂) and UV radiation and the combined disinfection methods of PAA/UV and H₂O₂/UV for final effluent of municipal wastewater treatment plant. It was evaluated the performance of the disinfectants used according to the inactivation efficiency of the indicator microorganisms, *E. coli*, total coliforms, *Clostridium perfringens* and coliphages. To the experimental conditions adopted, the concentrations of PAA and H₂O₂ were 2,0 and 3,0 mg/L and contact time of 10 and 20 minutes, with mean exposure doses ranging from 30,62 to 206,65 mWs.cm² for UV radiation. The PAA/UV and H₂O₂/UV disinfection consisted of a combination of the times, concentrations and doses of disinfectants adopted in individual methods. The results obtained in the disinfection tests with peracetic acid and hydrogen peroxide did not promoted significant inactivations for any of the indicator microorganisms, under the experimental conditions employed. The UV radiation showed to be more effective in the reduction of all the indicator microorganisms, showing superior results compared to the other disinfectants. The disinfection processes PAA/UV and H₂O₂/UV showed near inactivations to those obtained by UV radiation method, reaching higher inactivation results for all the indicator microorganisms, these results occurred in isolation for the experimental conditions adopted. *Clostridium perfringens* was the microorganism that showed higher resistance to inactivation for all disinfectants used. The occurrence of synergism was observed for *Escherichia coli*, *Clostridium perfringens* and coliphages, only in the concentrations and times of superior contacts. There was a significant increase of 1 log of inactivation for *C. perfringens* compared to the results obtained by individual methods, when combined H₂O₂/UV disinfection method was used.

Keywords: advanced oxidative processes, peracetic acid, hydrogen peroxide, UV radiation, synergism.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fluxograma do procedimento experimental.	29
Figura 2 – Reator UV de bancada (2-a) vista da área interna e (2-b) interruptores.	30
Figura 3 - Esquema ilustrativo do reator UV de bancada.....	31
Figura 4 - Vista da área interna do reator UV, com malha de pontos (esquerda-4a);Radiômetro e sensor acoplado (direita-4b).....	32
Figura 5 – Vista geral dos equipamentos para realização dos ensaios de desinfecção com APA.	34
Figura 6 – Identificação de <i>C. perfringens</i> : etapa presuntiva à esquerda (6-a) e etapa confirmativa à direita (6-b).....	41
Figura 7 – Representação dos colifagos pela formação de placas de lise (furos).	42
Figura 8 – Representação das colônias formadas de <i>E. coli</i> e CT.....	43
Figura 9 – Inativações médias dos microrganismos indicadores <i>E. coli</i> , CT, <i>C. perfringens</i> e colifagos, para os ensaios 1 e 2 de desinfecção com radiação UV e suas doses médias efetivas de radiação UV. Ensaio 1:* condição A: t (15 s) = 62,02 mWs/cm ² ; * condição B: t (30 s) = 123,99 mWs/cm ² e * condição C: t (50 s) = 206,65 mWs/cm ² . Ensaio 2: * condição A: t (15 s) = 30,62 mWs/cm ² ; * condição B: t (30 s) = 60,77 mWs/cm ² e * condição C: t (50 s) = 101,28 mWs/cm ²	47
Figura 10 – Percentual de decaimento para os microrganismos indicadores: <i>E. coli</i> , CT, <i>C. perfringens</i> e colifagos após os ensaios de desinfecção com radiação UV (Ensaio 1) utilizando tempos de exposição de 15, 30 e 50 segundos. Nos ensaios de UV as doses médias de radiação UV foram: t (15 s) = 62,02 mWs/cm ² ; t (30 s) = 123,99 mWs/cm ² e t (50 s) = 206,65 mWs/cm ²	49
Figura 11– Percentual de decaimento dos microrganismos indicadores: <i>E. coli</i> , CT, <i>C. perfringens</i> e colifagos após os ensaios de desinfecção com radiação UV (Ensaio 2) utilizando tempos de exposição de 15, 30 e 50 segundos. Nos ensaios de UV as doses médias de radiação UV foram: t (15 s) = 30,62 mWs/cm ² ; t (30 s) = 60,77 mWs/cm ² e t (50 s) = 101,28 mWs/cm ²	50
Figura 12 – Inativações médias dos microrganismos indicadores <i>E. coli</i> , CT, <i>C. perfringens</i> e colifagos, para as concentrações de APA de 2 e 3 mg/L e tempos de contato de 10 e 20 minutos.	52
Figura 13 – Percentual de decaimento dos microrganismos indicadores: <i>E. coli</i> , CT, <i>C. perfringens</i> e colifagos após a desinfecção com APA, para a concentração de 2 mg/L e tempos de contato de 10 e 20 minutos.....	54

Figura 14 – Percentual de decaimento dos microrganismos indicadores: <i>E. coli</i> , CT, <i>C. perfringens</i> e colifagos após a desinfecção com APA, para a concentração de 3 mg/L e tempos de contato de 10 e 20 minutos.....	55
Figura 15 – Inativações médias dos microrganismos indicadores <i>E. coli</i> , CT, <i>C. perfringens</i> e colifagos, para as concentrações de H ₂ O ₂ de 2 e 3 mg/L e tempos de contato de 10 e 20 minutos.	57
Figura 16 – Percentual de decaimento dos microrganismos indicadores: <i>E. coli</i> , CT, <i>C. perfringens</i> e colifagos após a desinfecção com H ₂ O ₂ , para a concentração de 2 mg/L e tempos de contato de 10 e 20 minutos.....	59
Figura 17 – Percentual de decaimento dos microrganismos indicadores: <i>E. coli</i> , CT, <i>C. perfringens</i> e colifagos após a desinfecção com H ₂ O ₂ , para a concentração de 3 mg/L e tempos de contato de 10 e 20 minutos.....	59
Figura 18 – Inativações médias dos microrganismos indicadores <i>E. coli</i> , CT, <i>C. perfringens</i> e colifagos, para as condições experimentais A, B e C, que correspondem as dosagens de APA de 2 e 3 mg/L, tempo de contato de 10 min e as doses médias de radiação UV equivalentes aos tempos de exposição. Condição 1A: 2 mg/L, t= 10 min + t (15 s) = 62,02 mWs/cm ² de UV; Condição 1B: 2 mg/L, t= 10 min + t (30 s) = 123,99 mWs/cm ² de UV; Condição 1C: 2 mg/L, t= 10 min + t (50 s) = 206,65 mWs/cm ² . Condição 2A: 3 mg/L, t= 10 min + t (15 s) = 62,02 mWs/cm ² de UV; Condição 2B: 3 mg/L, t= 10 min + t (30 s) = 123,99 mWs/cm ² de UV; Condição 2C: 3 mg/L, t= 10 min + t (50 s) = 206,65 mWs/cm ²	61
Figura 19 – Percentual de decaimento para os microrganismos indicadores: <i>E. coli</i> , CT, <i>C. perfringens</i> e colifagos após os ensaios de desinfecção com APA/UV (Experimento A) utilizando tempos de exposição de 15, 30 e 50 segundos. As doses médias de radiação UV foram: t (15 s) = 62,02 mWs/cm ² ; t (30 s) = 123,99 mWs/cm ² e t (50 s) = 206,65 mWs/cm ² . E a dosagem de APA utilizada foi de 2 mg/L no tempo de contato de 10 min.	63
Figura 20 – Percentual de decaimento para os microrganismos indicadores: <i>E. coli</i> , CT, <i>C. perfringens</i> e colifagos após os ensaios de desinfecção com APA/UV (Experimento B) utilizando tempos de exposição de 15, 30 e 50 segundos. As doses médias de radiação UV foram: t (15 s) = 62,02 mWs/cm ² ; t (30 s) = 123,99 mWs/cm ² e t (50 s) = 206,65 mWs/cm ² . E a dosagem de APA utilizada foi de 3 mg/L no tempo de contato de 10 min.	64
Figura 21 – Inativações médias dos microrganismos indicadores <i>E. coli</i> , CT, <i>C. perfringens</i> e colifagos, para as condições experimentais A, B e C, que correspondem as dosagens de H ₂ O ₂ de 2 e 3 mg/L, tempo de contato de 10 min e as doses médias de radiação UV equivalentes aos tempos de exposição. Condição 1A: 2 mg/L, t= 10 min + t (15 s) = 30,62 mWs/cm ² de UV; Condição 1B: 2 mg/L, t= 10 min + t (30 s) = 60,77 mWs/cm ² de UV; Condição 1C: 2 mg/L, t= 10 min + t (50 s) = 101,28 mWs/cm ² . Condição 2A: 3 mg/L, t= 10 min + t (15 s) = 30,62 mWs/cm ² de UV; Condição 2B: 3 mg/L, t= 10 min + t (30 s) = 60,77 mWs/cm ² de UV; Condição 2C: 3 mg/L, t= 10 min + t (50 s) = 101,28 mWs/cm ²	66
Figura 22 – Percentual de decaimento para os microrganismos indicadores: <i>E. coli</i> , CT, <i>C. perfringens</i> e colifagos após os ensaios de desinfecção com H ₂ O ₂ /UV (Experimento A) utilizando tempos de exposição de 15, 30 e 50 segundos. As doses médias de radiação UV	

foram: $t(15\text{ s}) = 30,62\text{ mWs/cm}^2$; $t(30\text{ s}) = 60,77\text{ mWs/cm}^2$ e $t(50\text{ s}) = 101,28\text{ mWs/cm}^2$. E a dosagem de H_2O_2 utilizada foi de 2 mg/L no tempo de contato de 10 min. 68

Figura 23 – Percentual de decaimento para os microrganismos indicadores: *E. coli*, CT, *C. perfringens* e colifagos após os ensaios de desinfecção com $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ (Experimento B) utilizando tempos de exposição de 15, 30 e 50 segundos. As doses médias de radiação UV foram: $t(15\text{ s}) = 30,62\text{ mWs/cm}^2$; $t(30\text{ s}) = 60,77\text{ mWs/cm}^2$ e $t(50\text{ s}) = 101,28\text{ mWs/cm}^2$. E a dosagem de H_2O_2 utilizada foi de 3 mg/L no tempo de contato de 10 min. 69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Doses de radiação UV, tempos de contato utilizados, exames microbiológicos e quantidade de amostras ensaiadas.	34
Tabela 2 - Características do APA utilizado para desinfecção.....	35
Tabela 3 - Concentrações de APA e tempos de contato utilizados, denominações correspondentes e a quantidade de amostras ensaiadas.....	36
Tabela 4 - Doses de radiação UV, concentrações de APA e tempos de contato utilizados, denominações correspondentes e a quantidade de amostras ensaiadas.	37
Tabela 5 - Concentrações de H ₂ O ₂ e tempos de contato utilizados, denominações correspondentes e a quantidade de amostras ensaiadas.....	37
Tabela 6 - Doses de radiação UV, concentrações de H ₂ O ₂ e tempos de contato utilizados, denominações correspondentes e a quantidade de amostras ensaiadas.	39
Tabela 7 - Parâmetros, metodologias analíticas e referências utilizadas.....	39
Tabela 8 - Caracterização físico-química e microbiológica do efluente de saída do filtro anaeróbio.	45
Tabela 9 - Consumo médio de APA para as concentrações de 2 e 3 mg/L, no método de desinfecção individual com APA.	70
Tabela 10 - Consumo médio de APA para as concentrações de 2 e 3 mg/L, no método de desinfecção combinado (APA/UV).....	70
Tabela 11 - Verificação de sinergismo utilizando o método de desinfecção combinado APA/UV.	72
Tabela 12 - Verificação de sinergismo utilizando o método de desinfecção combinado H ₂ O ₂ /UV.....	72

LISTA DE SIGLAS

APA	Ácido Peracético
APHA	American Public Health Association
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CT	Coliformes Totais
DENAM	Departamento de Engenharia Ambiental
DNA	Ácido desoxirribonucléico
DQO	Demanda Química de Oxigênio
DRCM	Meio Diferencial enriquecido para clostrídios
EPA	Environmental Protection Agency
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
LL	Lâmina líquida
NMP	Número Mais Provável
pH	Potencial hidrogeniônico
POAs	Processos Oxidativos Avançados
RALF	Reator Anaeróbico de Leito Fluidizado
RNA	Ácido ribonucléico
ST	Sólidos Totais
SST	Sólidos Suspensos Totais
THMs	Trihalometanos
TSA	Tryptic Soy Agar
TSB	Tryptic Soy Broth
uC	Unidade de cor
UFC	Unidade Formadora de Colônia
UFP	Unidade Formadora de Placa
USEPA	United States Environmental Protection Agency
uT	Unidade de turbidez
UV	Ultravioleta
WHO	World Health Organization

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
2	OBJETIVOS	20
2.1	Objetivo Geral	20
2.2	Objetivos Específicos	20
3	REVISÃO DE LITERATURA	21
3.1	Desinfecção.....	21
3.1.1	Grupo coliforme	22
3.1.2	<i>C. perfringens</i>	23
3.1.3	Colifagos	23
3.2	Processos de desinfecção: Métodos alternativos ao cloro	24
3.2.1	Desinfecção com radiação ultravioleta	25
3.2.2	Desinfecção com ácido peracético	26
3.2.3	Desinfecção com peróxido de hidrogênio	26
3.2.4	Desinfecção com processos oxidativos avançados e processos combinados	27
4	MATERIAIS E MÉTODOS	29
4.1	Etapa I – Desinfecção com Radiação Ultravioleta	30
4.1.1	Equipamento: o reator UV	30
4.1.2	Determinação das intensidades de radiação UV	31
4.1.2.1	Medição da intensidade média aplicada (I _o).....	31
4.1.2.2	Medição da intensidade média efetiva (I _m)	32
4.1.3	Procedimento para o ensaio de desinfecção com radiação UV.....	33
4.2	Etapa II – Desinfecção com Ácido Peracético.....	34
4.2.1	Procedimento para o ensaio de desinfecção com ácido peracético.....	36
4.3	Etapa III – Desinfecção com Ácido Peracético e Radiação Ultravioleta.....	36
4.3.1	Procedimento para o ensaio de desinfecção com processos combinados (APA/UV). 36	

4.4 Etapa IV – Desinfecção com Peróxido de Hidrogênio (H ₂ O ₂).....	37
4.4.1 Procedimento para o ensaio de desinfecção com peróxido de hidrogênio	37
4.5 Etapa V – Desinfecção com Processos Oxidativos Avançados (POA) - H ₂ O ₂ /UV.	38
4.5.1 Procedimento para o ensaio de desinfecção com processos oxidativos avançados (H ₂ O ₂ /UV)	38
4.6 Caracterização físico-química e microbiológica do efluente.....	39
4.6.1 Exames Microbiológicos	40
4.6.1.1 <i>C. perfringens</i>	40
4.6.1.2 Colifagos	41
4.6.1.3 <i>E. coli</i> e CT.....	43
4.7 Verificação de sinergismo	44
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
5.1 Caracterização físico-química e microbiológica do efluente.....	45
5.2 Ensaio de desinfecção do esgoto sanitário, utilizando os métodos individuais de desinfecção: UV, APA E H ₂ O ₂	46
5.2.1 Desinfecção com radiação ultravioleta	46
5.2.2 Desinfecção com ácido peracético.....	51
5.2.3 Desinfecção com peróxido de hidrogênio.....	56
5.3 Ensaio de desinfecção com processos oxidativos avançados: APA/UV e H ₂ O ₂ /UV...	60
5.3.1 Desinfecção com APA/UV	60
5.3.2 Desinfecção com H ₂ O ₂ /UV.....	65
5.3.3 Consumo médio de ácido peracético e peróxido de hidrogênio nos processos combinados	70
5.4 Verificação de sinergismo.....	72
6 CONCLUSÕES.....	75
7 RECOMENDAÇÕES.....	76
8 REFERÊNCIAS	77

1 INTRODUÇÃO

Os esgotos sanitários são normalmente lançados nos corpos hídricos, necessitando, portanto, de tratamento adequado para não comprometerem a qualidade das águas receptoras, garantindo a possibilidade do uso múltiplo dessas águas, bem como o atendimento aos padrões estabelecidos pela legislação ambiental e visando benefícios à saúde da população. Para a garantia da qualidade microbiológica das águas a desinfecção é uma etapa imprescindível.

O cloro é o desinfetante químico mais comumente utilizado no mundo (KOIVUNEN E HEINONEN-TANSKI, 2005; LIBERTI, NOTARNICOLA E PETRUZZELLI, 2002) e é usado tanto para águas de abastecimento quanto para residuárias, porém, seu uso vem sendo questionado devido a sua toxicidade, seu manuseio e a possibilidade de geração de subprodutos cancerígenos como os Trihalometanos (THM) (GUO, et al., 2011; NADDEO et al., 2009).

Assim, métodos alternativos ao cloro ganham atenção crescente no meio científico, podendo destacar-se como potenciais substitutos bem como outros processos a utilização de radiação ultravioleta, processos químicos de desinfecção: ácido peracético e peróxido de hidrogênio e processos oxidativos avançados.

A radiação ultravioleta é um método físico de desinfecção, em que utilizam-se lâmpadas especiais com efeito germicida, geralmente de baixa pressão e vapor de mercúrio ionizado (RODRIGUEZ et al., 2014).

Segundo Jungfer; Schwartz e Obst (2007) a inativação de microrganismos por esse método acontece quando a radiação UV em comprimento de onda aproximadamente de 254 nm atinge o material genético (DNA e RNA dos microrganismos), através da fotólise, causando a perda da capacidade de reprodução dos microrganismos-alvos.

O ácido peracético (APA) é um composto orgânico com elevada propriedade oxidante, desinfetante químico utilizado em grande escala em países europeus. Segundo Sanchez-Ruiz et al. (1995), o APA apresenta elevada eficiência de inativação de microrganismos presentes em águas residuárias.

Os microrganismos indicadores apresentam características e comportamentos distintos, de acordo com o grupo indicador a que pertencem. Souza (2006) destaca que a existência de um único microrganismo indicador aceito universalmente é nula. Tal fato, relacionado com o mecanismo de ação de diferentes desinfetantes, sugere a necessidade de

investigar métodos mais efetivos de inativações de microrganismos indicadores. A utilização de métodos combinados de desinfecção pode ser uma alternativa viável para esta questão.

Para Souza (2006) a combinação de duas ou mais substâncias ativas, são utilizadas para ampliar a efetividade das substâncias químicas contra doenças e agentes etiológicos, como vírus, bactérias e protozoários.

Quando combinados os desinfetantes, podem promover aumento efetivo na inativação de microrganismos, caracterizados por apresentarem valores superiores à soma dos efeitos individuais de cada desinfetante, esta ocorrência denomina-se sinergismo (Souza, 2006). Os efeitos da sinergia podem conduzir à redução da dose e tempo de contato do desinfetante, ocasionando benefícios econômicos, como a redução de custos operacionais (CHO et al., 2006).

A presente pesquisa busca verificar a eficiência de inativação de diferentes microrganismos indicadores de agentes patogênicos, sob diferentes condições operacionais e métodos de desinfecção em escala de laboratório, sendo eles: radiação UV, ácido peracético, peróxido de hidrogênio e processos oxidativos avançados: APA/UV e H₂O₂/UV. Os microrganismos empregados foram: coliformes totais (CT) e *Escherichia coli* (*E. coli*), como indicadores de bactérias, colifagos como indicadores de vírus entéricos e *Clostridium perfringens* (*C. perfringens*) como indicadores de protozoários.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar a ação dos desinfetantes individuais: radiação ultravioleta, ácido peracético e peróxido de hidrogênio bem como os combinados: ácido peracético/radiação ultravioleta (APA/UV) e peróxido de hidrogênio/radiação ultravioleta (H_2O_2/UV), como processos de desinfecção de efluente final de ETE.

2.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar o esgoto sanitário quanto as suas propriedades físicas, químicas e bacteriológicas.
- Avaliar a ação do APA/UV e H_2O_2/UV na inativação dos organismos indicadores CT, *E. coli*, colifagos e *C. perfringens*.
- Avaliar a ocorrência de efeitos sinérgicos nos processos de desinfecção combinados APA/UV e H_2O_2/UV .
- Avaliar a ação da radiação UV na inativação dos organismos indicadores CT, *E. coli*, colifagos e *C. perfringens*.
- Avaliar a ação do ácido peracético na inativação dos organismos indicadores CT, *E. coli*, colifagos e *C. perfringens*.
- Avaliar a ação do peróxido de hidrogênio na inativação dos organismos indicadores CT, *E. coli*, colifagos e *C. perfringens*.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Desinfecção

Os processos de desinfecção são etapas primordiais quando se pretende o reúso das águas residuárias. O Brasil já sente os reflexos de escassez de água para fins de abastecimento, situações de estresse hídrico tem se tornado recorrentes em algumas regiões, devido ao aumento da população nos grandes centros, poluição dos mananciais e o uso indevido de águas mais “nobres” pela indústria e pela população.

Hespanhol (2015) destaca a prática dos tratamentos de esgotos para fins de reúso, como solução sustentável na complementação do abastecimento público, e evidencia que esta prática contribuiria para eliminação de situações de estresse hídrico em mananciais utilizados para o abastecimento público.

Esse contexto sugere a necessidade de alternativas para o gerenciamento da água, visto que este é um recurso essencial e intransferível, porém, a reutilização destas águas, ainda geram insegurança e desconfiança por parte da população, devido à possibilidade de contaminação por doenças de veiculação hídrica.

O lançamento em corpos d’ água de esgoto doméstico e demais águas residuárias que não passam por tratamento adequado enquadra-se como uma das principais fontes de contaminação das águas superficiais (GONÇALVES et al., 2003).

Há muitas tecnologias que são utilizadas no tratamento de esgotos, porém, o cenário brasileiro atual, apresenta dados que indicam déficit de infraestrutura básica para atender as necessidades da população. Dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2015) mostram que o índice médio para o tratamento dos esgotos no país chega a 42,7% do montante que é gerado e 74,0% para os esgotos coletados.

Os tratamentos convencionais de esgoto não promovem redução satisfatória dos microrganismos patogênicos, acarretando assim o risco de surtos de doenças por agentes patogênicos de origem fecal. Para alcançar níveis seguros na eliminação de microrganismos patogênicos, o tratamento terciário, caracterizado pelos processos de desinfecção do efluente, torna-se uma etapa indispensável.

Nesse contexto, a inativação de microrganismos patogênicos potencialmente presentes nas águas, é considerada a barreira sanitária para a redução da possibilidade de transmissão de doenças infecciosas por fontes contaminadas. Tradicionalmente, nas áreas de engenharia e

microbiologia sanitária utilizam-se como microrganismos indicadores de contaminação fecal e de eficiência de tratamento, as bactérias pertencentes ao grupo coliforme. Entretanto, nem todos os CT são de origem fecal, apenas os coliformes fecais, a *E. coli* destaca-se como principal indicadora de contaminação fecal, sendo amplamente utilizada como parâmetro de avaliação da qualidade da água (SARTORI, 2004).

Segundo Bastos et al. (2000) não existe um único organismo que satisfaça todas as condições simultâneas das premissas importantes para um bom organismo indicador de contaminação fecal, deve-se empregar conforme situação ou ambiente, os que apresentem melhor associação diante dos riscos relacionados a saúde.

3.1.1 Grupo coliforme

Conforme a Portaria MS nº 2914/2011, os CT, pertencentes ao grupo coliforme, são bactérias Gram-negativos, aeróbios e anaeróbios, não formadores de esporos. As bactérias do grupo coliforme em sua maioria são pertencentes aos gêneros *Escherichia*, *Citrobacter*, *Klebsiella* e *Enterobacter*, contudo diversos outros gêneros e espécies pertencem ao mesmo grupo (BRASIL, 2011).

A *E. coli* é a principal representante do subgrupo dos coliformes termotolerantes, pertencente ao grupo coliforme. De origem exclusivamente fecal, ela está presente nas fezes humanas e de animais de sangue quente, em número elevado em esgotos, e águas naturais contaminadas por esgoto (VON SPERLING, 2005).

A Resolução CONAMA 357/05 (BRASIL, 2005) estabelece que deve ser considerada a concentração de coliformes termotolerantes ou *E. coli*, para fins de controle microbiológico na emissão de efluentes. Para corpos de água doce, classe 2, o efluente lançado no corpo receptor, não deverá exceder o limite de 1.000 coliformes termotolerantes por 100 mL.

As bactérias do grupo coliforme são os microrganismos indicadores de contaminação fecal e de avaliação da eficiência de tratamento mais utilizados na área sanitária, porém, apresentam limitações quanto à avaliação da qualidade da água. Em termos de padrões para potabilidade da água, a utilização somente deste critério, torna-se insuficiente para acusar a ausência de protozoários (GAMBA et al., 2000). Como alternativa, tem-se adotado o emprego de outros microrganismos, como *Bacillus subtilis* e *C. perfringens*.

3.1.2 *C. perfringens*

São bactérias Gram-positivas, esporuladas, anaeróbias obrigatórias, presentes no trato intestinal humano e de outros animais (JUNQUEIRA et al., 2006), reduzem o sulfito a sulfeto de hidrogênio (H₂S), e nitrato em nitrito. Esse microrganismo desenvolve-se a uma temperatura entre 20 a 50 °C, e a temperatura ótima para o seu crescimento é de 45° C (CETESB/L5.213, 1993). Esta espécie é utilizada como indicadora de poluição remota no ambiente (GUIMARÃES e BARRETO, 2003), e sua capacidade em produzir esporos confere resistência, prolongando sua permanência no ambiente (LOBATO e ASSIS, 2005).

Barbeau et al. (1999) destacaram em seus estudos, que os esporos dessas bactérias apresentam resistência a fatores ambientais, à temperatura e a diferentes compostos utilizados em processos de desinfecção da água, e que o mesmo vem sendo recomendado como indicador eficaz para avaliação do tratamento na remoção de cistos e oocistos de protozoários; devido a semelhança de fatores e comportamentos destes organismos com protozoários (MUELLER-SPITZ et al., 2010).

Particularidades biológicas das bactérias esporogênicas, sugerem sua utilização como possíveis indicadores alternativos da eficiência de remoção de protozoários patogênicos como *Cryptosporidium spp.* e *Giardia spp* (MUELLER-SPITZ et al., 2010) em estações de tratamento de água (RICE et al., 1996).

Junqueira et al. (2006) detectaram em seus estudos concentrações de até 54 NMP/100mL de *C. perfringens* em amostras do Rio Atibaia (Campinas-SP), principal fonte de captação de água para abastecimento da cidade. Estes resultados indicam possibilidade de contaminação desta água, comprometendo o processo de tratamento para fins de consumo.

No âmbito avaliativo de padrões microbiológicos e de resistência semelhante aos protozoários, profissionais da microbiologia têm buscado através de testes com diferentes microrganismos, obter maior simplificação analítica para este tipo de organismo (DIAS, 2007; CERQUEIRA, 2008).

3.1.3 Colifagos

Colifagos é o nome genérico denominado aos bacteriófagos que atacam bactérias *E. coli* (CETESB/L5.225, 1990). Utilizado como indicadores de vírus entéricos são provenientes da contaminação de origem fecal, sendo muito utilizados na avaliação da qualidade de água (APHA, 1998; USEPA, 1999).

Arraj et al. (2005) citam que os bacteriófagos apresentam comportamentos próximos aos vírus entéricos presentes nos esgotos sanitários, e sugerem que sejam inclusos como indicadores de poluição. As semelhanças de enterovírus e colifagos são citadas pelos autores acima, relacionando os seguintes fatores: o tamanho, a resistência aos tratamentos e suas densidades em esgotos sanitários.

Apesar de sabido que os vírus são causadores de sérias doenças, e utilizam as águas como meio de veiculação, Tavares et al. (2005) observaram que a legislação brasileira, não prevê o monitoramento destes organismos em águas.

Bradford et al. (2006) verificaram o comportamento de vírus em águas que apresentavam poluição fecal, relacionaram a presença e ausência de sólidos, observando que na presença de sólidos, os vírus eram retidos nas partículas e sua locomoção foi dependente deste meio. Gonçalves (2006) relacionou maior estabilidade dos vírus em relação às bactérias no meio ambiente, à capacidade de adsorção destes organismos nas partículas em suspensão.

Os colifagos apresentam vantagem como indicadores, pois apresentam uma técnica de fácil execução e enumeração, e requer um tempo reduzido de 4 a 6 horas para obter o resultado final (PEDROSO et al. 2003; SOUZA, 2006).

3.2 Processos de desinfecção: Métodos alternativos ao cloro

O cloro é o desinfetante mais difundido mundialmente para o tratamento de águas e esgotos, em especial por apresentar caráter econômico, baixo custo e alta eficácia comprovada na inativação de diversos microrganismos patogênicos (USEPA, 1999; WHITE, 2010). Por outro lado, sua utilização em águas de abastecimento é questionada, pois podem propiciar a formação de subprodutos tóxicos como os trihalometanos, compostos estes cancerígenos resultantes da oxidação de matéria orgânica sob certas circunstâncias específicas (USEPA, 1999; GUO, et al., 2011).

Em esgotos sanitários, a desinfecção realizada pelo cloro carece de descloração antes do lançamento no corpo receptor, pois mesmo em baixas concentrações o cloro representa toxicidade a vida aquática, havendo ainda a possibilidade de bioacumulação nas cadeias tróficas (USEPA, 1999).

Ryu et al. (2008) e Mun et al. (2009) destacam em seus trabalhos que a utilização do cloro em tratamento de água é segura para a inativação de bactérias e vírus, porém, quando se trata da inativação de organismos mais resistentes como helmintos e protozoários, estes processos usuais de desinfecção podem não assegurar os mesmos resultados.

Diante deste cenário, em muitos países o uso do cloro vem sendo regulado e banido, e a busca por soluções alternativas para a desinfecção de águas de abastecimento e águas residuárias tornou-se uma preocupação contínua para a preservação da saúde pública e da vida aquática.

3.2.1 Desinfecção com radiação ultravioleta

A radiação ultravioleta é um método físico de desinfecção, emitida por lâmpadas germicidas especiais, onde a energia encontra-se associada ao comprimento de onda de 254 nm (BILLOTA e DANIEL, 2012). É uma das alternativas ao cloro e outros agentes químicos, considerada competitiva, devido principalmente a não geração de subprodutos e residuais que possam ser prejudiciais à saúde e aos ecossistemas aquáticos (TINÔCO, 2011).

A inativação microbiana por meio da radiação UV, ocorre pela absorção da luz, resultando em uma reação fotoquímica capaz de alterar componentes moleculares essenciais para as funções celulares, sendo elas decorrentes da interferência na biossíntese e na reprodução celular, o que ocasiona danos aos ácidos nucléicos (DNA e RNA) dos microrganismos, inativando-os (USEPA, 1999; AGUIAR, 2000).

Destacam-se como principais vantagens do uso da radiação UV: a simplicidade de operação e funcionamento, a instalação do sistema em espaço físico reduzido, o requerimento de menores tempos de contatos, a ausência de produtos químicos e subprodutos tóxicos, além da elevada eficiência na inativação de grande variedade de microrganismos (USEPA, 1999; EPA, 1999b; LAZAROVA et al., 1999; WHITE, 2010).

Quanto às desvantagens podem ser apontadas a não formação de efeito residual, item importante quando se refere ao tratamento de águas de abastecimento, a utilização de dosagens baixas de UV podem promover a fotorreativação das bactérias (GUO et al., 2009) e recuperação no escuro. E ainda, a presença de sólidos suspensos totais e turbidez elevada dificultam a ação deste agente de desinfecção, pois estes são utilizados pelos microrganismos como barreiras de proteção.

Na literatura, há muitos trabalhos que relatam o uso de diferentes doses de radiação ultravioleta para inativação de patógenos, esta sempre variando com as condições operacionais aplicadas, como: intensidade de radiação emitida pela lâmpada, tipo de efluente e microrganismo analisado. Hijnen et al. (2006) em seu trabalho de revisão, aborda estas oscilações, e menciona que estes fatores afetam diretamente os resultados.

Guo et al. (2009) alcançaram 6 log de redução para *E. coli*, aplicando dose de 1,2 mJ/cm² de UV, porém, os autores indicam que sejam utilizadas doses superiores a 30 mJ/cm², pois, doses baixas de radiação UV podem ocasionar a fotorreativação destas bactérias.

Gonçalves (2003) relata que as bactérias e os vírus, de forma geral, apresentam maior sensibilidade à radiação UV, sendo, grande parte dessas espécies são inativadas com doses médias efetivas da ordem de 20 mWs/cm².

Entretanto, para a inativação de protozoários e helmintos são necessárias doses superiores, sendo de 92 a 153,7 mWs/cm² para remoções de 3 a 5 log (TINÔCO, 2011), uma vez que esses últimos possuem proteção natural que garante, inclusive, sua permanência em locais adversos (GONÇALVES, 2003).

Clancy et al. (2000) destacam doses obtidas a partir da literatura científica da área a partir de 1 mJ/cm² até 40.000 mJ/cm², para inativação de protozoários.

3.2.2 Desinfecção com ácido peracético

O ácido peracético (CH₃CO₃H) é formado a partir da reação de peróxido de hidrogênio e ácido acético e destaca-se como um forte oxidante, o qual apresenta elevado potencial de oxidação quando comparado ao cloro e dióxido de cloro (GEHR et al., 2002; ROSSI, 2007). O APA encontra-se disponível comercialmente em uma mistura quaternária de ácido acético, peróxido de hidrogênio, ácido peracético e água.

Wagner et al. (2002) e Gerh et al. (2002) evidenciaram em seus estudos que a utilização de APA como desinfetante para efluentes de águas residuárias vem sendo estudada desde os anos 1980, sendo utilizado em diferentes setores das indústrias e em países da Europa inclusive em estações de tratamento de água.

Para Antonelli et al. (2006); Lubello e Carretti (2000), dentre as possíveis alternativas químicas, o ácido peracético surge como um substituto promissor aos compostos clorados no tratamento de águas residuárias devido as suas características e sua eficácia contra bactérias, vírus, fungos e esporos.

Este desinfetante químico apresenta vantagens no tratamento de esgotos sanitários tais como: a simplicidade de implementação de tratamento (não necessita de grandes investimentos), pois são facilmente adaptados aos tanques de cloro já existentes em estações de tratamento de água (ROSSI, 2007), com amplo espectro de atividade microbiana mesmo na presença de matéria orgânica, ausência de residual ou subprodutos tóxicos e/ou mutagênicos, desnecessária descloração, baixa dependência do pH e reduzido tempo de contato (KITIS, 2004).

Como principais desvantagens, pode-se destacar o aumento no conteúdo orgânico do efluente, proveniente de ácido acético presente na composição do desinfetante, e também formado após a decomposição do APA, possível ocorrência de recrescimento microbiano devido à presença de ácido acético e ineficiência na desinfecção de alguns vírus e protozoários (LAZAROVA et al., 1999).

Mezzanotte et al. (2007) observaram em suas análises, que na contagem das colônias de bactérias heterotróficas, quando submetidas ao processo de desinfecção com ácido peracético, ocorreu ligeiro aumento no número destes microrganismos após 6 horas à contagem, evidenciando uma capacidade de recuperação destes microrganismos.

3.2.3 Desinfecção com peróxido de hidrogênio

O peróxido de hidrogênio (H_2O_2) apresenta-se como um oxidante comercialmente acessível, estável à temperatura ambiente seu armazenamento pode ocorrer no local de sua utilização e sua ação desinfetante ocorre devido ao poder de oxidar constituintes intracelulares em microrganismos (KSIBI, 2006). Tais fatores destacam-se como vantagens para seu uso, como alternativa aos compostos clorados (DOMENECH et al., 2001).

Koivunem e Heinonen-Tanski (2005) abordaram em seus estudos que somente o uso do peróxido de hidrogênio no processo de desinfecção pode ser ineficiente, pois ocorre ação da enzima catalase, a qual promove a quebra do peróxido de hidrogênio em água e oxigênio, ocasionando uma ação de proteção aos microrganismos. Este relato evidencia uma desvantagem na utilização de H_2O_2 em tratamentos de desinfecção e que mais estudos com este oxidante necessitam ser realizados.

Em trabalho com águas cinzas realizado por Ronen et al. (2010) verificando a ação dos processos de peroxidação, os autores alcançaram resultados de 2 log de inativação para coliformes termotolerantes, após tempo de contato de 35min e concentração de 125 mg/L de H_2O_2 . No entanto, quando aplicou 300 mg/L do oxidante em efluente doméstico, com tempo de contato de 10 minutos, conseguiu atingir 0,4 log de inativação de CT.

3.2.4 Desinfecção com processos oxidativos avançados e processos combinados

O emprego de múltiplos desinfetantes aplicados tanto simultaneamente quanto de forma sequencial é uma alternativa ao processo de desinfecção, que propõem unir os efeitos dos desinfetantes, investigando uma ação sinérgica entre eles. A USEPA (1999) denomina esse método de interativo ou combinado, e usualmente ocorre a combinação entre um desinfetante químico e um desinfetante físico (UV).

Neste contexto, cabe ressaltar a diferença entre processo de desinfecção sequencial e combinada. No sequencial aplica-se um agente desinfetante aguardando-se o tempo de contato para depois empregar outro desinfetante, no processo combinado ocorre à aplicação dos desinfetantes ao mesmo tempo.

Na literatura, muitos são os trabalhos aplicando-se processos oxidativos avançados (POA) na degradação de compostos orgânicos e inorgânicos poluentes tóxicos (CORDEIRO et al., 2004), e dentre estes processos destacam-se a utilização de (O_3/H_2O_2), ($O_3/H_2O_2/UV$), (H_2O_2/UV), (TiO_2/UV), ($Fe^{2+}/H_2O_2/H^+$) e ($Fe^{2+}/H_2O_2/H^+/UV$). De acordo com Mattos et al. (2003), a característica comum destes processos é a geração do radical hidroxila ($\cdot OH$), que apresenta potencial oxidativo superior a outros agentes químicos.

Como vantagens, a combinação de processos de desinfecção promove o aumento da eficiência de inativação microbiana para determinados grupos de microrganismos, podendo ocorrer efeito sinérgico, assim como a minimização de subprodutos de desinfecção, redução nas dosagens dos agentes desinfetantes, bem como o tempo de contato requerido no processo. (USEPA, 1999; CHO et al., 2006).

Koivunem e Heinonen-Tanski (2005) observaram em seus trabalhos aumento na inativação de bactérias entéricas (*E. coli*, *E. faecalis* e *S. enteritidis*), decorrentes da sinergia da conjugação de um desinfetante químico (ácido peracético) seguido de um agente físico de desinfecção (radiação ultravioleta).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

O efluente utilizado na pesquisa foi coletado da saída do filtro anaeróbio da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), situada no bairro Riozinho, no município de Irati, PR. O fluxograma da ETE é constituído por grade, calha parshall, reator anaeróbio de leito fluidizado (RALF) e filtro anaeróbio.

As coletas de efluentes foram realizadas nos meses de maio a setembro de 2016, sempre no período da manhã, entre as 08:00h e 08:30h. Para todos os ensaios de desinfecção utilizaram-se os microrganismos indicadores *C. perfringens*, Colifagos, CT e *E. coli*.

O trabalho experimental foi realizado em cinco etapas, conforme fluxograma abaixo (Figura 1):

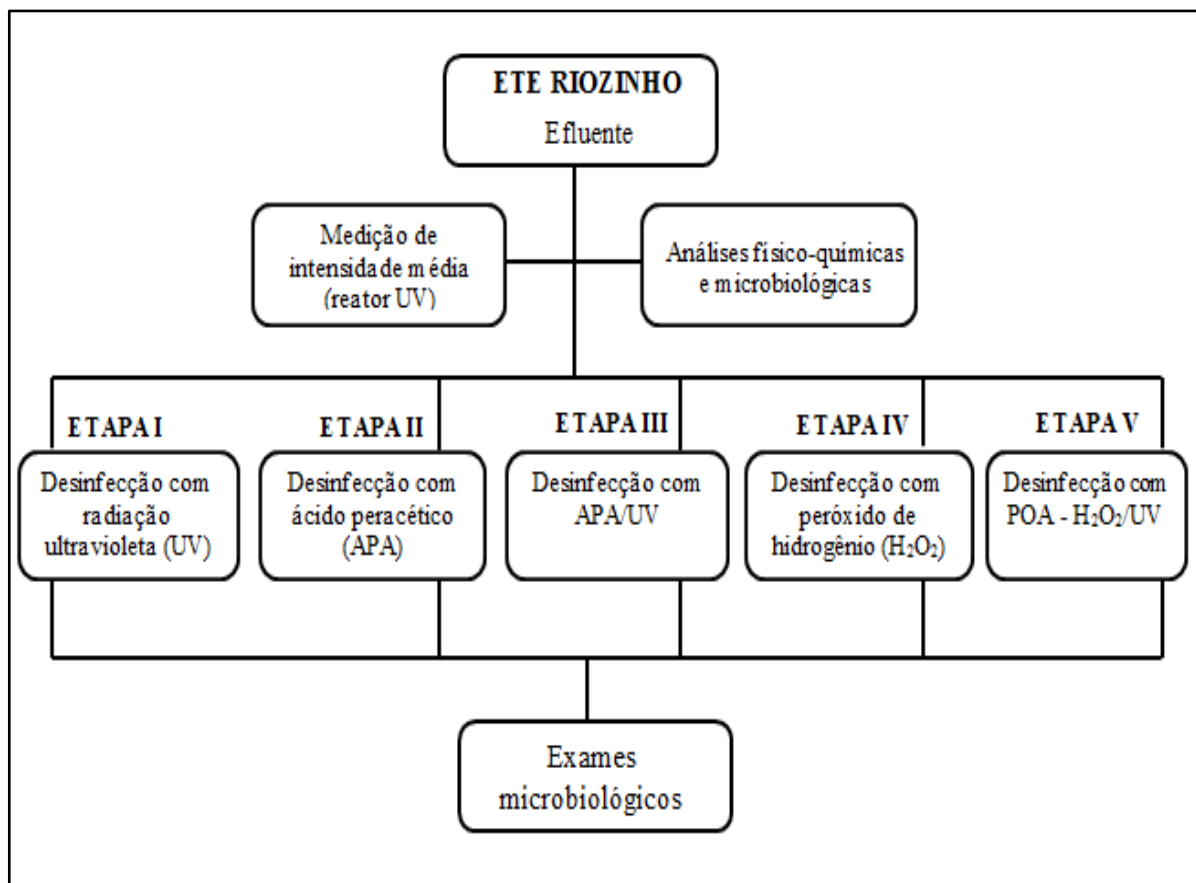


Figura 1: Fluxograma do procedimento experimental.

Todos os ensaios de desinfecção foram realizados em escala de laboratório, operação em batelada e em triplicata. Os ensaios incluindo as análises físico-químicas e os exames microbiológicos foram realizados no Laboratório de Saneamento Ambiental e Qualidade da Água do Departamento de Engenharia Ambiental (DENAM) da UNICENTRO, *Campus Irati*.

Antecedendo os ensaios de desinfecção com radiação UV, foram realizadas medições da intensidade de radiação emitida pelas lâmpadas acopladas ao reator.

4.1 Etapa I – Desinfecção com Radiação Ultravioleta

4.1.1 Equipamento: reator UV

O sistema de bancada proposto, é estruturado em aço inox, material esse reflexível, para melhor dispersão da radiação, com cúpula removível em alumínio de 10 cm de altura, com dimensões de 40x45x15 cm, resultando num volume total de 27 L. Contém 6 lâmpadas emersas de baixa pressão de vapor de mercúrio, da marca Philips, com comprimento de onda de 254 nm, distanciadas entre si em 2,2 cm, com 15 W de potência nominal cada uma (Figura 2a) e possui interruptores individuais de energia para acionar as lâmpadas (Figura 2b).

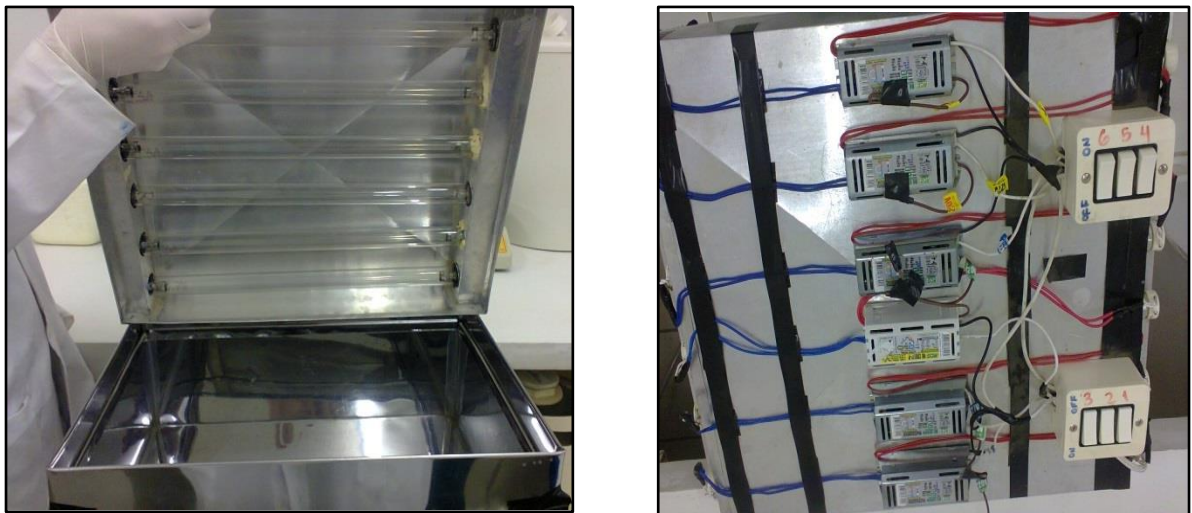


Figura 2 – Reator UV de bancada (2-a) vista da área interna e (2-b) interruptores.

Na Figura 3 é apresentado um esquema ilustrativo do reator UV utilizado.

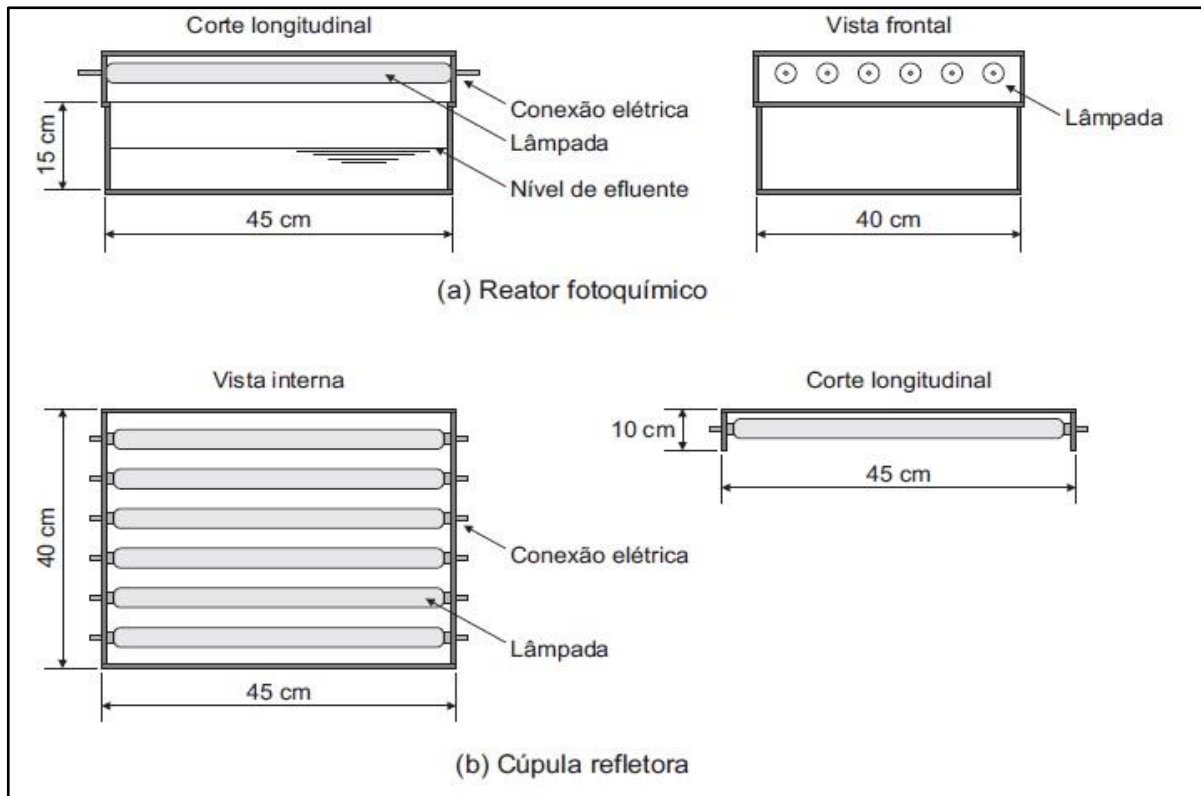


Figura 3 - Esquema ilustrativo do reator UV de bancada.
Fonte: Adaptado de Bilotta e Daniel (2012).

4.1.2 Determinação das intensidades de radiação UV

Neste estudo duas intensidades de radiação UV foram consideradas: a intensidade média (I_o) aplicada à superfície do reator e a intensidade média efetiva (I_m).

4.1.2.1 Medição da intensidade média aplicada (I_o)

Inicialmente para a medição da intensidade média (I_o), todas as lâmpadas do reator foram ligadas por um período de 15 minutos para estabilização das lâmpadas. Na sequência, para a determinação da intensidade (I_o) foi adotada uma malha de pontos equidistantes em 5 cm, totalizando 56 pontos de amostragem dentro do reator (Figura 4-a).

As intensidades de radiação UV emitidas pelo conjunto de lâmpadas foram verificadas com auxílio de um radiômetro, marca Vilber Loumart (VLX-3W), por meio do sensor acoplado, o qual detecta a radiação UV no comprimento de onda de 254 nm (Figura 4-b). Para Tinôco (2011), a sensibilidade do radiômetro e o número de pontos distribuídos no reator UV conferem precisão e confiabilidade aos dados gerados.

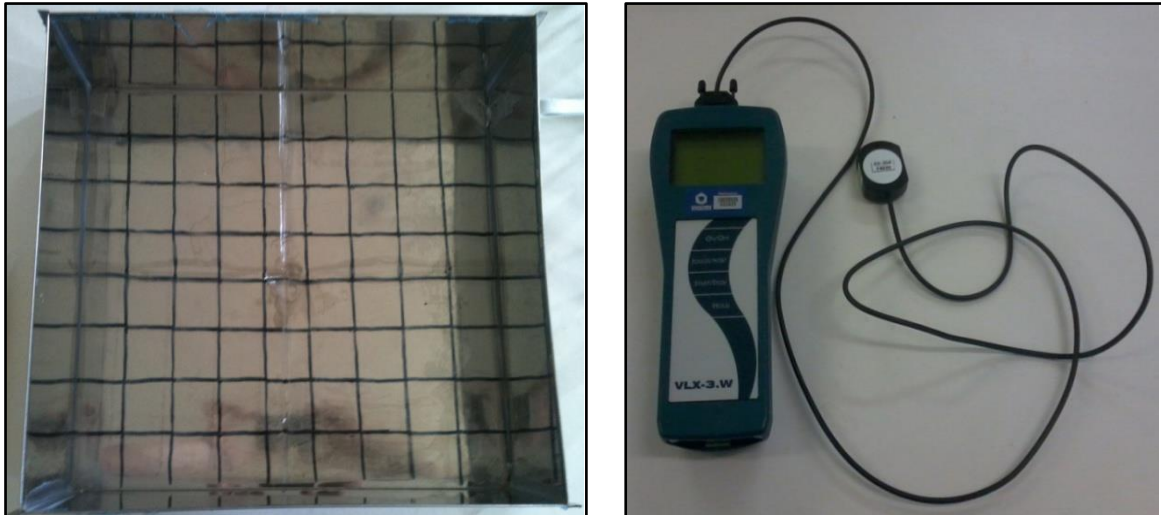


Figura 4 - Vista da área interna do reator UV, com malha de pontos (esquerda-4a); Radiômetro e sensor acoplado (direita-4b).

4.1.2.2 Medição da intensidade média efetiva (I_m)

Para a determinação da intensidade média efetiva (I_m) foi considerada a atenuação ocorrida durante a absorção de radiação pelo meio líquido. Gonçalves (2003) destaca que é comum o emprego do termo coeficiente de absorvância (α) para a correção da absorvância do meio, pois a intensidade de radiação UV não é constante e semelhante àquela gerada na fonte. O fator de correção é obtido por meio da Equação 1.

$$\alpha = A * \ln(10) = 2,303A \quad (\text{Equação 1})$$

Sendo: α = coeficiente de absorvância;
 A = absorvância a 254 nm (cm^{-1}).

A absorvância (A) foi lida para cada amostra do efluente estudado em espectrofotômetro UV visível marca HACH modelo DR 6000.

A intensidade média efetiva (I_m) foi calculada de acordo com a Lei de Beer-Lambert expressa pela Equação 2.

$$I_m = \frac{I_0}{\alpha * L} [1 - e^{(-\alpha * L)}] \quad (\text{Equação 2})$$

Sendo: I_m = intensidade média (mW/cm²);

I_o = intensidade de radiação UV emitida pela fonte (mW/cm²);

t = tempo de exposição (s);

α : coeficiente de absorção (cm);

L : espessura da lâmina líquida (cm).

Após a obtenção das intensidades (I_m) foi possível determinar a dose relativa a cada tempo de exposição. A dose é o principal parâmetro de controle da desinfecção UV, é expressa em unidades do SI em J.m⁻², mas é comum o uso de mWs.cm⁻², ou mJ.cm⁻², onde 1 mJ/cm² = 1 mWs/cm² = 10 J/m² (GONÇALVES, 2003). A dose é o produto da intensidade de radiação pelo tempo de exposição, conforme a Equação 3.

$$D = I * t \quad \text{(Equação 3)}$$

Sendo: D = dose de radiação ultravioleta (mWs/cm²);

I = intensidade da radiação (mW/cm²);

t = tempo de exposição (s).

4.1.3 Procedimento para o ensaio de desinfecção com radiação UV

Previamente aos ensaios de desinfecção, as lâmpadas do reator eram ligadas por meio dos interruptores por um período de 15 minutos, para aquecimento das lâmpadas e estabilização da corrente.

Os parâmetros operacionais empregados nos ensaios de desinfecção, como tempo de contato, número de lâmpadas utilizadas e altura de lâmina líquida (LL), foram determinados a partir de ensaios teste. Após estes testes ficou definido a utilização de todas as lâmpadas do reator, tempos de contato de 15, 30 e 50 segundos, e altura de lâmina líquida (LL) de 2 cm de espessura.

Conforme estudos realizados por Monaco (2006) o reator foi mantido sob constante agitação magnética, a fim de simular as condições reais de operação mantendo a amostra constantemente homogeneizada e evitando a sedimentação de sólidos em suspensão.

Após cada tempo de exposição, foi possível determinar as doses de radiação UV aplicadas no ensaio, por meio da equação 3, descrita no sub item 4.1.2.2. As amostras do

efluente foram coletadas e seguiram para a realização dos exames microbiológicos (Tabela 1) para obtenção do número final de microrganismos (N), obtidos em triplicata.

Tabela 1 - Doses de radiação UV, tempos de contato utilizados, exames microbiológicos e quantidade de amostras ensaiadas.

Doses de radiação UV (mWs/cm ²)	Tempo de contato (s)	Quantidade de amostras ensaiadas
62,02	15	3
123,99	30	3
206,65	50	3

4.2 Etapa II – Desinfecção com Ácido Peracético

Os ensaios de desinfecção com APA foram realizados em batelada, utilizando-se béqueres de vidro borossilicato com capacidade de 2L cada, dispostos sobre agitadores magnéticos para constante homogeneização do efluente (Figura 5).



Figura 5 – Vista geral dos equipamentos para realização dos ensaios de desinfecção com APA.

4.2.1 Procedimento para o ensaio de desinfecção com ácido peracético

Nos ensaios de desinfecção com APA seguiu-se a metodologia adotada por Souza (2000) e Sartori (2004), conforme descrita abaixo:

- Transferiu-se 1 litro da amostra do efluente da ETE Riozinho-PR em cada béquer de 2 litros (total de 4 béqueres);
- Cada béquer foi disposto sobre um agitador magnético;
- Concluído o tempo de contato para cada ensaio, foi utilizada solução de tiosulfato de sódio 3% na proporção de 0,1 mL para cada 100 mL de amostra para inibir a ação do APA.
- Coletou-se uma alíquota de cada béquer contendo amostra desinfetada e fez-se a determinação da concentração remanescente (residual) de APA.

O produto utilizado para a desinfecção com APA foi o PROXITANE 1512 fornecido pela empresa ALLOXY Especialidades Químicas Ltda (Peróxidos do Brasil) – São José dos Pinhais, PR.

Conforme informação fornecida pelo fabricante, o produto apresenta em sua formulação comercial as especificações descritas na Tabela 2.

Tabela 2 - Características do APA utilizado para desinfecção.

Componente	Composição
Ácido peracético	Mínimo de 15%
Peróxido de hidrogênio	Mínimo de 23%
Ácido acético	Máximo de 16%
Veículo estabilizante	100%

Fonte: ALLOXY Especialidades Químicas Ltda, fornecedor do produto Proxitane 1512.

A concentração do APA foi determinada por meio da diluição do PROXITANE 1512 em água destilada, de modo a obter uma solução mãe com concentração final de 1000 mg/L de APA. Para atingir as concentrações desejadas para os ensaios foram realizadas diluições da solução de 1000 mg/L, sempre antecedendo os experimentos.

Para determinar concentrações residuais de APA utilizou-se o método colorimétrico de leitura fotométrica DPD desenvolvido e patenteado pela CHEMetrics, com nome comercial para o ácido peracético CHEMets[®] Refil e Vacu-vials[®]. As ampolas do kit para testes foram lidas em espectrofotômetro HACH modelo DR 6000 no comprimento de onda de 515 nm.

Este ensaio de desinfecção foi realizado em triplicata para todos os microrganismos indicadores, e os tempos de contato e as dosagens de desinfetante utilizadas (Tabela 3), foram estipuladas levando-se em consideração o trabalho realizado por Souza et al. (2014).

Tabela 3 - Concentrações de APA e tempos de contato utilizados, denominações correspondentes e a quantidade de amostras ensaiadas.

Concentração de APA (mg/L)	Tempo de contato (min)	Quantidade de amostras ensaiadas
2,0	10	3
2,0	20	3
3,0	10	3
3,0	20	3

4.3 Etapa III – Desinfecção com Ácido Peracético e Radiação Ultravioleta

4.3.1 Procedimento para o ensaio de desinfecção com processos combinados (APA/UV)

Os ensaios de desinfecção com processos combinados (APA/UV) foram realizados em batelada, utilizando-se como equipamento o mesmo reator UV de bancada, descrito no sub item 4.2.1.

Primeiramente, o efluente de estudo foi transferido ao reator até completar o volume de 3,6 L, que corresponde à altura de lâmina líquida aplicada em todas as etapas de desinfecção desta pesquisa. Após adição do efluente no reator, sob constante agitação, foram adicionadas as mesmas concentrações de APA e mantidos os mesmos tempos de contato e doses de radiação UV (Tabela 4). Primeiramente, foi realizado o ensaio de desinfecção com APA no reator, seguido do ensaio de desinfecção UV.

Para cada tempo de exposição APA/UV foram coletadas alíquotas do efluente tratado, para averiguar o valor consumido de APA durante a desinfecção e para a realização dos exames microbiológicos. Nos processos combinados não foi utilizado nenhum inibidor, como ocorre nos ensaios de desinfecção com APA.

Nesta etapa da pesquisa, os ensaios individuais com APA e com radiação UV foram utilizados como controle para avaliar se ocorreu efeito sinérgico decorrente da combinação

destes desinfetantes. Deste modo, as amostras neste ensaio passaram pelo reator nas seguintes condições: a) apenas na presença de radiação UV; b) apenas na presença de APA, e c) na presença de APA/UV.

Tabela 4 - Doses de radiação UV, concentrações de APA e tempos de contato utilizados, denominações correspondentes e a quantidade de amostras ensaiadas.

Doses de radiação UV (mWs/cm ²)	Concentração de APA (mg/L)	Tempo de contato (s)	Quantidade de amostras ensaiadas
62,02	2,0	15	3
123,99	2,0	30	3
206,65	2,0	50	3
62,02	3,0	15	3
123,99	3,0	30	3
206,65	3,0	50	3

4.4 Etapa IV – Desinfecção com Peróxido de Hidrogênio (H₂O₂)

4.4.1 Procedimento para o ensaio de desinfecção com peróxido de hidrogênio

O tratamento de desinfecção neste caso, foi semelhante ao procedimento que consta no sub item 4.3.1. Antecedendo ao ensaio, preparou-se solução de 1000 mg/L de peróxido de hidrogênio, assim como no tratamento com APA. As dosagens de H₂O₂ e os tempos de contato foram análogos aos utilizados no APA, conforme consta na Tabela 5.

Tabela 5 - Concentrações de H₂O₂ e tempos de contato utilizados, denominações correspondentes e a quantidade de amostras ensaiadas.

Concentração de H ₂ O ₂ (mg/L)	Tempo de contato (min)	Quantidade de amostras ensaiadas
2,0	10	3
2,0	20	3
3,0	10	3
3,0	20	3

O produto comercial utilizado para a desinfecção com H_2O_2 foi o INTEROX[®] H_2O_2 35-20 (35%) fornecido pela empresa ALLOXY Especialidades Químicas Ltda (Peróxidos do Brasil) – São José dos Pinhais, PR.

Assim como nos ensaios de desinfecção com APA foram verificadas as concentrações aplicadas no ensaio de H_2O_2 e as concentrações remanescentes após cada tempo de contato. Para determinação destas concentrações, foi utilizada uma solução de 2 mL de metavanadato de amônia (coloração amarela) e 1mL de amostra, as quais eram lidas imediatamente após o processo de desinfecção. As amostras coletadas para os exames microbiológicos eram mantidas na ausência de luz, para evitar possíveis interferências na reação.

Segundo Nogueira et al. (2005), esta solução (H_2O_2 e metavanadato) baseia-se na reação de óxido-redução, obtendo-se uma coloração avermelhada, decorrente da formação do cátion peroxovanadio. As leituras destas concentrações foram realizadas em espectrofotômetro HACH modelo DR 6000 a partir da absorbância em comprimento de onda de 446 nm.

4.5 Etapa V – Desinfecção com Processos Oxidativos Avançados (POA) - H_2O_2 /UV

4.5.1 Procedimento para o ensaio de desinfecção com processos oxidativos avançados (H_2O_2 /UV)

No processo de desinfecção combinado os ensaios de peroxidação (H_2O_2) e de radiação ultravioleta (UV) foram utilizados como controle para avaliar se ocorreu efeito sinérgico resultante do POA, ou seja, peroxidação mais fotólise. Deste modo, as amostras neste ensaio passaram pelo reator nas seguintes condições: a) apenas na presença de luz ultravioleta; b) apenas na presença de peróxido de hidrogênio, e c) na presença de peróxido de hidrogênio e radiação ultravioleta.

Este ensaio assemelhou-se ao método e condições operacionais utilizadas no ensaio de desinfecção combinada APA/UV descrito no sub item 4.4.1, apenas substituindo o desinfetante utilizado no tratamento de desinfecção e o método de quantificação da concentração residual de peróxido de hidrogênio.

Assim, na Tabela 6 são apresentadas as doses de radiação e concentrações de peróxido de hidrogênio que foram utilizadas nos ensaios de POA.

Tabela 6 - Doses de radiação UV, concentrações de H₂O₂ e tempos de contato utilizados, denominações correspondentes e a quantidade de amostras ensaiadas.

Doses de radiação UV (mWs/cm ²)	Concentração de H ₂ O ₂ (mg/L)	Tempo de contato (s)	Quantidade de amostras ensaiadas
30,62	2,0	15	3
60,77	2,0	30	3
101,28	2,0	50	3
30,62	3,0	15	3
60,77	3,0	30	3
101,28	3,0	50	3

4.6 Caracterização físico-química e microbiológica do efluente

O efluente utilizado nos tratamentos de desinfecção foi coletado no mesmo dia da realização dos ensaios experimentais e os parâmetros e métodos analíticos referenciados encontram-se resumidos na Tabela 7.

Tabela 7 - Parâmetros, metodologias analíticas e referências utilizadas.

PARÂMETRO	METODOLOGIA ANALÍTICA	REFERÊNCIA
Colifagos (UFP/100 mL)	Ensaio de placa	CETESB L5/225 (1990)
<i>C. perfringens</i> (NMP/100 mL)	Técnica do número mais provável	CETESB L5/213 (1993)
CT (UFC/100 mL)	Membrana filtrante	APHA (1999)
<i>E. coli</i> (UFC/100 mL)	Membrana filtrante	APHA (1999)
Absorbância (254 nm)	Espectrofotometria UV	APHA (1999)
Cor aparente (uC)	Medida espectrofotométrica	APHA (1999)
Cor verdadeira (uC)	Medida espectrofotométrica	APHA (1999)
DQO (mg/L)	Titulometria de refluxo fechado	APHA (1999)
Sólidos totais (mgST/L)	Gravimetria	APHA (1999)
Sólidos suspensos totais (mgSST/L)	Gravimetria	APHA (1999)
pH	Potenciometria com eletrodo combinado	APHA (1999)
Turbidez (uT)	Nefelometria	APHA (1999)

4.6.1 Exames Microbiológicos

Para a enumeração dos microrganismos foi coletada para análises amostra bruta do efluente (filtro anaeróbio) e alíquotas dos ensaios de desinfecção. Antecedendo os exames microbiológicos, as amostras foram submetidas a diluições decimais.

Todo o material utilizado nas análises microbiológicas como vidraria, frascos plásticos para coleta e diluição foram esterilizados em autoclave ou no reator de radiação ultravioleta. Para todos os ensaios microbiológicos a bancada era previamente esterilizada com álcool 70%.

4.6.1.1 *C. perfringens*

A norma CETESB L5.213 (1993) descreve o procedimento para determinação de *C. perfringens*, onde o exame é realizado em duas etapas consecutivas: a presuntiva e a confirmativa.

Previamente aos ensaios, foram preparados os meios de cultura utilizados na pesquisa, sendo eles: DRCM (meio diferencial enriquecido para clostrídios) para o ensaio presuntivo e meio de leite tornassolado (Litmus Milk) para o ensaio confirmativo, e soluções de citrato férrico (7%) e sulfito de sódio (4%).

Para a preparação do meio DRCM, dissolveu-se 29 g do meio para 1000 mL de água destilada, e foi aquecida até obter-se uma solução com característica translúcida, não devendo a mesma atingir a temperatura de ebulição. Distribui-se 10 mL do meio para cada tubo de ensaio. No preparo do Litmus Milk dissolveu-se 101 g em 1000 mL de água destilada, com temperatura inferior a ebulição. Distribui-se 6 mL do meio em tubos de ensaios. Tanto os tubos de DRCM como os de Litmus Milk foram tampados com algodão e os mesmos esterilizados em autoclave a 121° C, por 15 minutos e armazenados em geladeira até a sua utilização.

Nessa primeira etapa (presuntiva) o procedimento adotado foi o aquecimento dos tubos contendo o meio DRCM em béquer com água fervente, e após resfriados em banho de gelo. Após choque térmico o oxigênio é removido do meio, e na sequência adicionou-se a 0,1 mL das soluções de citrato férrico (7%) e sulfito de sódio (4%), e 1 mL de amostra de efluente para cada tubo de ensaio. Posterior a inoculação, os tubos foram selados com vaselina líquida, formando uma camada próxima de 1 cm, para a garantia de anaerobiose, e incubados a 36 °C ± 1° C por 48 horas.

Realizada a leitura dos tubos do ensaio presuntivo após tempo de incubação, os tubos que apresentaram resultado presuntivo positivo (Figura 6-a), o qual é caracterizado pela turvação do meio de cultura (enegrecimento), seguiram para a segunda parte (confirmativa), onde foi transferido 0,1 mL de amostra dos tubos presuntivos positivos para o meio tornassolado. O mesmo procedimento do aquecimento, banho de gelo, selagem e incubação

do DRCM foi utilizado para o Litmus milk. O teste positivo confirmativo (Figura 6-b) para *C. perfringens* é identificado pela formação de coágulos e acidificação (coloração rosa do meio).



Figura 6 – Identificação de *C. perfringens*: etapa presuntiva à esquerda (6-a) e etapa confirmativa à direita (6-b).

Para enumeração do *C. perfringens* foi adotado os cálculos do número mais provável (NMP) disposto na norma CETESB/L5.213 (1993). O resultado final é expresso em NMP/100 mL.

4.6.1.2 Colifagos

A determinação de colifagos foi efetuada segundo a Norma L5.225 (CETESB, 1990). Inicialmente, o meio de cultura TSB (Tryptic Soy Broth) foi preparado para a repicagem e manutenção da cepa hospedeira da *E. coli* CIP 5530. O meio TSB foi dissolvido à proporção de 1,5 g de TSB para 50 mL de água destilada, após a solução ter sido completamente dissolvida e passar por aquecimento, sendo que não deve-se atingir a temperatura de ebulição, acrescentou-se 10% de glicerol ao meio. Em um tubo de ensaio, transferiu-se 10 mL de TSB, e 40 mL em erlenmeyer, os quais foram autoclavados por 15 min.

A repicagem da cepa hospedeira de *E. coli* foi realizada, colocando uma pequena porção da cepa (raspagem) com auxílio de uma alça de platina esterilizada no bico de Bunsen. Posteriormente, o tubo seguiu para incubadora, a $36 \pm 1^\circ\text{C}$ por $24 \pm 1\text{h}$. Decorrido este

período, transferiu-se o volume do tubo de ensaio ao conteúdo dos erlenmeyers, que novamente foi à incubadora, por mais 1 hora e 30 minutos. Após a incubação transferiu-se o meio para eppendorfs (1mL), os quais foram congelados até a sua utilização.

O meio de cultura para colifagos é o TSA (Tryptic Soy Agar) modificado. Para sua preparação adicionou-se 40 g de TSA para 1000 mL de água destilada, após 5,5 mL do meio foi distribuído em tubos de ensaios, e autoclavados a 121°C por 15 min e em sequência armazenados sob refrigeração até sua utilização.

Para a determinação de Colifagos, foi seguido o roteiro descrito abaixo:

1. Liquefazer quatro tubos de TSA modificado para cada amostra;
2. Descongelar os flaconetes contendo a bactéria hospedeira (CIP 55.30);
3. Transferir para cada dos 4 tubos de TSA, 5 mL de amostra e 1 flaconete (1 mL) de *E. coli* (CIP 55.30).
4. Homogeneizar cada tubo, e transferir para uma placa de Petri, em movimentos circulares em forma de oito;
5. Incubar as placas a $36 \pm 1^\circ\text{C}$ durante 4 a 6 horas.

A identificação dos colifagos é realizada pela contagem de placas de lise (ágar), conforme pode ser observada na Figura 7. O cálculo para quantificar os colifagos consta na norma técnica da CETESB/L5.225 (CETESB, 1990). Os resultados são expressos em unidades formadoras de placa por 100 ml de amostra (UFP/100 mL).



Figura 7 – Representação dos colifagos pela formação de placas de lise (furos).

4.6.1.3 *E. coli* e CT

Nesta análise o meio de cultura utilizado foi o Microbiology Chromocult® Coliform Agar (REF: 1.10426.0500-500g), o qual indica simultaneamente a ocorrência de CT e *E. coli*. Para o seu preparo adicionou-se 26,5 g do meio em 1000 mL de água destilada estéril, aquecendo-se a solução até a formação de pequenas bolhas. Após este período, transferiu-se 10 mL do meio para as placas de Petri esterilizadas. As placas contendo os meios foram mantidas em local refrigerado até sua utilização.

Na determinação de *E. coli* e CT por meio da técnica de filtração em membranas utilizou-se um volume de 100 mL de amostra, a qual foi filtrada em membrana estéril de nitrato de celulose, com porosidade 0,45 µm. Após filtrada, a membrana contendo material microbiano foi acondicionada nas placas de Petri e incubada a $36 \pm 1^\circ\text{C}$ por $24 \pm 1\text{h}$. A identificação das colônias de CT e *E. coli* são representadas por suas colorações, as que apresentam coloração salmão/vermelha são reconhecidas como CT, e coloração azul como *E. coli* (Figura 8). O resultado é expresso como unidade formadora de colônia por 100 mL da amostra (UFC/100 mL).

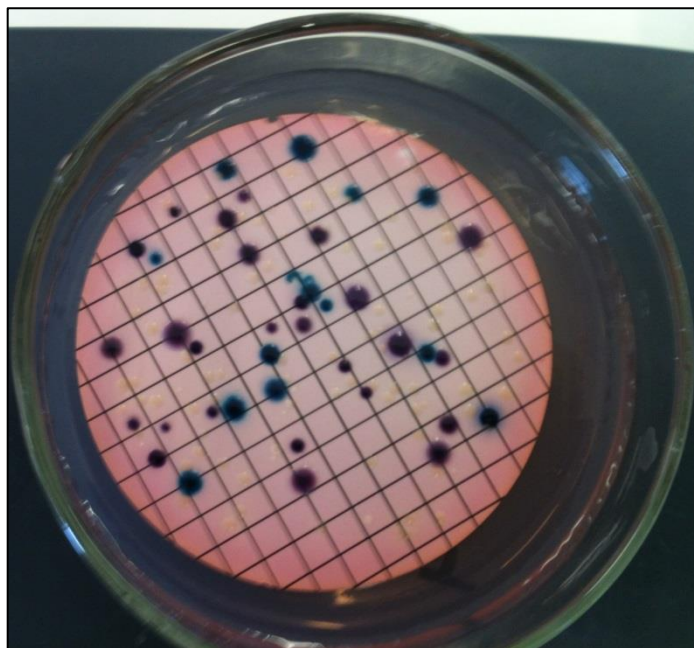


Figura 8 – Representação das colônias formadas de *E. coli* e CT.

4.7 Verificação do sinergismo

Para a verificação de possível ocorrência de sinergismo para os métodos de desinfecção combinada APA/UV e H₂O₂/UV foi considerado o modelo adotado por FINCH et al. (2000), em que:

$$\text{Sinergismo} = I_r - (I_1 + I_2) \quad (\text{Equação 4})$$

Sendo: I_r = inativação decorrente do processo sequencial;
 I_1 = inativação decorrente do desinfetante primário;
 I_2 = inativação decorrente do desinfetante secundário;
 I = inativação - Log (N/No).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção, os resultados referem-se à avaliação dos efeitos de desinfecção com radiação UV, por processos oxidativos (APA e H₂O₂), processos oxidativos avançados (APA/UV e H₂O₂/UV) e a verificação de sinergismo nos processos combinados de desinfecção, por meio dos valores de inativação dos microrganismos: *E. coli*, CT, *C. perfringens* e colifagos.

Para avaliação destes resultados a pesquisa foi dividida em duas partes: ensaios de radiação UV, APA e APA/UV e ensaios de UV, H₂O₂, H₂O₂/UV.

Os resultados estão descritos na seguinte ordem: caracterização físico-química e microbiológica do efluente sanitário, ensaios de desinfecção com métodos individuais: UV, APA e H₂O₂, ensaios de desinfecção com processos oxidativos avançados: APA/UV e H₂O₂/UV, simultaneamente a estes ensaios foram realizadas análises do consumo médio de APA e H₂O₂ e por último a verificação de sinergismo nos processos combinados de desinfecção.

5.1 Caracterização físico-química e microbiológica do efluente

Para avaliação dos tratamentos de desinfecção utilizados na presente pesquisa, analisaram-se os valores de parâmetros físico-químicos e exames microbiológicos das amostras do efluente sanitário.

Encontram-se expressos na Tabela 8, os ensaios de caracterização denominados de ensaio 1: os quais correspondem as análises realizadas com o efluente para os ensaios de UV, APA e APA/UV, e para o ensaio 2: ensaios de UV, H₂O₂, H₂O₂/UV.

Tabela 8 - Caracterização físico-química e microbiológica do efluente de saída do filtro anaeróbio.

PARÂMETRO	Ensaio 1	Ensaio 2
Absorbância (254 nm)	0,36±0,3	0,15±0,1
Cor aparente (uC)	327±178	244±93,4
Cor verdadeira (uC)	123±51,4	91,6±46,8
DQO (mg/L)	91,4±17,8	63,1±17,1
Sólidos totais (mgST/L)	288±116,5	193±79,6
Sólidos suspensos totais (mgSST/L)	20±8,8	18±3,6
pH	7,4±0,2	7,1±0,1
Turbidez (uT)	45,4±21,3	35,4±21,4
<i>E. coli</i> (UFC/100 mL)	1,4x10 ⁶ ±7,3x10 ⁵	1,5x10 ⁶ ±6,7x10 ⁵
CT (UFC/100 mL)	5,7x10 ⁶ ±5,0x10 ⁶	4,1x10 ⁶ ±3,4x10 ⁶
<i>C. perfringens</i> (NMP/100 mL)	>1,6x10 ⁴ ±0	>1,6x10 ⁴ ±0
Colifagos (UFP/100 mL)	1,1x10 ³ ±4,5x10 ²	2,6x10 ³ ±6,2x10 ²

Para o esgoto sanitário analisado os resultados das análises físico-químicas de absorvância a 254 nm, DQO, SST e turbidez, variaram respectivamente de 0,15 a 0,36, de 63,1 a 91,4 mg/L, 18 a 20 mg/L e 35,4 a 45,4 uT do primeiro para o segundo ensaio.

Segundo Von Sperling (2005) a matéria orgânica corresponde a 50% da quantidade de sólidos totais e 72,5% do total de sólidos em suspensão presentes no efluente bruto.

As concentrações de sólidos suspensos presentes comumente nos efluentes sanitários têm papel relevante para a desinfecção com radiação UV, APA e H₂O₂, pois, estes sólidos oferecem proteção aos microrganismos interferindo na ação dos desinfetantes (LAZAROVA et al., 1998).

Com relação ao potencial hidrogeniônico (pH) em todas as análises os valores não apresentaram variações significativas, mantendo-se em valores próximos ao pH neutro. Foram obtidos para este parâmetro valores médios de 7,4±0,2, para o ensaio 1 e 7,1±0,1 para o ensaio 2. Valores em conformidade com o disposto na Resolução CONAMA 430/2011, que prevê valor de pH entre 5 e 9 para descarte do efluente em corpo hídrico.

5.2 Ensaio de desinfecção do esgoto sanitário, utilizando os métodos individuais de desinfecção: UV, APA e H₂O₂

5.2.1 Desinfecção com radiação ultravioleta

As concentrações médias iniciais verificadas no esgoto bruto para os microrganismos *E. coli*, CT, *C. perfringens* e colifagos foram, respectivamente, 1,4x10⁶ UFC/100 mL; 5,7x10⁶ UFC/100 mL; > 1,6x10⁴ NMP/100 mL e 1,1x10³ UFP/100 mL, no ensaio 1, onde em paralelo ocorreram ensaios de desinfecção com APA e APA/UV.

Para o ensaio 2, as densidades iniciais de *E. coli*, CT, *C. perfringens* e colifagos apresentaram os valores médios, respectivamente, 1,5x10⁶ UFC/100 mL, 4,1x10⁶ UFC/100 mL, > 1,6x10⁴ NMP/100 mL e 2,6x10³ UFP/100 mL.

Primeiramente pode-se notar que o número de microrganismos iniciais presentes no esgoto bruto avaliado, para ambos ensaios realizados, apresentaram condições iniciais muito semelhantes, visto que os ensaios ocorreram em dias diferentes.

Na Figura 9 são apresentados os resultados das inativações médias obtidas na desinfecção com radiação UV no ensaio 1 e ensaio 2, para cada microrganismo indicador, em relação as doses médias efetivas de radiação UV utilizados nos ensaios.

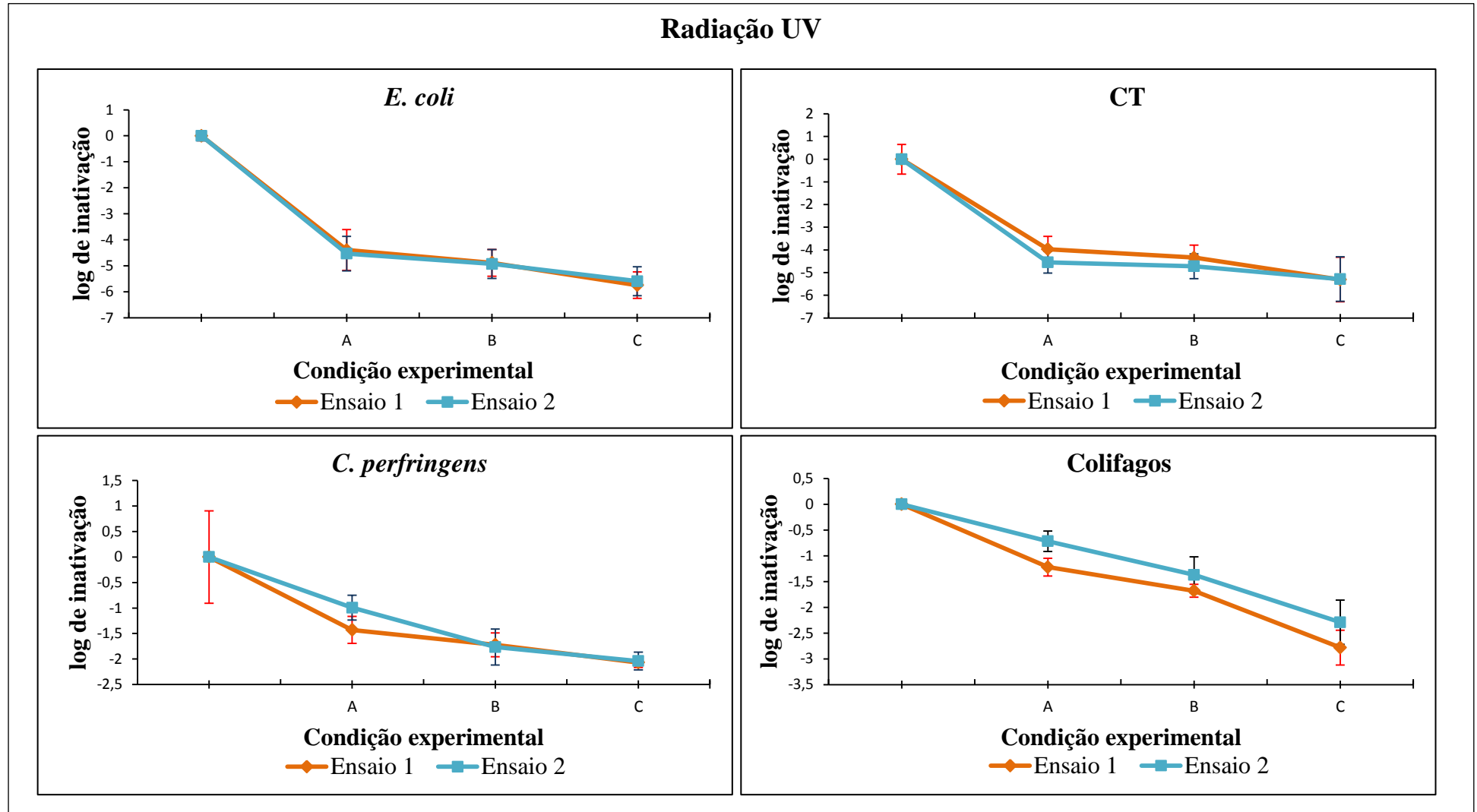


Figura 9 – Inativações médias dos microrganismos indicadores *E. coli*, CT, *C. perfringens* e colifagos, para os ensaios 1 e 2 de desinfecção com radiação UV e suas doses médias efetivas de radiação UV. **Ensaio 1:** * condição A: t (15 s) = 62,02 mWs/cm²; * condição B: t (30 s) = 123,99 mWs/cm² e * condição C: t (50 s) = 206,65 mWs/cm². **Ensaio 2:** * condição A: t (15 s) = 30,62 mWs/cm²; * condição B: t (30 s) = 60,77 mWs/cm² e * condição C: t (50 s) = 101,28 mWs/cm².

Em relação aos dois ensaios de desinfecção com radiação UV (Ensaio 1 e 2), de um modo geral, notaram-se significativas eficiências de inativação, atingindo-se valores médios para *E. coli* e CT, respectivamente, de 5,74 e 5,31 log para a dose de 206,65 mWs/cm² no ensaio 1 e 5,15 e 5,23 log para a dose de 101,28 mWs/cm² no ensaio 2.

Para colifagos e *C. perfringens* para as diferentes dosagens utilizadas nos dois ensaios, foram verificadas inativações semelhantes sendo respectivamente, de 2,78 e 2,07 log para a dose de 206,65 mWs/cm² e 2,74 e 2,07 log para a dose de 101,28 mWs/cm².

Avaliando-se os dados representados na Figura 9 para *E. coli* e CT, os resultados demonstraram que as eficiências de reduções para a desinfecção UV já no primeiro tempo de contato (15 s), foram respectivamente de 71,38% e 58,75% para o ensaio 1 e 77,83% e 57,94% para o ensaio 2. As reduções obtidas para estes microrganismos foram em média, de 93,33% e 78,64%, respectivamente.

Porém, o mesmo não ocorreu com *C. perfringens* e colifagos. Para colifagos a inativação no tempo de contato inicial (15 s) em ambos os ensaios atingiu remoção média de 33%, decorridos 30 s ocorreu um pequeno aumento (em torno de 20%), somente no último tempo de contato aplicado conseguiu-se atingir porcentagens médias de 80% a 90% de inativação deste microrganismo.

Estas observações indicam maior resistência do indicador de vírus à desinfecção com radiação UV, quando comparada às bactérias *E. coli* e CT, indicando a necessidade de doses médias de radiação maiores para obtenção de resultados mais efetivos.

A bactéria *C. perfringens* foi o microrganismo que apresentou maior resistência à desinfecção UV nas dosagens aplicadas. Pelos resultados obtidos observaram-se reduções para este microrganismo inferiores a 50%, para ambos os ensaios.

Com doses médias de radiação UV de 101,28 e 206,65 mWs/cm², as taxas de reduções para *C. perfringens* se mantiveram em torno de 2 log de inativação.

Guimarães e Barretto (2003) em seus estudos obtiveram reduções semelhantes, porém, com dose maior de radiação UV de 1.743,44 mWs/cm², para densidade inicial de *C. perfringens* de $1,6 \times 10^3$ NMP/100 mL inoculados em água sintética, com turbidez de 2,8 uT.

As Figuras 10 e 11 apresentam os percentuais médios de decaimento, obtidos na desinfecção com radiação UV no ensaio 1 e 2, para cada microrganismo indicador, em relação aos tempos de exposição de 15, 30 e 50 segundos.

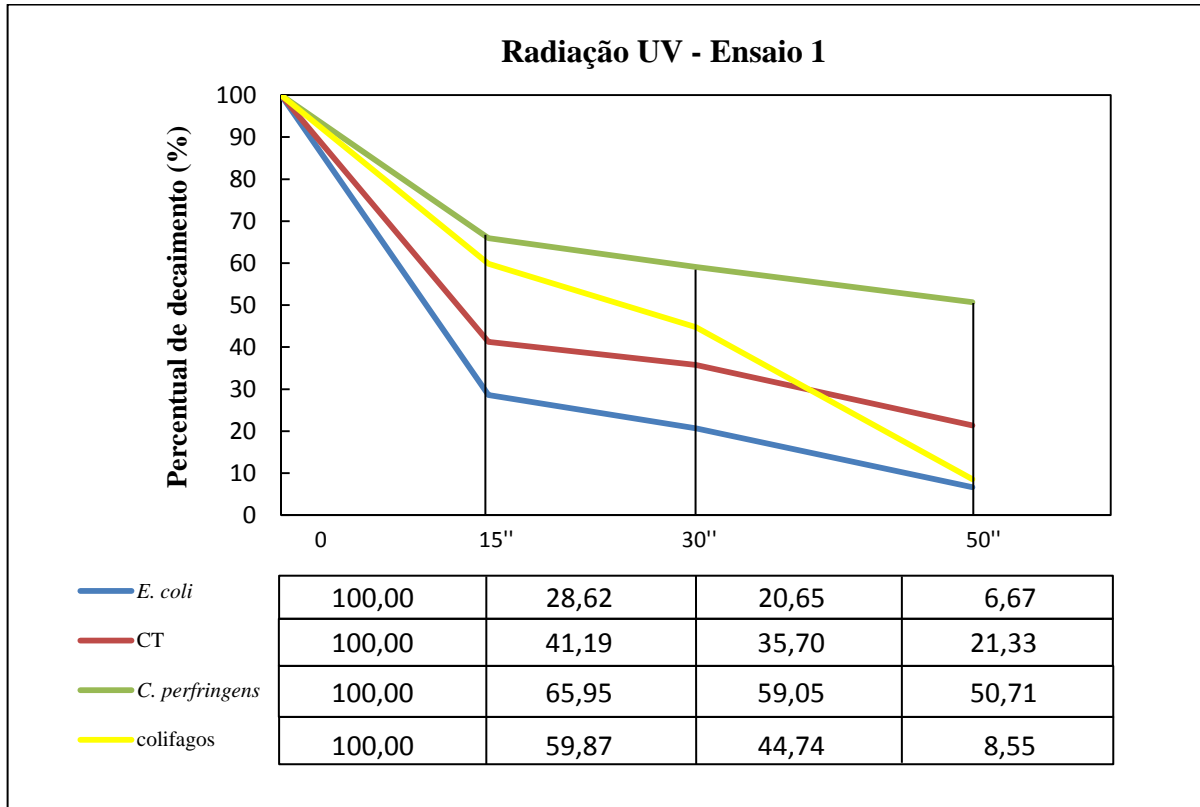


Figura 10 – Percentual de decaimento para os microrganismos indicadores: *E. coli*, CT, *C. perfringens* e colifagos após os ensaios de desinfecção com radiação UV (Ensaio 1) utilizando tempos de exposição de 15, 30 e 50 segundos. Nos ensaios de UV as doses médias de radiação UV foram: t (15 s) = 62,02 mWs/cm²; t (30 s) = 123,99 mWs/cm² e t (50 s) = 206,65 mWs/cm².

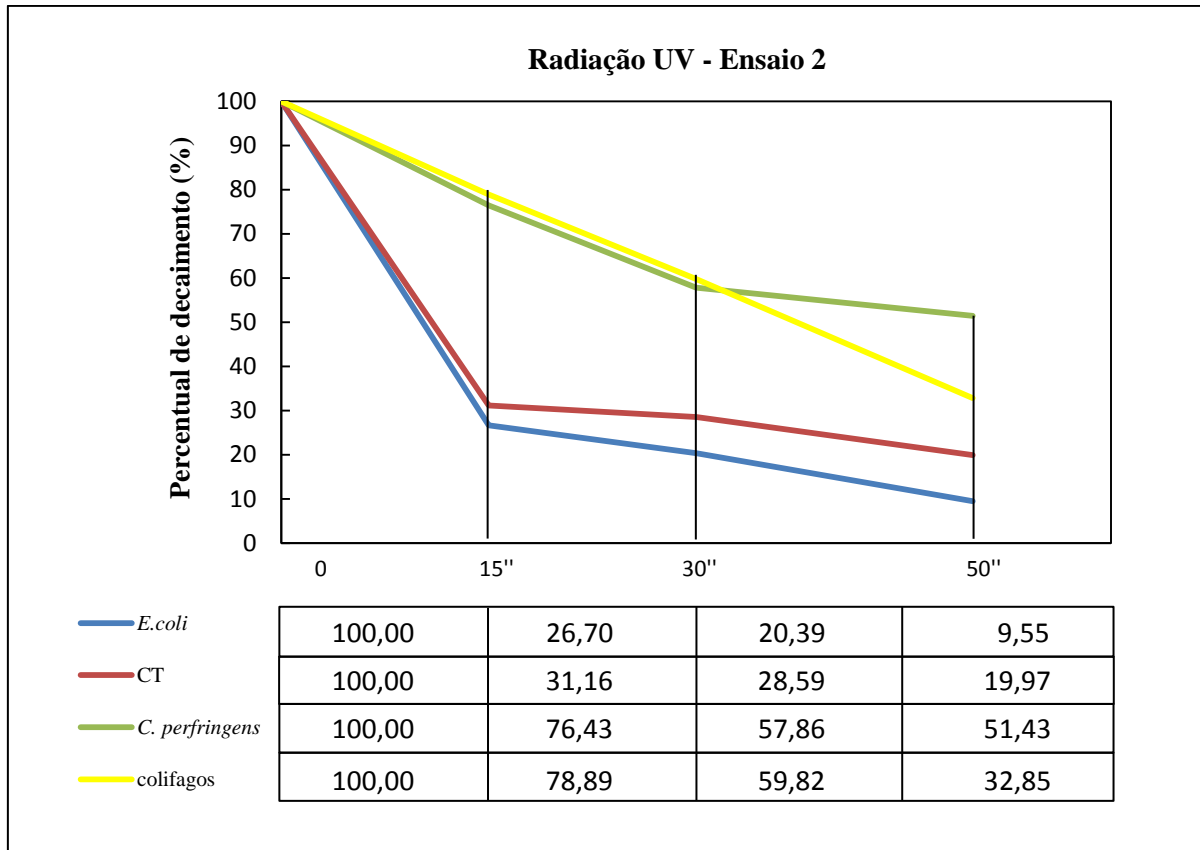


Figura 111– Percentual de decaimento dos microrganismos indicadores: *E. coli*, CT, *C. perfringens* e colifagos após os ensaios de desinfecção com radiação UV (Ensaio 2) utilizando tempos de exposição de 15, 30 e 50 segundos. Nos ensaios de UV as doses médias de radiação UV foram: $t(15\text{ s}) = 30,62\text{ mWs/cm}^2$; $t(30\text{ s}) = 60,77\text{ mWs/cm}^2$ e $t(50\text{ s}) = 101,28\text{ mWs/cm}^2$.

A partir das Figuras 10 e 11 verifica-se que:

a) *E. coli*: em média, apresentou boa eficiência de inativação, visto que a densidade inicial de *E. coli* foi reduzida de 4,39 a 5,74 log de inativação para o ensaio 1 e 4,81 a 5,15 log de inativação para o ensaio 2.

Ambos os resultados apresentaram-se similares, mesmo com doses médias efetivas diferentes, no primeiro tempo de contato 15" ($62,02\text{ mWs.cm}^2$) ocorreu um decaimento significativo, com inativação de 71,38% para o ensaio 1 e 73,30% para o ensaio 2, após o período de 30" e com aumento da dose de radiação UV, notou-se um período de estagnação no processo de desinfecção, com um pequeno aumento da inativação, 79,35% e 79,61% para os ensaios 1 e 2, respectivamente. Este comportamento foi observado para ambos os ensaios.

Considerando os resultados obtidos, pode-se dizer que a radiação UV requer tempos de reação bem menores para inativar este tipo de microrganismo.

b) CT: os resultados de inativação para este microrganismo apresentaram-se próximos aos encontrados para a bactéria *E. coli*, pode-se dizer que por pertencerem ao mesmo grupo

indicador de bactérias possuem características, comportamentos e resistências similares. CT foi reduzida de 3,97 a 5,31 log de inativação para o ensaio 1 e 4,55 a 5,29 log de inativação para o ensaio 2. O percentual de inativação observado para este microrganismo variou gradativamente em média de 60% a 80% para as doses de radiação UV aplicadas (ensaio 1 e 2).

c) *C. perfringens*: as maiores eficiências de inativação para *C. perfringens*, em torno de 2 log, está compreendida entre as doses médias efetivas de 123,99 a 206,65 mWs.cm² no ensaio 1 e 101, 28 mWs.cm² para o ensaio 2. Considerando a densidade inicial deste microrganismo, pode-se verificar que não conseguiu alcançar inativação acima de 50% de sua densidade inicial, 4,20 log. Estas observações evidenciam a resistência que as bactérias esporuladas apresentam, demonstrando a necessidade de um tempo de reação com UV muito maiores.

d) colifagos: as maiores inativações aconteceram quando aplicadas maiores doses de radiação UV. No ensaio 1 atingiu-se a máxima de 2,78 log de inativação e no ensaio 2 foi de 2,29 log de inativação. Considerando a densidade inicial de 3,04 e 3,41 log para colifagos, a taxa média de inativação esteve próxima de 80%.

5.2.2 Desinfecção com ácido peracético

Os resultados das inativações para *E. coli*, CT, *C. perfringens* e colifagos, para o ensaio de desinfecção com ácido peracético nas concentrações de 2 e 3 mg/L de APA, são apresentados na Figura 12 para os tempos de contato de 10 minutos e 20 minutos.

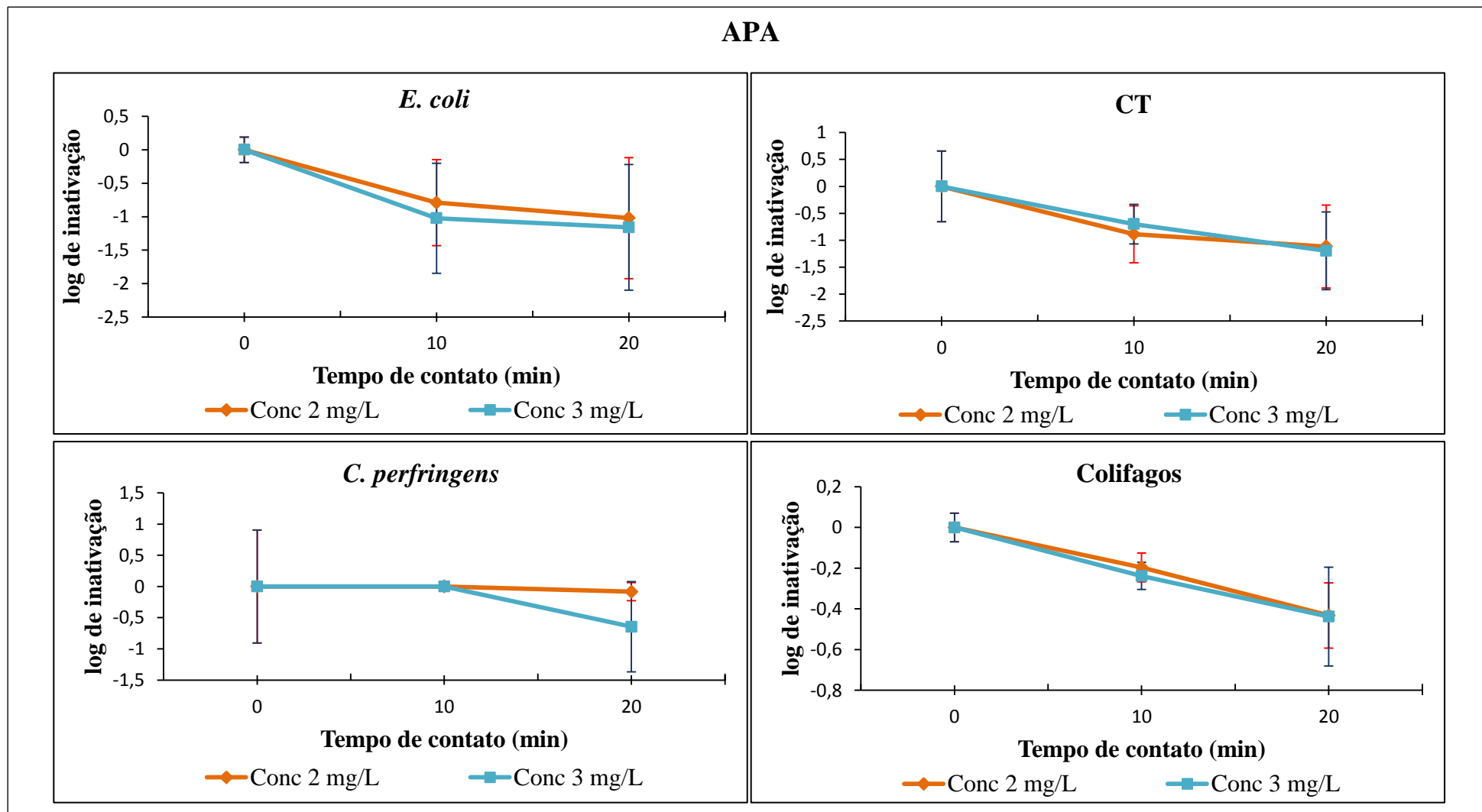


Figura 12 – Inativações médias dos microrganismos indicadores *E. coli*, CT, *C. perfringens* e colifagos, para as concentrações de APA de 2 e 3 mg/L e tempos de contato de 10 e 20 minutos.

De acordo com os dados apresentados na Figura 12, os resultados demonstraram que quando aplicada uma concentração de 2 mg/L a redução total para os ensaios foi em média de 0,8 log para *E. coli* e, de 0,9 log para CT.

Souza et al. (2014) em seus ensaios com esgoto sanitário, para a mesma concentração de APA (2 mg/L) obtiveram inativação de 1,7 log para *E. coli*.

Quando a concentração foi aumentada para 3 mg/L, e mantendo-se o mesmo tempo, o valor máximo de inativação atingido para estas bactérias respectivamente foi de 1,02 log e 1,12 log.

Para as densidades médias iniciais de *E. coli* e CT ($1,1 \times 10^6$ e $3,7 \times 10^6$ UFC/100mL), presentes no esgoto tratado em análise, o resultado foi considerado irrisório, visto que para ambos microrganismos, a remoção alcançada foi de aproximadamente 17%.

Para o microrganismo indicador colifagos o aumento da concentração de 2 para 3 mg/L não promoveu aumento significativo na eficiência de inativação, permanecendo com a mesma remoção nas duas concentrações de APA aplicadas (0,2 log).

Quanto aos resultados para *C. perfringens* é possível notar na Figura 12, que a desinfecção com APA não promoveu a redução desta bactéria em nenhuma das condições analisadas.

Com o aumento do tempo de contato para 20 minutos, nas mesmas dosagens de APA aplicado, não foi constatado nenhum aumento significativo nas inativações dos microrganismos analisados, sendo verificadas médias de aproximadamente 1 log de inativação para CT e *E. coli*, 0,4 log para colifagos e 0,6 log para *C. perfringens*.

Autores como LAZAROVA et al. (1998); CARRETTI e LUBELLO (2003) utilizaram dosagens de APA superiores a 100 mg.min/L, obtendo inativações que variaram de 3 a 4 log para *E. coli*.

Para *C. perfringens* (Fig.12), o valor máximo de inativação alcançado foi de 0,6 log. Este valor encontra-se dentro de uma faixa média de inativação de 0,14 e 0,96 log, observada por SARTORI (2004) que utilizou concentrações de APA de 5, 10 e 15 mg/L, e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos.

De uma forma geral, diante dos resultados na Figura 12 pode-se dizer que *E. coli* e CT, mesmo atingindo-se valores mais baixos de inativação para esses microrganismos, foram considerados menos resistentes à ação do APA, seguidos pelos colifagos e *C. perfringens*.

LIBERTI e NOTARNICOLA (1999) apresentaram como escala de resistência dos microrganismos ao APA, a sequência: bactéria < vírus < bactéria esporuladas < cistos protozoários, que corroboram com o que foi observado no presente estudo.

As Figuras 13 e 14 apresentam os percentuais médios de decaimento, obtidos na desinfecção com APA, para cada microrganismo indicador, em relação ao tempo de contato e concentrações de APA utilizados nos ensaios.

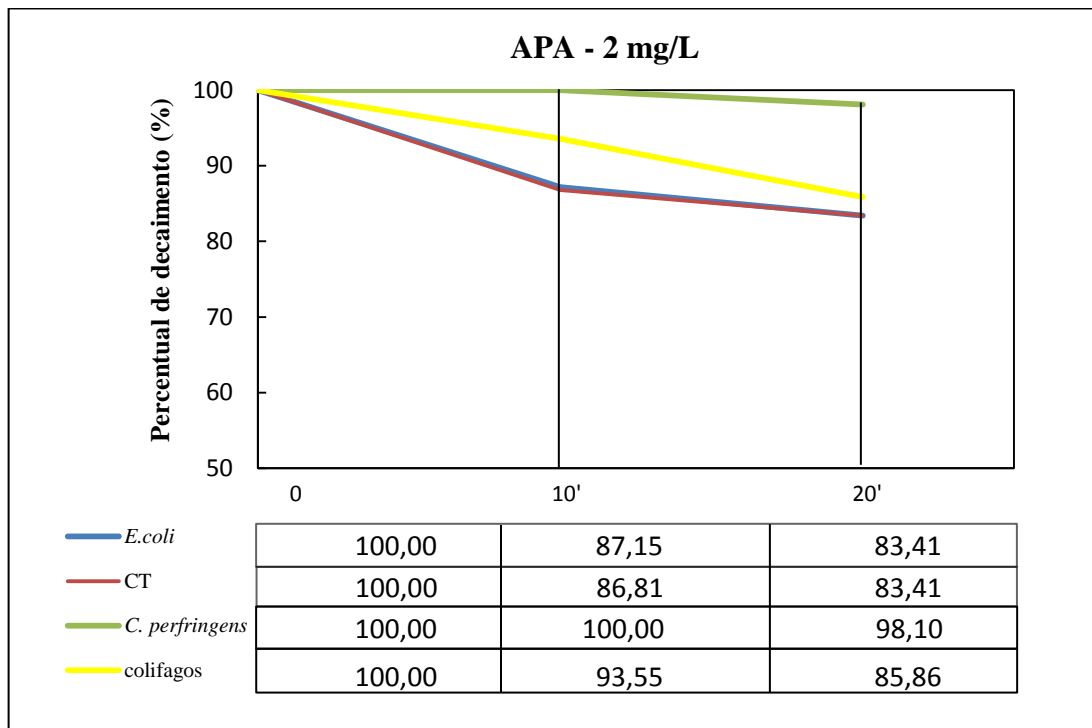


Figura 13 – Percentual de decaimento dos microrganismos indicadores: *E. coli*, CT, *C. perfringens* e colifagos após a desinfecção com APA, para a concentração de 2 mg/L e tempos de contato de 10 e 20 minutos.

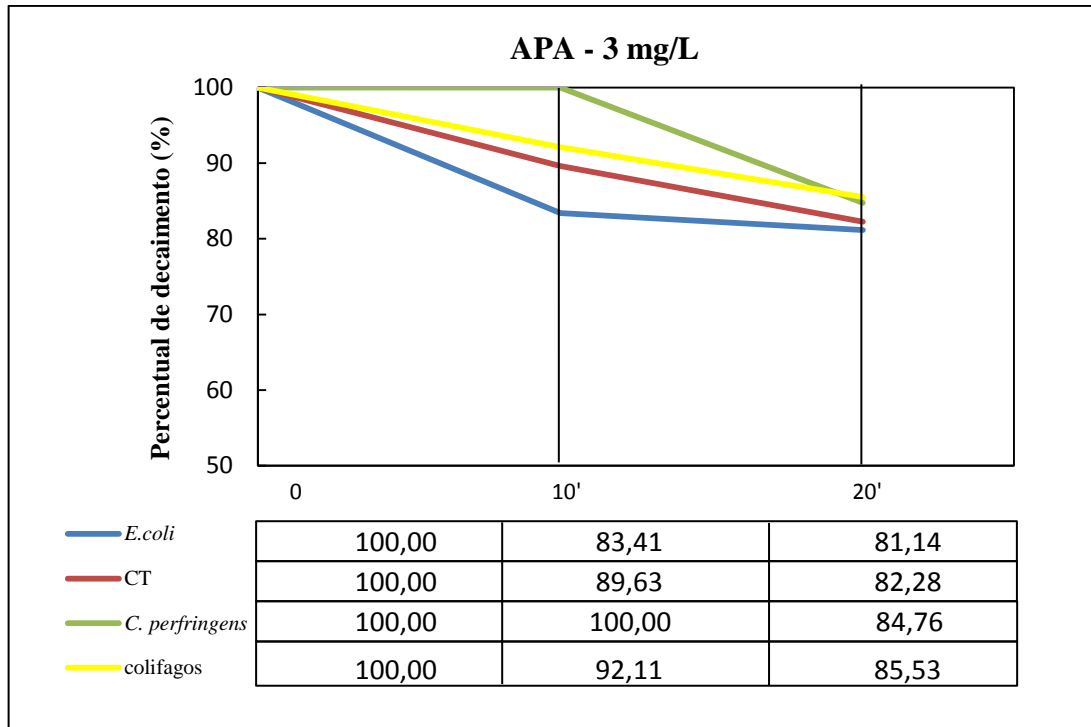


Figura 14 – Percentual de decaimento dos microrganismos indicadores: *E. coli*, CT, *C. perfringens* e colifagos após a desinfecção com APA, para a concentração de 3 mg/L e tempos de contato de 10 e 20 minutos.

A partir da Figura 13 e 14 verifica-se que:

a) *E. coli*: de maneira geral observou-se que as inativações foram muito pequenas para as dosagens e tempo de contato aplicados, atingiu-se inativações em torno de 0,79 log para APA 2 mg/L e 1,02 log para APA 3 mg/L. Considerando estes resultados pode-se dizer o tempo de contato não foi tão significativo, podendo se atribuir esse pequeno acréscimo na inativação ao aumento de APA no ensaio de desinfecção.

b) CT: assim como para *E. coli*, os resultados de inativação observados foram semelhantes, atingiu-se inativações em torno de 0,89 log para a dosagem consumida de APA 2 mg/L e 0,70 log para APA 3 mg/L. Neste caso, mesmo aumentando-se os tempos de contato não houve nenhum acréscimo, pelo contrário, para APA de 3 mg/L a inativação foi ainda menor.

c) *C. perfringens*: para este microrganismo nos dois tempos de contato para APA de 2 mg/L, não houve inativação. Quando aumentado a dosagem de APA para 3 mg/L no t = 20 min, houve uma inativação máxima de 0,6 log. Diante dos resultados pouco eficientes observados para *E. coli*, CT e colifagos, microrganismos indicadores mais sensíveis a radiação UV, tal acontecimento já era esperado.

d) colifagos: as inativações observadas para colifagos foram muito pequenas e pouco efetivas, em média de 0,2 a 0,4 log de inativação para as dosagens de 2 e 3 mg/L de APA.

Todos os microrganismos testados na desinfecção com APA foram considerados resistentes ao desinfetante para as concentrações e tempo empregados. Os percentuais de inativação verificados nas Figuras 13 e 14 para as espécies testadas, não ultrapassaram 20% de inativação para *E. coli* e CT, e 15% de inativação para *C. perfringens* e colifagos.

5.2.3 Ensaio de desinfecção com peróxido de hidrogênio

Na Figura 15 são apresentados os resultados obtidos para a desinfecção com peróxido de hidrogênio (H_2O_2), para as mesmas condições de ensaio em batelada utilizadas na desinfecção com APA, tempos de contato de 10 e 20 minutos respectivamente, concentração de 2 e 3 mg/L de peróxido de hidrogênio, e os mesmos microrganismos indicadores de eficiência do processo.

Porém, as densidades médias iniciais dos microrganismos que foram utilizadas para este ensaio, diferiram das densidades iniciais para os ensaios com APA, considerando que os ensaios ocorreram em dias diferentes.

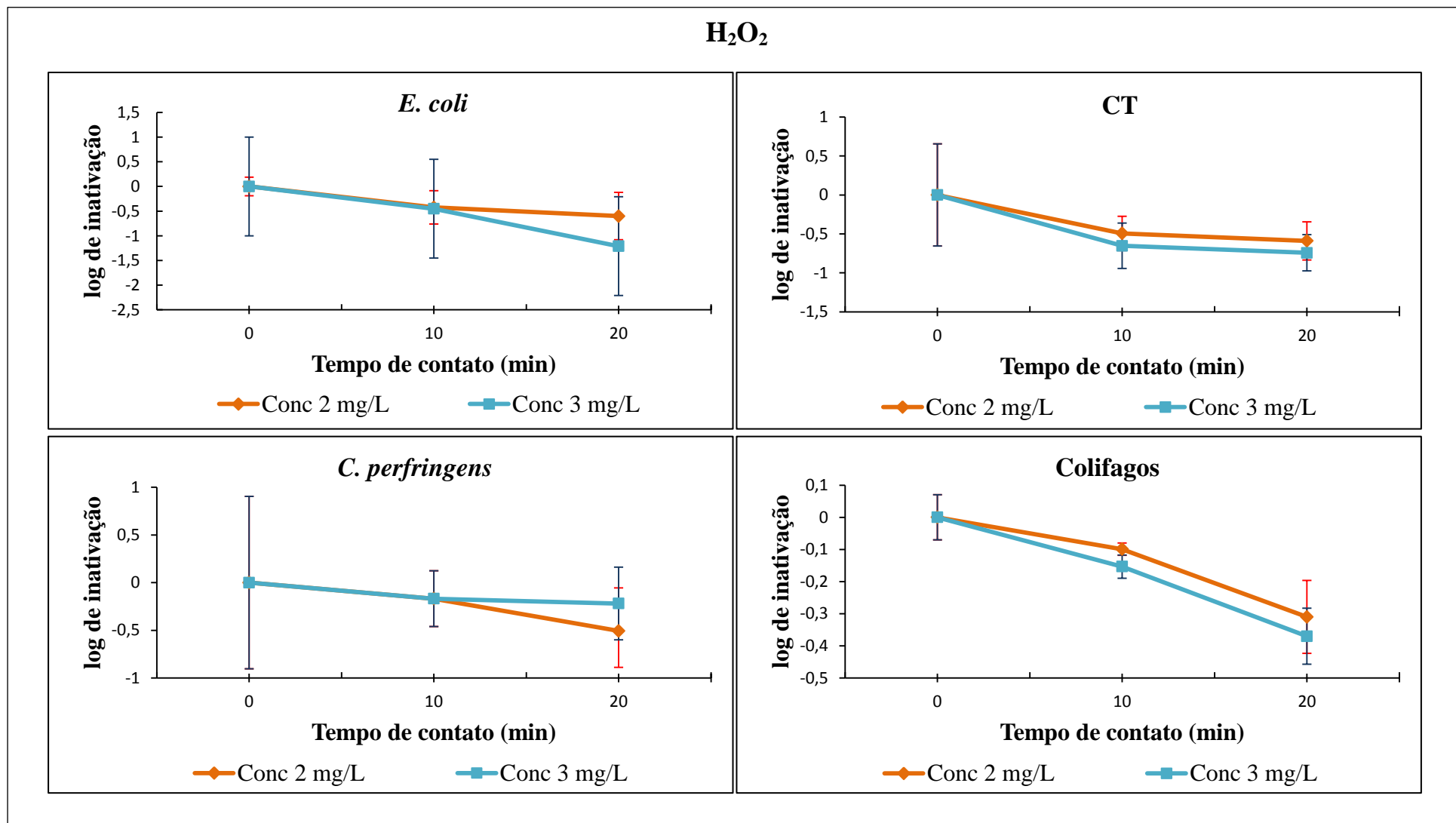


Figura 15 – Inativações médias dos microrganismos indicadores *E. coli*, CT, *C. perfringens* e colifagos, para as concentrações de H₂O₂ de 2 e 3 mg/L e tempos de contato de 10 e 20 minutos.

As densidades iniciais de *E. coli*, CT, *C. perfringens* e colifagos foram, respectivamente, $1,5 \times 10^6$ UFC/100 mL, $4,1 \times 10^6$ UFC/100 mL, $> 1,6 \times 10^4$ NMP/100 mL e $2,6 \times 10^3$ UFP/100 mL.

Os dados obtidos neste ensaio de peroxidação para as condições experimentais realizadas, conforme Figura 15 pode-se observar que a inativação de 1 log, não foi atingida por nenhum dos microrganismos indicadores, indicando ineficiência na desinfecção com H_2O_2 , para as condições utilizadas.

Nabizadeh et al. (2013) em estudo recente atingiram a inativação aproximada de 1 log para coliformes termotolerantes, para um consumo de 600 mg/L de H_2O_2 , no tempo de contato de 1 hora. Outros autores também mencionaram em seus trabalhos que concentrações entre 25 a 40 mg/L, no tempo de 1 hora de contato, foram insuficientes para reduzir *E. coli* (LABAS et al., 2008).

Quando aumentou-se o tempo de contato para 20 minutos nas dosagens de 3 mg/L (Figura 15), chegou-se a atingir 1,2 log de inativação de *E. coli*, seguida de CT que teve um aumento de 0,1 log (de 0,6 log para 0,7 log). Colifagos e *C. perfringens* atingiram reduções médias variando de 0,1 a 0,4 log aproximadamente, seguindo um padrão já esperado, já que para microrganismos menos resistentes como *E. coli* e CT, as inativações não foram tão efetivas.

Ksibi (2006) destaca que o poder de desinfecção do peróxido ocorre pela capacidade deste oxidar componentes intracelulares dos microrganismos. O autor também relata possíveis interferências para baixas inativações de microrganismos, como a existência de poluentes que podem ser oxidados pelo H_2O_2 , ou mesmo a presença de SST que promovem a resistência microbiana durante a desinfecção.

Assim como verificado na desinfecção com APA, são necessários estudos que relacionem concentrações adequadas, tempo de contato para desinfecção com peróxido de hidrogênio, e controle das características físico-químicas do efluente para um maior aproveitamento do processo de oxidação.

As Figuras 16 e 17 apresentam os percentuais médios de decaimento, obtidos na desinfecção com H_2O_2 , para cada microrganismo indicador, em relação ao tempo de contato e concentrações de H_2O_2 utilizados nos ensaios.

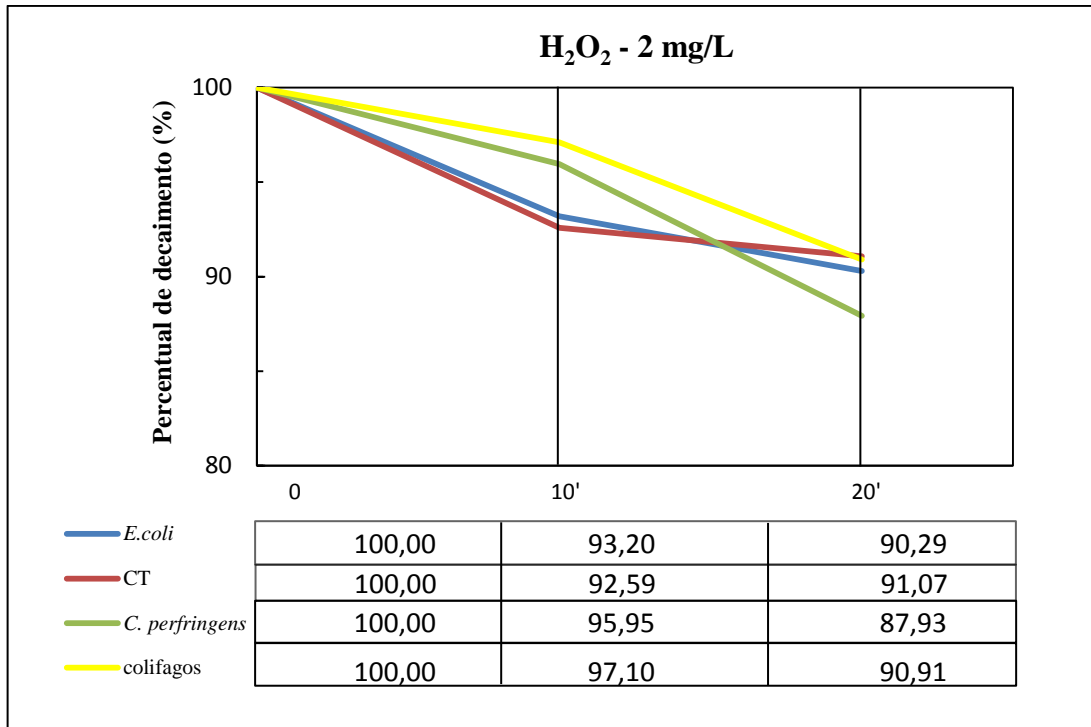


Figura 16 – Percentual de decaimento dos microrganismos indicadores: *E. coli*, CT, *C. perfringens* e colifagos após a desinfecção com H₂O₂, para a concentração de 2 mg/L e tempos de contato de 10 e 20 minutos.

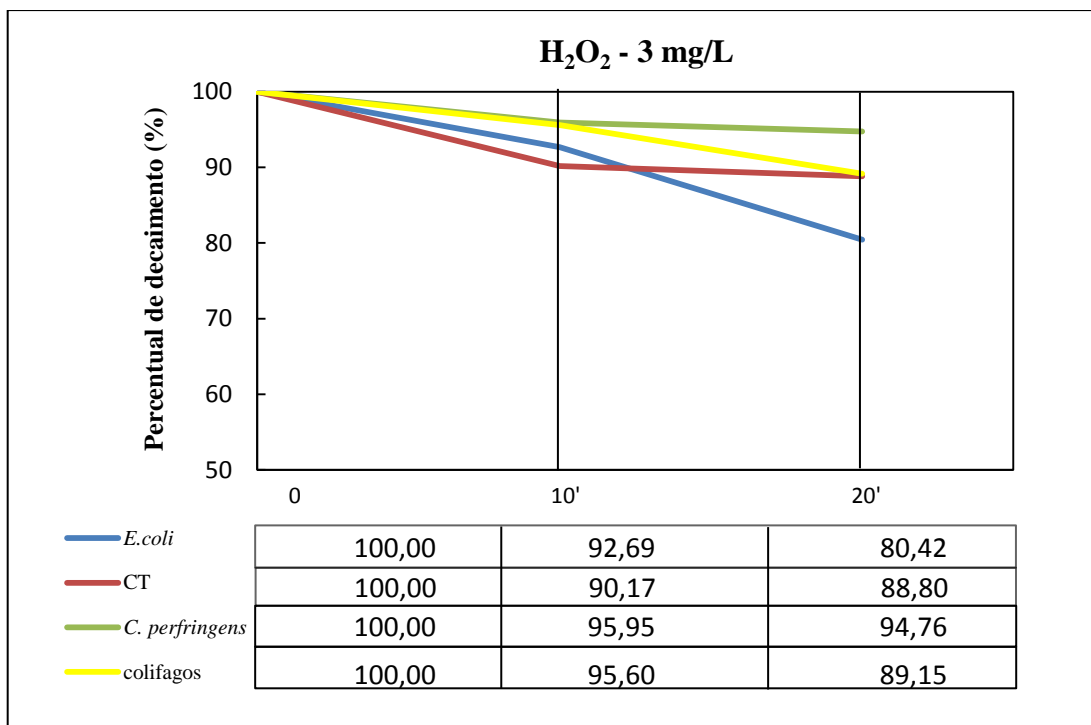


Figura 17 – Percentual de decaimento dos microrganismos indicadores: *E. coli*, CT, *C. perfringens* e colifagos após a desinfecção com H₂O₂, para a concentração de 3 mg/L e tempos de contato de 10 e 20 minutos.

A partir da Figura 16 e 17 verifica-se que:

a) *E. coli*: assim como para os ensaios de APA para as mesmas condições experimentadas, tempos e dosagens de H₂O₂, atingiram inativações médias muito pequenas, em torno de 0,5 log de inativação nas dosagens de 2 mg/L de H₂O₂ e 1,2 log de inativação na dosagem de 3 mg/L de H₂O₂.

b) CT: as inativações seguiram a mesma tendência observada para *E. coli* com reduções médias em torno de 0,5 log de inativação nas dosagens de 2 mg/L de H₂O₂ e 0,6 log de inativação na dosagem de 3 mg/L de H₂O₂, as condições máximas atingidas foram alcançadas sempre quando aumentava-se o tempo de contato. Neste ensaio as inativações não chegaram a atingir um 1 log de inativação.

c) *C. perfringens*: para este microrganismo indicador foi observado resultados de inativação semelhantes aos obtidos no ensaio de APA, ou seja, não houve inativação para este indicador de bactérias esporuladas. Houve uma exceção, apenas quando aumentou-se o tempo de contato para 20 min na dosagem de 2 mg/L de APA, obtendo-se 0,5 log de inativação, diferente do que ocorreu em outros ensaios que a variável concentração foi determinante para este pequeno acréscimo.

d) colifagos: as inativações observadas para colifagos foram muito pequenas e apresentaram pouca efetividade, foram ainda menores do que as observadas no ensaio de APA, em média de 0,1 log a 0,3 log de inativação para as dosagens de 2 e 3 mg/L de H₂O₂.

Os microrganismos acima analisados após desinfecção com H₂O₂, para as condições experimentais já descritas, apresentaram resistência ao tratamento. Os resultados obtidos não ultrapassaram 20% de inativação para *E. coli*, que é considerada a espécie menos resistente dentre os microrganismos testados, seguida de 12% de inativação para CT, colifagos e *C. perfringens*.

5.3 Ensaios de desinfecção com processos oxidativos avançados: APA/UV e H₂O₂/UV

5.3.1 Ensaios de desinfecção com APA/UV

Na Figura 18 são apresentados os resultados de inativações para *E. coli*, CT, *C. perfringens* e colifagos obtidos com o método combinado APA/UV. As concentrações iniciais dos microrganismos presentes no esgoto sanitário são as mesmas apresentadas para os ensaios individuais de UV (ensaio 1) e APA.

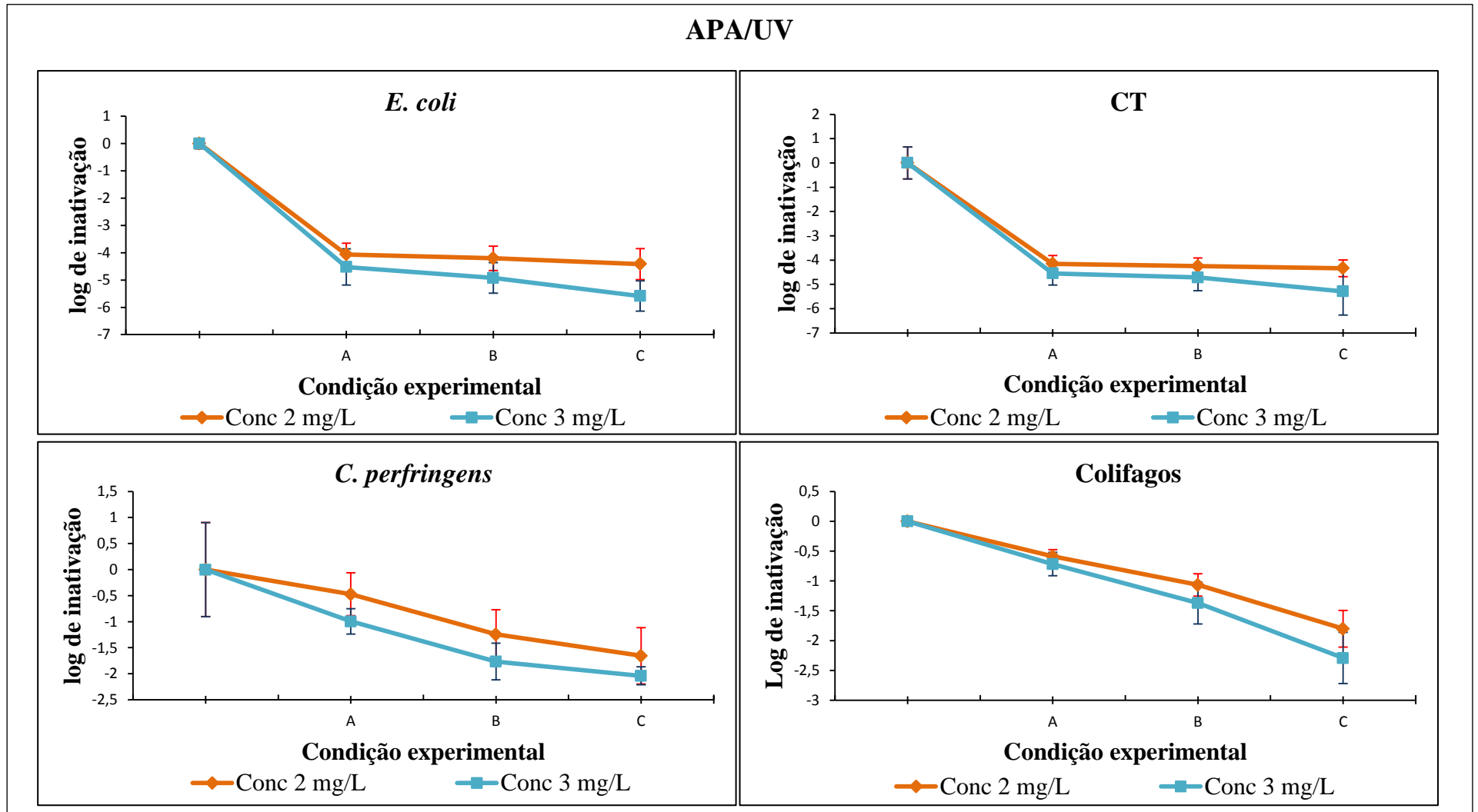


Figura 18 – Inativações médias dos microrganismos indicadores *E. coli*, CT, *C. perfringens* e colifagos, para as condições experimentais A, B e C, que correspondem as dosagens de APA de 2 e 3 mg/L, tempo de contato de 10 min e as doses médias de radiação UV equivalentes aos tempos de exposição. Condição 1A: 2 mg/L, $t = 10 \text{ min} + t (15 \text{ s}) = 62,02 \text{ mWs/cm}^2$ de UV; Condição 1B: 2 mg/L, $t = 10 \text{ min} + t (30 \text{ s}) = 123,99 \text{ mWs/cm}^2$ de UV; Condição 1C: 2 mg/L, $t = 10 \text{ min} + t (50 \text{ s}) = 206,65 \text{ mWs/cm}^2$. Condição 2A: 3 mg/L, $t = 10 \text{ min} + t (15 \text{ s}) = 62,02 \text{ mWs/cm}^2$ de UV; Condição 2B: 3 mg/L, $t = 10 \text{ min} + t (30 \text{ s}) = 123,99 \text{ mWs/cm}^2$ de UV; Condição 2C: 3 mg/L, $t = 10 \text{ min} + t (50 \text{ s}) = 206,65 \text{ mWs/cm}^2$.

Para *E. coli* obtiveram-se inativações médias de 4,42 e 5,60 log para as concentrações de 2 e 3 mg/L de APA, respectivamente, para as mesmas dosagens médias de UV (206,65 mWs/cm²). Em um dos ensaios realizados foi possível observar a inativação total para *E. coli*, com redução de 6,1 log para a condição operacional de 3 mg/L APA/206,65 mWs/cm², alcançando-se 100% de eficiência na inativação deste microrganismo.

Nos tempos iniciais para as dosagens menores de 62,02 e 123,99 mWs/cm², as reduções por desinfecção com POA mantiveram-se na faixa de 4,06 a 4,92 log de remoção.

Souza et al. (2014) relataram a inativação de 4,5 log para *E. coli*, atingindo 100% de inativação deste microrganismo, em condições operacionais próximas às realizadas nesta pesquisa.

O APA/UV promoveu a redução de até 5,3 log de CT para a dosagem 3 mg/L de APA e dose média de 206,65 mWs/cm², para esta condição apresentada em um dos ensaios também obteve-se 100% de inativação para CT, ocorrendo redução total de 6,4 log. Para as dosagens menores, a taxa de inativação variou de 4,15 até 4,72 log.

Tang e Chen (2004), para dosagens de 2 a 4 mg/L de APA e doses médias de UV de 10 a 20 mJ/cm², alcançaram inativações de 4 a 5 log para efluente primário tratado. Resultados próximos aos apresentados acima, também foram descritos por Caretti e Lubello (2003), utilizando efluente secundário filtrado, em que os autores obtiveram a inativação de até 6 log de CT para dosagens de APA variando de 0 a 8 mg/L para doses de UV de 0 a 300 mJ/cm².

Já para colifagos ocorreu à redução de até 2,29 log para a dose de 3 mg/L/206,65 mWs/cm² de APA/UV, uma redução total de 75,3 % para este microrganismo indicador. Porém, para as dosagens menores de UV, a redução total atingida ficou em torno de 1 log, independente da concentração de APA aplicado.

Em se tratando do microrganismo mais resistente, *C. perfringens*, foi obtida inativação de até 2 log quando aplicou-se a dosagem e concentração máxima de APA/UV (3 mg/L de APA e dose média de UV de 206,65 mWs/cm²). Já para os tempos e dosagens inferiores sua redução ficou em torno de 0,5 a 1,0 log de inativação.

As Figuras 19 e 20 apresentam os percentuais médios de decaimento, obtidos no processo combinado de desinfecção com APA/UV, para cada microrganismo indicador, em relação às dosagens de APA/UV utilizadas nas diferentes amostras e condições experimentais.

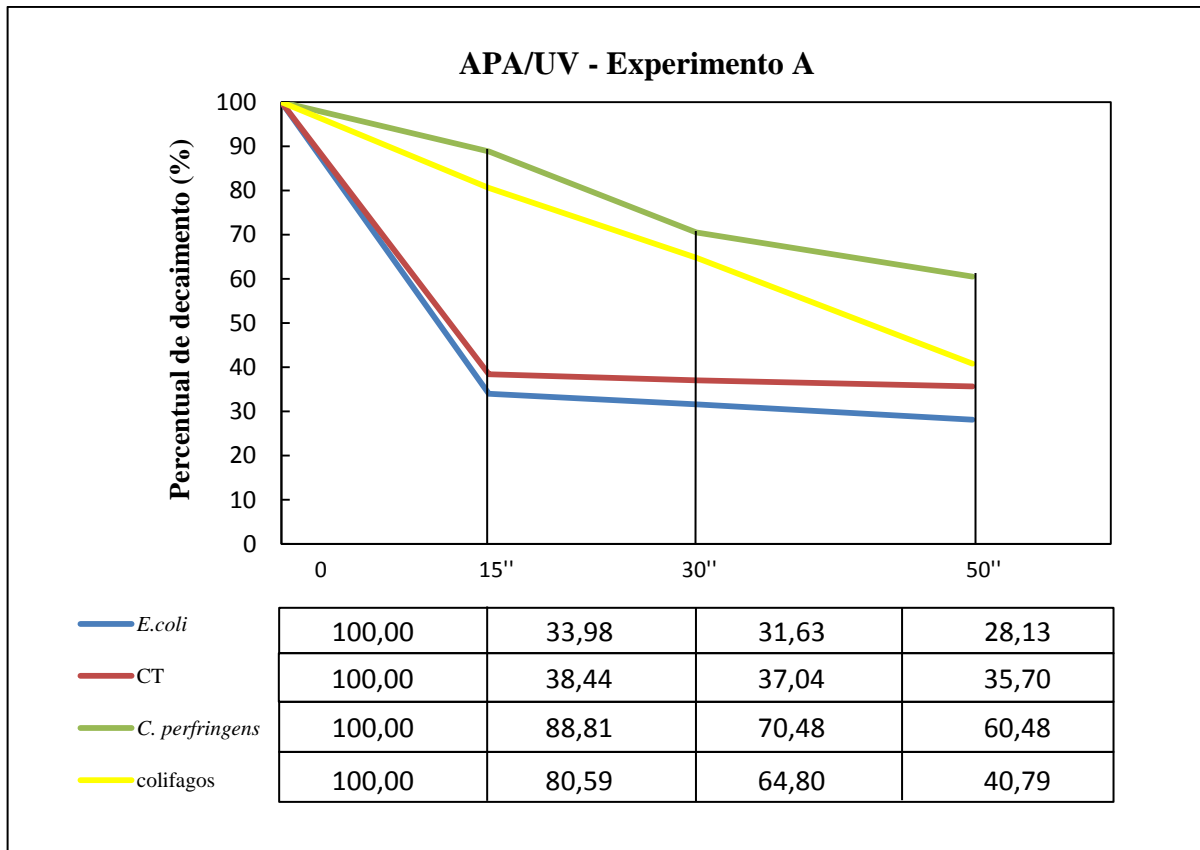


Figura 19– Percentual de decaimento para os microrganismos indicadores: *E. coli*, CT, *C. perfringens* e colifagos após os ensaios de desinfecção com APA/UV (Experimento A) utilizando tempos de exposição de 15, 30 e 50 segundos. As doses médias de radiação UV foram: t (15 s) = 62,02 mWs/cm²; t (30 s) = 123,99 mWs/cm² e t (50 s) = 206,65 mWs/cm². E a dosagem de APA utilizada foi de 2 mg/L no tempo de contato de 10 min.

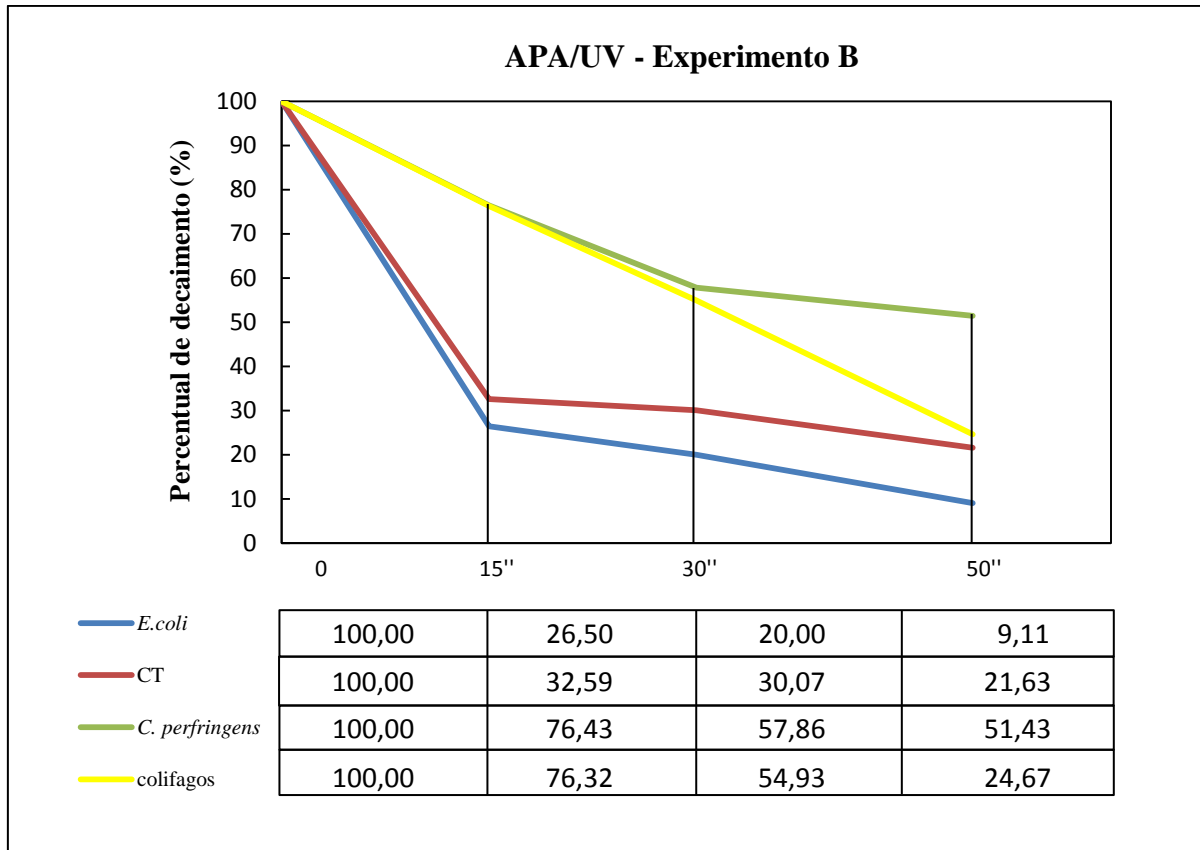


Figura 20 – Percentual de decaimento para os microrganismos indicadores: *E. coli*, CT, *C. perfringens* e colifagos após os ensaios de desinfecção com APA/UV (Experimento B) utilizando tempos de exposição de 15, 30 e 50 segundos. As doses médias de radiação UV foram: t (15 s) = 62,02 mWs/cm²; t (30 s) = 123,99 mWs/cm² e t (50 s) = 206,65 mWs/cm². E a dosagem de APA utilizada foi de 3 mg/L no tempo de contato de 10 min.

A partir das Figuras 19 e 20 verifica-se que:

a) *E. coli* : em média, apresentou boa eficiência de inativação, próxima as obtidas pelo ensaio individual de radiação UV, porém as inativações não foram superiores. *E. coli* foi reduzida em média de 4,06 a 4,42 log de inativação para a dosagem 2 mg/L APA/206,65 mWs/cm² e de 4,52 a 5,59 log de inativação para a dosagem 3 mg/L APA/206,65 mWs/cm². Ambos os resultados demonstraram que quando aumentado à dosagem de APA conseguiu alcançar inativações um pouco melhores. Considerando estas observações, pode-se dizer que o aumento da concentração de APA poderá ser significativa para alcançar resultados de inativação mais efetivos para este método.

b) CT: assim como para *E. coli*, apresentou resultados próximos aos obtidos no ensaio individual com radiação UV, mas não superiores CT foi reduzida em média de 4,15 a 4,34 log de inativação para a dosagem 2 mg/L APA/206,65 mWs/cm² e de 4,55 a 5,29 log de inativação para a dosagem 3 mg/L APA/206,65 mWs/cm².

c) *C. perfringens*: para este microrganismo pode se dizer que os resultados de inativações não apresentaram melhora significativa em relação a desinfecção com radiação UV. Pode-se destacar a inativação de 1,77 log que ocorreu para 3 mg/L APA/123,99 mWs/cm², pois neste caso foi superior as mesmas condições apresentadas pelos métodos individuais, radiação UV e APA.

d) colifagos: os resultados obtidos foram bem inferiores aos alcançados pela radiação UV. Para este microrganismo atingiu-se redução média de 1,80 log de inativação para a dosagem de 2 mg/L APA/206,65 mWs/cm² e 2,29 log de inativação para 2 mg/L APA/206,65 mWs/cm².

5.3.2 Desinfecção com H₂O₂/UV

A Figura 21 apresenta os resultados de inativações para *E. coli*, CT, *C. perfringens* e colifagos obtidos com a desinfecção pelo processo oxidativo avançado H₂O₂/UV. As densidades iniciais dos microrganismos presentes no esgoto sanitário são as mesmas apresentadas para os ensaios individuais de UV (ensaio 2) e H₂O₂.

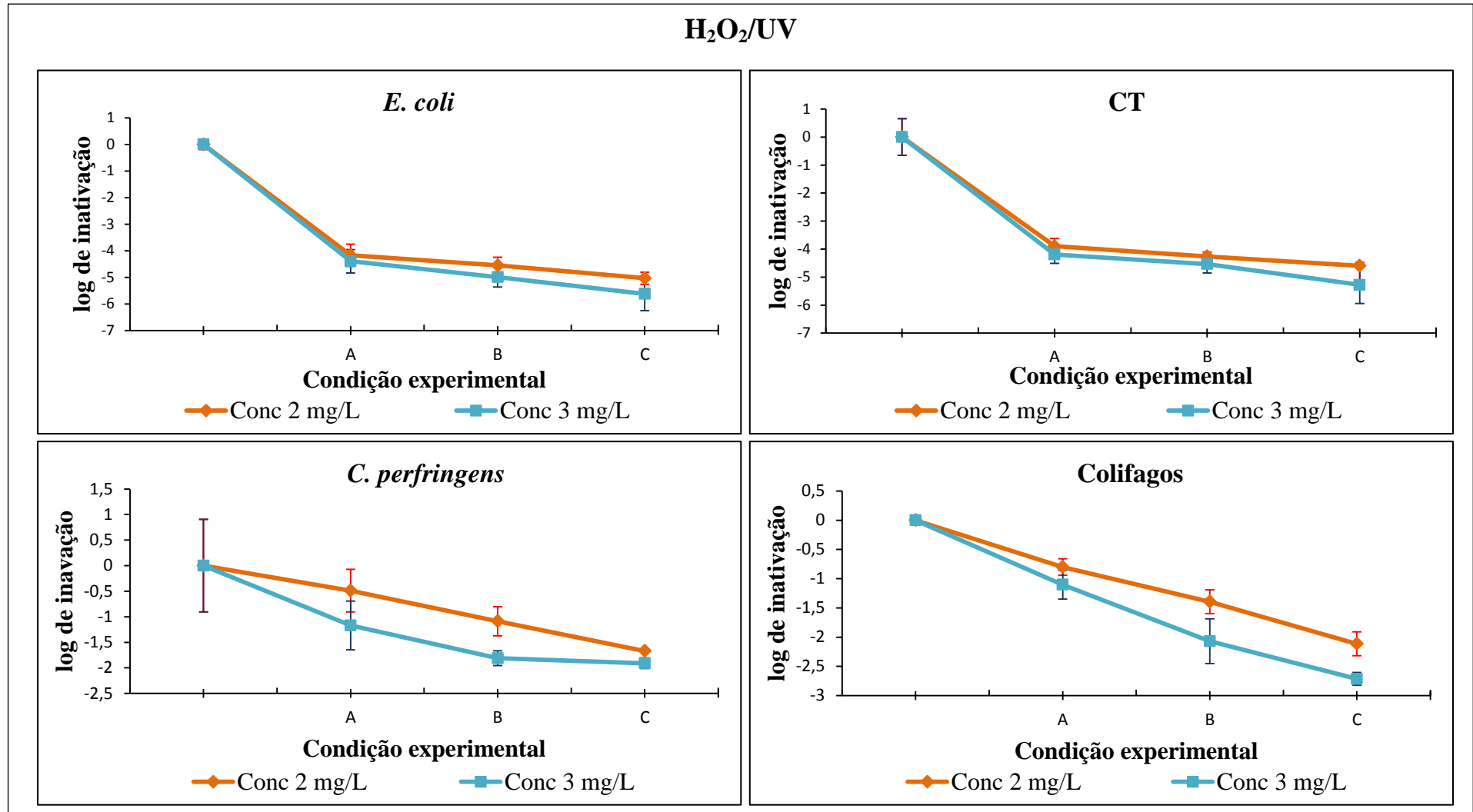


Figura 21 – Inativações médias dos microrganismos indicadores *E. coli*, CT, *C. perfringens* e colifagos, para as condições experimentais A, B e C, que correspondem as dosagens de H₂O₂ de 2 e 3 mg/L, tempo de contato de 10 min e as doses médias de radiação UV equivalentes aos tempos de exposição. Condição 1A: 2 mg/L, t = 10 min + t (15 s) = 30,62 mWs/cm² de UV; Condição 1B: 2 mg/L, t = 10 min + t (30 s) = 60,77 mWs/cm² de UV; Condição 1C: 2 mg/L, t = 10 min + t (50 s) = 101,28 mWs/cm². Condição 2A: 3 mg/L, t = 10 min + t (15 s) = 30,62 mWs/cm² de UV; Condição 2B: 3 mg/L, t = 10 min + t (30 s) = 60,77 mWs/cm² de UV; Condição 2C: 3 mg/L, t = 10 min + t (50 s) = 101,28 mWs/cm².

Inicialmente para as dosagens de H₂O₂ aplicadas de 2 e 3 mg/L e doses médias de UV variando de 30,62 a 60,77 mWs/cm² foram obtidas inativações de 4 a 5 log para a *E. coli*. Quando aumentada a dose de UV de 60,77 para 101,28 mWs/cm² (peróxido de hidrogênio com 3 mg/L) conseguiu em um dos ensaios, atingir a inativação de 6,1 log deste microrganismo, alcançando eficiência de desinfecção de 100 %.

Bhatti et al. (2011) atingiram inativação total para *E. coli* empregando processos oxidativos avançados, utilizando dose de UV de aproximadamente 43.200 mWs/cm² e concentração de 1.400 mg/L de H₂O₂. Estas condições operacionais relatadas pelos autores foram extremamente superiores quando comparadas ao realizado neste estudo.

O mesmo foi observado nos ensaios com APA/UV quando se aumentou a concentração de APA e dose de UV.

Aplicando-se o POA H₂O₂/UV foi possível inativar 100% de CT em um dos ensaios realizados quando aplicado dosagens de 3 mg/L/101,28 mWs/cm² de H₂O₂/UV. Porém, nas dosagens menores as inativações atingidas foram de 3,90 até 4,5 log.

Para colifagos a inativação média alcançada foi de até 2,71 log para doses de 3mg/L/101,28 mWs/cm² de H₂O₂/UV, uma redução média de até 79,5% de eficiência para este microrganismo, sendo que a densidade inicial para este organismo no efluente foi de 3,41 log. Bounty et al. (2012) apontaram em seu trabalho, com dose de 120 mJ/cm² de radiação UV e 10 mg/L de H₂O₂ a inativação de 4 log de adenovírus.

Para os ensaios realizados com a bactéria *C. perfringens* destacou-se novamente como a bactéria mais resistente a inativação, atingindo a redução de até 1,9 log no processo combinado H₂O₂/UV.

A mesma inativação de 1,9 log foi alcançada no trabalho realizado por Agulló-Barceló e colaboradores (2013), em que os autores utilizaram a adição de 20 mg/L de peróxido de hidrogênio, com exposição solar de 5 horas.

Para as dosagens menores utilizadas de UV (30,62 e 60,77 mWs.cm²) nas duas concentrações de H₂O₂ (2 e 3 mg/L) as reduções foram de 0,5 até 1,1 log de inativação para *C. perfringens*. Lanao et al. (2010) atingiram em seu trabalho redução um pouco acima de 1 log, utilizando dose de UV de 90 mWs/cm², 1,76 mg de H₂O₂ e turbidez de 86 uT.

A Figura 22 e 23 apresentam os percentuais médios de decaimento, obtidos na desinfecção com POA para cada microrganismo indicador, em relação às dosagens de H_2O_2/UV utilizadas nas diferentes amostras e condições experimentais.

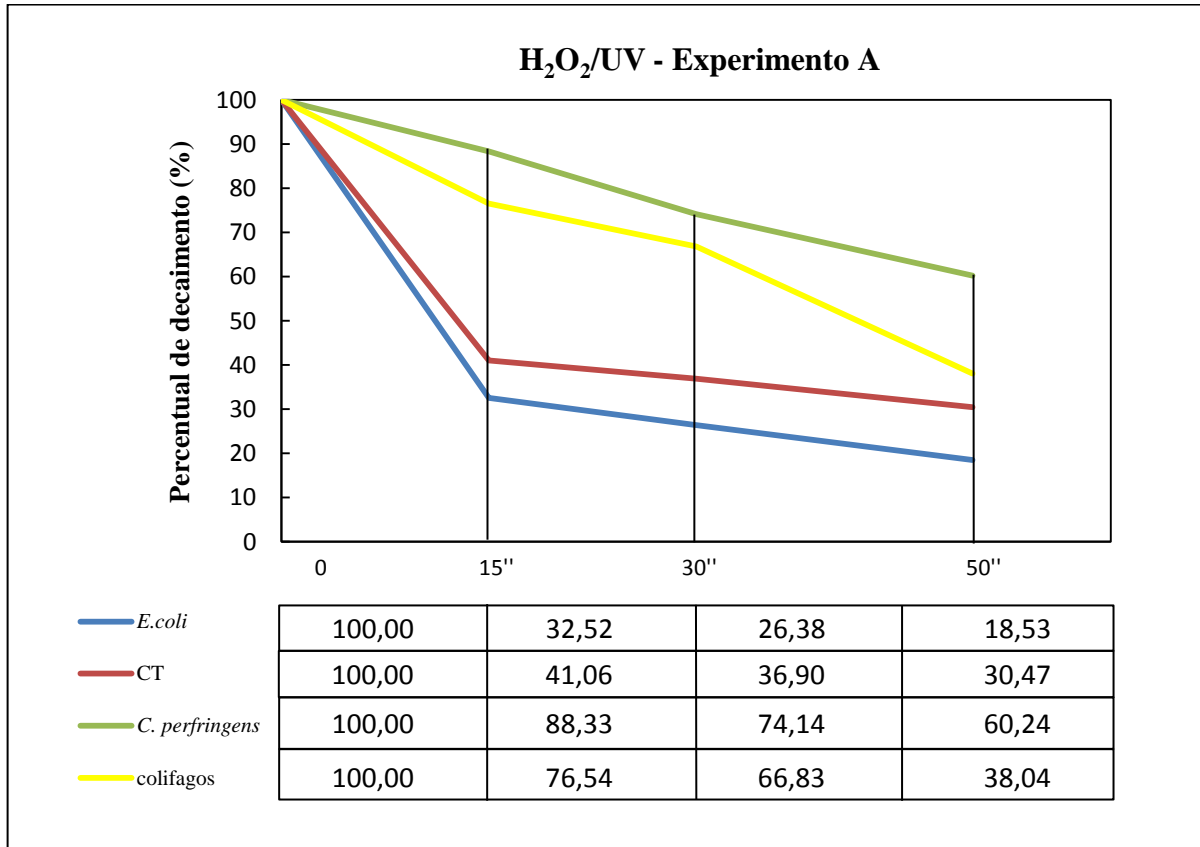


Figura 22 – Percentual de decaimento para os microrganismos indicadores: *E. coli*, CT, *C. perfringens* e colifagos após os ensaios de desinfecção com H_2O_2/UV (Experimento A) utilizando tempos de exposição de 15, 30 e 50 segundos. As doses médias de radiação UV foram: t (15 s) = 30,62 mWs/cm²; t (30 s) = 60,77 mWs/cm² e t (50 s) = 101,28 mWs/cm². E a dosagem de H_2O_2 utilizada foi de 2 mg/L no tempo de contato de 10 min.

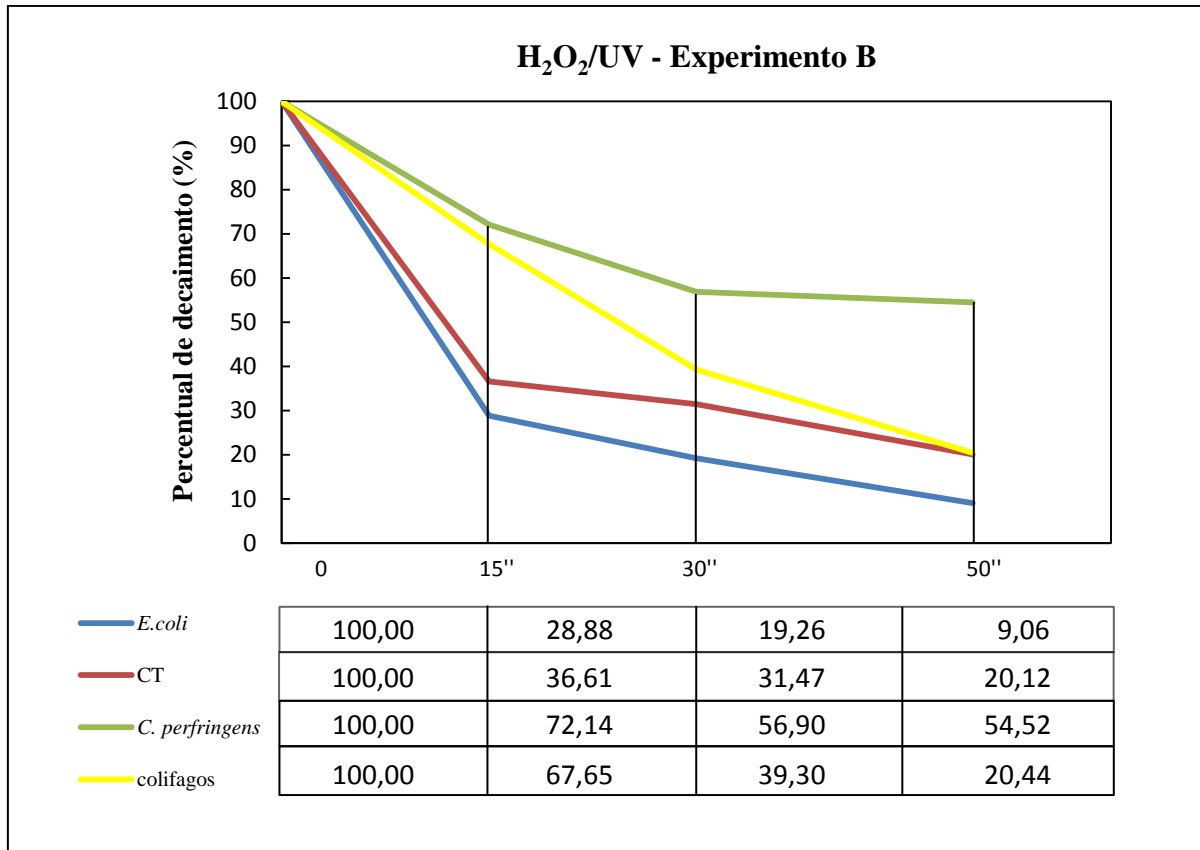


Figura 23 – Percentual de decaimento para os microrganismos indicadores: *E. coli*, CT, *C. perfringens* e colifagos após os ensaios de desinfecção com H₂O₂/UV (Experimento B) utilizando tempos de exposição de 15, 30 e 50 segundos. As doses médias de radiação UV foram: t (15 s) = 30,62 mWs/cm²; t (30 s) = 60,77 mWs/cm² e t (50 s) = 101,28 mWs/cm². E a dosagem de H₂O₂ utilizada foi de 3 mg/L no tempo de contato de 10 min.

A partir das Figuras 22 e 23 verifica-se que:

a) *E. coli*: o comportamento de *E. coli* manteve-se semelhante ao observado e discutido em relação a desinfecção com radiação UV e APA/UV. *E. coli* atingiu inativações médias de 5,03 log para a dosagem 2 mg/L H₂O₂/101,28 mWs/cm² e de 5,62 log de inativação para a dosagem 3 mg/L H₂O₂/101,28 mWs/cm². Considerando ainda que a dose média efetiva de radiação UV obtida neste ensaio 101,28 mWs/cm² e em torno metade da dose utilizada no ensaio de APA/UV que foi de 206,65 mWs/cm².

b) CT: apresentou o mesmo comportamento relatado acima para *E. coli*. As inativações médias observadas para CT foram de 4,60 log para a dosagem de 2 mg/L H₂O₂/101,28 mWs/cm² e de 5,28 log de inativação para a dosagem 3 mg/L H₂O₂/101,28 mWs/cm².

c) *C. perfringens*: os resultados mais significativos com a desinfecção com H₂O₂/UV foi atingida para este microrganismo, alcançando 1,81 log de inativação na dosagem de 3

mg/L H₂O₂/60,77 mWs/cm² , foi significativa, pois com uma dose média efetiva de radiação UV pequena, conseguiu inativar mais 1 log deste microrganismo. Assim como nos outros ensaios que utilizaram-se este microrganismo indicador, não ocorreram inativações maiores que 2 log de inativação.

d) colifagos: os resultados obtidos são próximos aos ensaios individuais de desinfecção com radiação UV, apresentando na dosagem de 3 mg/L H₂O₂/60,77 mWs/cm² um pequeno acréscimo na inativação para este microrganismo. As inativações médias foram de 2,11 log para 2 mg/L H₂O₂/101,28 mWs/cm² e 3 mg/L H₂O₂/101,28 mWs/cm².

5.3.3 Consumo médio de ácido peracético e peróxido de hidrogênio nos processos de desinfecção.

A quantificação do consumo de ácido peracético foi realizada quando aplicado os métodos de desinfecção APA e APA/UV.

Na Tabela 9 são apresentados os valores médios residuais de APA para as diferentes concentrações aplicadas e tempos de contato na desinfecção. Já para o POA: APA/UV os valores médios residuais são expressos na Tabela 10.

Tabela 9 - Consumo médio de APA para as concentrações de 2 e 3 mg/L, no método de desinfecção individual com APA.

Concentração de APA (mg/L)	t (min)	Residual de APA (mg/L)
0	0	0
2	10	0,16±0,04
2	20	0,14±0,04
3	10	0,15±0,04
3	20	0,22±0,03

Tabela 10 - Consumo médio de APA para as concentrações de 2 e 3 mg/L, no método de desinfecção combinado (APA/UV).

Concentração de APA (mg/L)	t (s)/dose média(mWs/cm)	Residual de APA (mg/L)
0	0	0
2	15 (62,02)	0,15±0,02
2	30 (123,99)	0,12±0,04
2	50 (206,65)	0,15±0,05
3	15 (62,02)	0,14±0,03
3	30 (123,99)	0,12±0,03
3	50 (206,65)	0,15±0,04

Analisando-se os valores residuais de forma geral (Tabela 9 e 10) é possível verificar que o APA não foi consumido totalmente em nenhum dos tempos utilizados nos ensaios (etapa II e III) e que nos dois ensaios de desinfecção, independente de seus tempos de contato, ambos apresentaram um valor padrão de consumo, ocorrendo uma variação de 0,12 a 0,16 mg/L de residual de APA.

Para dosagens utilizadas nos ensaios da Etapa II, no tempo de contato de 10 minutos, e nas concentrações de 2 e 3 mg/L, foram consumidos, respectivamente, 1,84 e 1,85 mg/L de APA. E para os tempos de contato de 20 minutos e concentrações de 2 e 3 mg/L, o consumo de APA foi de 1,86 e 1,78 mg/L.

Na Etapa III, para as doses utilizadas no tempo de contato de 15 s ($62,02 \text{ mWs.cm}^{-2}$), e nas concentrações de 2 e 3 mg/L, foram consumidos, respectivamente, 1,85 e 1,86 mg/L de APA, no tempo de 30 s ($123,99 \text{ mWs.cm}^{-2}$), 1,88 mg/L e para 50 s ($206,65 \text{ mWs.cm}^{-2}$), o consumo de APA verificado foi de 1,85 mg/L para ambas as concentrações aplicadas.

O consumo de APA nos dois ensaios de desinfecção foi sempre menor que 2 mg/L, o mesmo ocorreu nos ensaios realizados por Souza et al. (2014), os quais relataram que o APA apenas em determinado percentual responde a demanda para desinfecção, e o residual remanescente permanece na água ou esgoto não possuindo mais efeito bactericida.

Os autores ainda destacam que sejam realizados estudos em escala real que possam avaliar o consumo e melhores dosagens de APA, conforme as características da água ou efluentes sanitários analisados (matéria orgânica e densidade de microrganismos), objetivando solução econômica mais vantajosa na utilização destes produtos químicos.

Para os métodos de desinfecção que utilizaram o H_2O_2 de forma individual ou combinada, independente do tempo de contato avaliado, ambos apresentaram consumo total de peróxido de hidrogênio, não apresentando concentração residual após os processos de desinfecção.

Tal situação pode ser explicada, devido à baixa concentração de peróxido utilizada, sendo esta rapidamente consumida pelo processo de desinfecção. Em se tratando da desinfecção com $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$, o consumo total pode ter sido ocasionado à quebra das moléculas de H_2O_2 , para produção dos radicais hidroxila no processo.

5.4. Verificação de sinergismo

A partir dos resultados de inativação atingidos pelos processos combinados de desinfecção (APA/UV e H₂O₂/UV) avaliou-se a ocorrência ou não de efeitos sinérgicos para ambos os processos de desinfecção. Para Finch et al. (2000) a verificação do sinergismo decorre da ideia inicial que a inativação ocasionada pelo processo sequencial de desinfecção apresenta valores superiores, quando comparados à soma das inativações individuais de cada desinfetante.

De acordo com o princípio adotado pelos autores acima, os resultados da verificação de sinergismo para os dois métodos de desinfecção combinados APA/UV e H₂O₂/UV utilizados no presente estudo são apresentados nas Tabelas 11 e 12. O resultado que apresenta sinal positivo em destaque é o indicativo que houve ocorrência de sinergismo.

Tabela 11 - Verificação de sinergismo utilizando o método de desinfecção combinado APA/UV.

Microrganismos indicadores	DOSAGENS APA/UV (mg.L ⁻¹ /mWs.cm ²)					
	2(62,02)	2(123,99)	2(206,65)	3(62,02)	3(123,99)	3(206,65)
<i>E. coli</i>	-1,12	-1,47	-2,11	-0,89	-0,98	-1,17
CT	-0,71	-0,98	-1,86	-0,12	-0,32	-0,72
<i>C. perfringens</i>	-1,00	-0,48	-0,41	-0,44	0,05	-0,03
Colifagos	-0,83	-0,81	-1,18	-0,74	-0,55	-0,73

Tabela 12 - Verificação de sinergismo utilizando o método de desinfecção combinado H₂O₂/UV.

Microrganismos indicadores	DOSAGENS H ₂ O ₂ /UV (mg.L ⁻¹ /mWs.cm ²)					
	2(30,62)	2(60,77)	2(101,28)	3(30,62)	3(60,77)	3(101,28)
<i>E. coli</i>	-1,06	-0,60	-0,54	-0,87	-0,19	0,02
CT	-0,42	-1,06	-1,12	-0,29	-0,95	-0,60
<i>C. perfringens</i>	-0,25	0,29	-0,29	0,43	1,01	-0,05
Colifagos	-0,43	-0,60	-0,73	-0,18	0,03	-0,18

De acordo com os resultados obtidos, pode-se notar que o grau de ocorrência de sinergismo foi bem reduzido para ambos os ensaios de desinfecção APA/UV e H₂O₂/UV. Foi observado sinergismo para os ensaios de APA/UV, apenas para *C. perfringens* na dosagem de 3 mg/L APA/123,99 mWs.cm².

Tal fato, pode ser relacionado ao que relataram Souza et al. (2014) verificando em seus experimentos com esgoto, que o baixo valor residual de APA presente no efluente, para os tempos adotados e concentrações de APA utilizados no ensaio, não foram suficientes para a formação de POA, comprometendo os efeitos adicionais de inativação dos microrganismos indicadores.

Caretti e Lubello (2003) quando utilizaram o método de desinfecção APA/UV em tratamento avançado de esgoto para fins de reúso na agricultura observaram efeitos sinérgicos nas inativações de CT e coliformes fecais, *E. coli*, streptococcus e *Pseudomonas aeruginosa* para as dosagens e tempos empregados.

González et al. (2012) em uma planta piloto, utilizando efluente primário para fins de reúso, não verificaram sinergismo utilizando APA/UV para os parâmetros adotados, e atribuíram tal fato a presença de material particulado e matéria orgânica que podem ter reagido instantaneamente com APA e quando aplicado UV, havia pouco ou nenhum residual de APA, não prosseguindo a desinfecção do método combinado como esperado.

Para os ensaios de H₂O₂/UV verificou-se sinergismo para algumas dosagens do desinfetante combinado, neste caso, o grau de ocorrência foi relativamente maior quando comparado ao outro método (APA/UV). O efeito sinérgico para este ensaio foi verificado para três microrganismos: *E. coli*, *C. perfringens* e colifagos.

Para *E. coli* e colifagos, respectivamente, ocorreu sinergismo apenas para as dosagens de 3 mg/L H₂O₂/101,28 mWs.cm² e de 3 mg/L H₂O₂/60,77 mWs.cm².

Constatou-se que o *C. perfringens* foi microrganismo que apresentou mais ocorrências de sinergismo nos ensaios de desinfecção combinada. Medeiros e Daniel (2015) também verificaram esta ocorrência para *C. perfringens* e *Giardia* spp., microrganismos considerados mais resistentes, quando utilizaram a combinação de cloro e radiação UV para desinfecção.

No ensaio de desinfecção H₂O₂/UV para *C. perfringens*, verificou-se sinergismo para as dosagens de 2 mg/L H₂O₂/60,77 mWs.cm², 3 mg/L H₂O₂/30,62 mWs.cm² e por último o valor mais significativo foi observado na dosagem de 3 mg/L H₂O₂/60,77 mWs.cm², onde resultou no aumento de 1 log de inativação para esta bactéria.

Em geral, verificou-se que os resultados apresentados para todos os microrganismos, foi inverso ao esperado, ocorrendo antagonismo, que são os valores negativos apresentados

nas Tabelas 11 e 12. Segundo Souza (2006), o antagonismo ocorre quando a inativação decorrente da desinfecção combinada for menor do que a soma das inativações alcançadas pelos métodos individuais.

Analisando os resultados de verificação de sinergismo, os dados de inativação obtidos demonstraram que o processo de desinfecção pelo método individual, utilizando radiação UV mostrou-se superior na maioria dos ensaios realizados, para os tempos e dosagens empregados. E quando ocorreu efeito sinérgico, os resultados de inativações alcançados foram muito similares ao obtidos apenas aplicando a radiação UV.

Entretanto, comparando-se os resultados obtidos com APA/UV e H₂O₂/UV com os ensaios individuais de APA ou H₂O₂, os resultados de inativações obtidos foram muito significativos.

6 CONCLUSÕES

Com base nos resultados e discussões apresentadas na presente pesquisa, pode-se concluir que:

- As características do efluente sanitário utilizado mostraram-se uniformes e ótimas para trabalhar com os processos de desinfecção, não apresentaram tantas oscilações de um ensaio para outro, observando-se um controle para com os parâmetros utilizados no desenvolvimento deste trabalho.

- A turbidez, os SST e absorvância são parâmetros físico-químicos que se relacionam entre si e são fatores determinantes para obter resultados satisfatórios nos processos de desinfecção empregados nessa pesquisa.

- Tais fatores interferem de forma significativa nas doses médias efetivas de radiação UV e quando aplicados os desinfetantes químicos APA e H₂O₂, estes conforme as características do efluente, podem reagir instantaneamente com seus constituintes, ocasionando o seu consumo total ou parcial durante o processo, e conseqüentemente inibir o poder de ação do desinfetante antes do tempo previsto, interferindo na efetividade do processo.

- Verificou-se para a desinfecção com radiação UV eficiências satisfatórias de inativação para *E. coli* e CT, atingindo-se taxas médias de inativações de 93,33% e 78,64%, respectivamente. Colifagos indicador de vírus apresentaram maior resistência durante todo o processo de desinfecção UV quando comparado às bactérias *E. coli* e CT. Enquanto que *C. perfringens* foi o microrganismo indicador mais resistente, não chegando a atingir taxas de inativação acima de 50 % para as condições utilizadas no processo de desinfecção.

- O APA e o H₂O₂ quando aplicados individualmente nos ensaios para os tempos de contato e dosagens aplicados não foram suficientes para inativar nenhum dos microrganismos indicadores. Para estes ensaios, considerando o que prevê a legislação (CONAMA 357/05) para o lançamento de efluentes em corpo receptor, classe 2, não podendo exceder 1000 coliformes termotolerantes por 100 mL, este efluente não estaria dentro das normas estabelecidas para o lançamento, de acordo com a legislação apresentada. Os outros processos, radiação UV, APA/UV e H₂O₂/UV em determinadas condições atenderam este parâmetro restritivo.

- O POA (H₂O₂/UV) apresentou resultados similares aos obtidos com a radiação UV de forma individual, obtendo inativações seguindo a mesma escala de resistência para os microrganismos indicadores utilizados. Porém, cabe-se destacar que durante os processos combinados de desinfecção, *C. perfringens* conseguiu aumentar sua inativação para 1 log, quando aplicado dosagens de 3 mg/L/60,77 mWs/cm² de H₂O₂/UV, resultado significativo para um microrganismo que demonstrou resistência em todos os processos de desinfecção realizados.

- Ocorreu sinergismo para *E. coli*, CT e *C. perfringens*, porém, para as condições experimentais adotadas, estes ocorreram eventualmente durante o processo. O antagonismo apresentou-se superior na maioria dos ensaios.

- Apesar do método de desinfecção com radiação UV ter apresentado maior eficiência de inativações nos experimentos realizados de forma geral, os POA na desinfecção realizada destacaram-se em algumas circunstâncias. Foi possível notar que o POA conseguiu aumentar a eficiência de inativação para organismos mais resistentes, como *C. perfringens*.

7 RECOMENDAÇÕES

Como sugestões para futuros trabalhos recomenda-se:

- Investigar subprodutos da desinfecção com ácido peracético, peróxido de hidrogênio e POA.

- Realizar testes de toxicidade à biota do corpo receptor.

- Incluir a bactéria *Bacillus subtilis*, como indicadora de protozoários nos ensaios de desinfecção.

- Caracterizar o efluente de forma a identificar todos os componentes existentes na amostra, de forma a estudar todas as interações químicas com o desinfetante e como podem interferir na eficiência do processo de desinfecção.

- Verificar a ocorrência de fotorreativação e recuperação no escuro para *E. coli*, CT, colifagos e *C. perfringens*.

- Realizar em conjunto aos ensaios de desinfecção um levantamento de todos os aspectos econômicos para implementação de tais processos de desinfecção em escala real.

8 REFERÊNCIAS

AGULLÓ-BARCELÓ, M; POLO-LÓPEZ, M. I.; LUCENA, F.; JOFRE, J.; FERNÁNDEZ-IBÁÑEZ, P. Solar Advanced Oxidation Processes as disinfection tertiary treatments for real wastewater: Implications for water reclamation. **Applied Catalysis B: Environmental**, v.136, n. 137, p. 341-350, 2013.

AGUIAR, A. M. S. Avaliação do emprego da radiação ultravioleta na desinfecção de águas com cor e turbidez moderadas. Dissertação (Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2000.

ANTONELLI M., ROSSI S., MEZZANOTTE V. and NURIZZO C. Secondary effluent disinfection: PAA long term efficiency. **Environmental Science Technology**. v. 40 n.15, p. 4771-4775, 2006.

APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. “Standard methods for the examination of water and wastewater”. 19.ed. Washington: American Public Health Association, 1998.

ARRAJ, A.; BOHATIER, J.; LAVERAN, H.; TRAORE, O. Comparison of bacteriophage and enteric virus removal in pilot scale activated sludge plants. **Journal of Applied Microbiology**, v. 98, p. 516-524, France, 2005.

BARBEAU, B. et al. Examining the use of aerobic spore-forming bacteria to assess the efficiency of chlorination. **Water Research**, v.33, n.13, p. 2941-2948, 1999.

BASTOS, R. K. X.; BEVILACQUA, P.D.; NASCIMENTO, L. E., CARVALHO, G. R. M.; SILVA, C. V. Coliformes como indicadores da qualidade da água. Alcance e limitações. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL, 27, 2000, Porto Alegre. **Anais eletrônicos...** Rio de Janeiro: AIDIS, 2000.

BHATTI, Z. A.; MAHMOOD, Q.; RAJA, I. A.; MALIK, A. H.; RASHID, N.; WU, D. Integrated chemical treatment of municipal wastewater using waste hydrogen peroxide and ultraviolet light. **Physics and Chemistry of the Earth** v. 36, p. 459–464, 2011.

BRADFORD, S. A.; TADASSA, Y. F.; JIN, Y. Transport of coliphages in the presence and absence of manure suspension. **Journal of Environmental Quality**, v. 35, p. 1692-1701, Newark, set./oct. 2006.

BILOTTA, P.; DANIEL, L. A. Utilização de lâmpadas germicidas na desinfecção de esgoto sanitário. **Ampli-Água**, Taubaté, v. 7, n.1, p. 120-129, 2012.

BOUNTY, S.; RODRIGUEZ, R. A.; LINDEN, K. G. Inactivation of adenovirus using low-dose UV/H₂O₂ advanced oxidation. **Water Research**, v. 46, p. 6273-6278, 2012.

BRASIL. CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, Brasília, DF, 2011.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução nº 357 de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de águas, diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e da outras providências. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 12 jan. 2016.

Caretti C. and Lubello C., Wastewater disinfection with PAA and UV combined treatment: a pilot plant study. **Water Research**, vol. 37, n. 10, p. 2365–2371, 2003.

CERQUEIRA, D. A. Remoção de oocistos de *Cryptosporidium parvum* e de indicadores no tratamento de água por ciclo completo, filtração direta descendente e dupla filtração em escala piloto. Tese (Doutor em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

CETESB. COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Determinação de colifagos em amostras de água: método de ensaio. L5/225. São Paulo, 1990. 24 p.

CETESB. COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. *Clostridium perfringens*: determinação em amostras de água pela técnica de tubos múltiplos. Método de ensaio L5/213. São Paulo, 1993. 25 p.

CHO, Min; KIM, Jae-hong; YOON, Jeyong. Investigating synergism during sequential inactivation of *Bacillus subtilis* spores with several disinfectants. **Water Research**, [s.l.], v. 40, n. 15, p.2911-2920, ago. 2006. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135406003435>> Acesso em: 07 jul. 2015.

CLANCY, J. L.; BUKHARI, Z.; HARGY, T. M.; BOLTON, J. R.; DUSSERT, B. W.; MARSHALL, M. M. Using UV to inactivate *Cryptosporidium*. **Journal of the American Water Works Association**, v. 92, n. 9, p. 97-104, 2000.

CORDEIRO, A. C. de S.; LEITE, S. G. F.; DEZOTTI, M. Inativação por oxidação fotocatalítica de *Escherichia coli* e *Pseudomonas* sp. **Química Nova**, v. 27, n. 5, p. 689-694, 2004.

DIAS, G. M. F. **Qualidade microbiológica da água da bacia do Ribeirão São Bartolomeu, Viçosa – MG: Análise Epidemiológica, Ambiental e Espacial**. Dissertação (Mestre em Medicina Veterinária – *Magister Scientiae*) - Universidade Federal de Viçosa, Belo Horizonte, 2007.

DOMÈNECH, X., JARDIM, W. F., LITTER, M. I. **Procesos avanzados de oxidación para lá eliminación de contaminantes**. In: Eliminación de Contaminantes por Fotocatálisis Heterogênea, cap. 1, *Rede CYTED*, La Plata, 2001.

EPA. U. S. Environmental Protection Agency (1999b). Wastewater – Technology Fact Sheet – Ultraviolet Disinfection. (EPA 832-F-99-064). United States.

FINCH, G. R., LIYANAGE, L. R. J., GYUR'EK, L. L., and BRADBURY, J. S. Synergistic Effects of Multiple Disinfectants. **AWWA Research Foundation and American Water Works Association**, Denver, USA, 52 p., 2000.

GAMBA, R. C.; CIAPINA, E. M. P; ESPÍNDOLA, R.S; PACHECO, A.; PELLIZARI, V.H. Detection of *Cryptosporidium* sp. Oocysts in groundwater for human consumption in Itaquaquecetuba city, S. Paulo-Brazil. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 31, n.2, p.23-30, 2000.

GEHR, R.; COCHRANE, D.; FRENCH, M. Peracetic acid as a disinfectant for municipal wastewaters: encouraging performance results from physicochemical as well as biological effluents. Proc of the US water environment federation disinfection conference; 2002.

GONÇALVES, R. F. Desinfecção por radiação ultravioleta. In GONÇALVES, R. F. (Coord.): **Desinfecção de efluentes sanitários, remoção de organismos patogênicos e substâncias nocivas. Aplicações para fins produtivos como agricultura, aquicultura e hidroponia**. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária – ABES. PROSAB, Edital 3. Rio de Janeiro. 438 p. 2003.

GONÇALVES, R. F. **Tecnologias de segregação e tratamento de esgotos domésticos na origem, visando à redução do consumo de água e da infra-estrutura de coleta, especialmente nas periferias urbanas**. Vitória, ES: RiMa, 2006. 352 p. Programa de Pesquisas de Saneamento Básico (PROSAB), 2006.

GUIMARÃES, J.R.; BARRETTO, A.S. Photocatalytic inactivation of *Clostridium perfringens* and coliphages in water. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v. 20, n. 4, p. 403-411, 2003.

GUO, MT.; HUANG, JJ; LIU WJ. Growth and repair potential of three species of bacteria in reclaimed wastewater after UV disinfection. **Biomedical and Environmental Sciences**. China, v. 24, n. 4, p. 400-407, jan. 2011. Disponível em:<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0895398811600846>>. Acesso em: 16 jul. 2015.

HESPANHOL, I. A inexorabilidade do reúso potável direto. **Revista DAE**. 20 p., jan.-abr, 2015.

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

JUNGFER, Christina; SCHWARTZ, Thomas; OBST, Ursula. UV-induced dark repair mechanisms in bacteria associated with drinking water. **Water Research**, [s.l.], v. 41, n. 1, p.188-196, jan. 2007. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135406004970>> Acesso em: 10 jul. 2015.

JUNQUEIRA, V.C.A.; CANTUSIO NETO, R.; SILVA, N.; TERRA, J.A.; SILVA, D.F. Ocorrência de esporos de *Clostridium perfringens* em amostras de águas brutas e tratadas, na cidade de Campinas, São Paulo, Brasil. **Revista Higiene Alimentar**, v. 20, n.144, 2006.

KSIBI, M. Chemical oxidation with hydrogen peroxide for domestic wastewater treatment. **Chemical Engineering Journal**, v. 119, p.161–165, 2006.

KITIS, M. Disinfection of wastewater with peracetic acid: a review. **Environment International**. Turkey, v. 30, p.47-55, 2004.

KOIVUNEN, J.; HEINONEN-TANSKI, H.. Inactivation of enteric microorganisms with chemical disinfectants, UV irradiation and combined chemical/UV treatments. **Water Research**, [s.l.], v. 39, n. 8, p.1519-1526, abr. 2005. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135405000497>> Acesso em: 10 jul. 2015.

LABAS, M.D.; ZALAZAR, C.S.; BRANDI, R.J.; CASSANO, A.E. Reaction kinetics of bacteria disinfection employing hydrogen peroxide. **Biochemical Engineering Journal**, v. 38, p. 78-87, 2008.

LANAO, M.; ORMAD, M. P.; GOÑI, P.; MIGUEL, N.; MOSTEO, R.; OVELLEIRO, J. L. Inactivation of *Clostridium perfringens* spores and vegetative cells by photolysis and TiO₂ photocatalysis with H₂O₂. **Solar Energy**, v. 84, p. 703-709, 2010.

LAZAROVA, V.; SAVOYE, P.; JANEX, ML.; BLATCHLEY III, ER.; POMMEPUY, M. Advanced wastewater disinfection technologies: state of the art and perspectives. *Water Science and Technology*, v. 40, n. 4-5, p. 203-213, 1999.

LIBERTI, L.; NOTARNICOLA, M.; Advanced treatment and disinfection for municipal wastewater reuse in agriculture. **Water Science and Technology**, Oxford, v. 40, p. 235–245, 1999.

LIBERTI, Lorenzo; NOTARNICOLA, Michele; PETRUZZELLI, Domenico. Advanced treatment for municipal wastewater reuse in agriculture. UV disinfection: parasite removal and by-product formation. **Desalination**, [s.l.], v. 152, n. 1-3, p.315-324, fev. 2002. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0011916402010792>> Acesso em: 16 jul. 2015.

Lubello, C. and Caretti, C. Wastewater disinfection with peracetic acid and UV. **Proc. Of “International Symposium of Sanitary and Env. Engineering”**, Trento, Italy, 18–23 September, 219–226, 2000.

LOBATO, F.; ASSIS, R.A. Clostridioses dos animais. In: Simpósio Mineiro de Buiatria, 2, 2005. Anais. Belo Horizonte: ABMG.

MATTOS, I. L. de; SHIRAIISHI, K. A.; BRAZ, A. D.; FERNANDES, J. R. Peróxido de Hidrogênio: Importância e Determinação. **Química Nova**, v. 26, n. 3, p. 373-380, 2003.

MEDEIROS, R. C. and DANIEL, L. A. Study of sequential disinfection for the inactivation of protozoa and indicator microorganisms in wastewater. **Acta Scientiarum Technology**, Maringá, Brazil, v. 37, n. 2, p. 203-209, apr. – june, 2015.

MEZZANOTTE, V. Wastewater disinfection alternatives: chlorine, ozone, peracetic acid, and UV light. **Water Environment Research**, Itália, v. 79, n. 12, p. 2373-2379, nov. 2007.

MONACO, P. B. **Inativação de indicadores patogênicos em sistemas combinados de tratamento e pré-desinfecção de esgoto sanitário.** Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2006.

MUELLER-SPITZ, S.R.; STEWART, L.B.; McLELLAN, S.L. Reliability of mCP method for identification of *Clostridium perfringens* from faecal polluted aquatic environments. **Journal of Applied Microbiology**, v. 108, p. 1994-2002, 2010.

MUN, S.; CHO, S.; KIM, T.; OH, B.; YOON, J. Inactivation of *Ascaris* eggs in soil by microwave treatment compared to UV and ozone treatment. **Chemosphere**, v. 77, p. 285–290, 2009.

NABIZADEH, R.; ALIMOHAMMAD, M.; NEMATI, R.; NADDAFI, K.; NASERI, S.; ASLANI, H.; MOUSAVIPOUR, S.N. Disinfection of secondary treated wastewater using under pressure dissolved oxygen, copper ions and hydrogen peroxide. **Global NEST Journal**, v. 15, n. 1, p. 121-130, 2013.

NADDEO, V.; LANDI, M.; BELGIORNO, V.; NAPOLI, R.M.A. Wastewater disinfection by combination of ultrasound and ultraviolet irradiation. **Journal of Hazardous Materials**, [s.l.], v. 168, n. 2-3, p.925-929, set. 2009. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030438940900329X>> Acesso em: 10 jul. 2015.

NOGUEIRA, R. F. P.; OLIVEIRA, M. C., PATERLINI, W. C. Simple and fast spectrophotometric determination of H₂O₂ in photo-Fenton reactions using metavanadate. **Talanta**, v. 66, p.86-91, 2005.

PEDROSO, M.Z.; FRANÇA, J.P.; RODRIGUES, P.F.; SANTOS, A.; CAMPOS JÚNIOR, O. Uma síntese sobre colifagos como indicadores de poluição fecal. **Revista O Mundo da Saúde**, v. 27, n. 4, p. 559-563, 2003.

PROXITANE ® 1512. Solvay Peróxidos do Brasil Ltda. Disponível em: <<http://www.peroxidos.com.br/>>. Acesso em: 20 de jul. 2015.

RICE, E. W.; FOX, K. R.; MILTNER, R. J.; LYTTLE, D. A.; JOHNSON, C. H. Evaluating water treatment plant performance using indigenous aerobic bacterial endospore. **Journal American Water Works Association**, v. 88, n. 9, p. 122-130, september 1996.

RYU, H.; GERRITY, D.; CRITTENDEN, J.C.; ABBASZADEGAN, M. Photocatalytic inactivation of *Cryptosporidium parvum* with TiO₂ and low-pressure ultraviolet irradiation. **Water Research**, v. 42, p. 1523 – 1530, 2008.

RODRIGUEZ, R. A.; BOUNTY, S.; BECK, S.; CHAN, C.; McGUIRE, C.; LINDEN, K. G.. Photoreactivation of bacteriophages after UV disinfection: Role of genome structure and impacts of UV source. **Water Research**, [s.l.], v. 55, p.143-149, maio 2014. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135414001079>> Acesso em: 10 jul. 2015.

RONEN, Z.; GUERRERO, A.; GROSS, A. Greywater disinfection with the environmentally friendly Hydrogen Peroxide Plus (HPP). **Chemosphere**, v. 78, p. 61–65, 2010.

ROSSI, S.; ANTONELLI, M.; MEZZANOFTE, V.; NARIZZO, C. Peracetic acid disinfection: a feasible alternative to wastewater chlorination. **Water Environment Research**, Alexandria, v. 79, n. 4, p. 341-350, 2007.

SANCHEZ-RUIZ, C; MARTINEZ-ROYANO, S; TEJERO-MONZO'N, I. An evaluation of the efficiency and impact of raw wastewater disinfection with peracetic acid prior to ocean discharge. **Water Science and Technology**, [s.l.], v. 32, n. 7, p.159-166, 1995. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0273122396000601>> Acesso em: 10 jul. 2015.

SARTORI, L. **Adequação da qualidade microbiológica de efluentes de esgoto sanitário pela aplicação dos desinfetantes ozônio, permanganato de potássio e ácido peracético**. 2004. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

SNIS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: **Diagnóstico dos Serviços de água e esgoto - 2015**. Brasília. MC CIDADES. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. 2015.

SOUZA, J. B. **Desinfecção de águas com cor e turbidez elevadas: comparação técnica de processos alternativos ao cloro empregando radiação ultravioleta e ácido peracético**. 2000. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

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. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v.10, n.2, 111-117, 2005.

SOUZA, J. B. **Avaliação de métodos para desinfecção de água, empregando cloro, ácido peracético, ozônio e o processo de desinfecção combinado cloro/ozônio**. 2006. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

SOUZA, J. B; VALDEZ, F. Q.; JERANOSKI, R. F.; VIDAL, C. M. S.; CAVALLINI, G. S. Water and Wastewater Disinfection with Peracetic Acid and UV Radiation and Using Advanced Oxidative Process PAA/UV. **International Journal of Photoenergy**, v. 2015, p.7, 2014.

TAVARES, T. M.; CARDOSO, D. D. P.; BRITO, W. M. E. D. Vírus entéricos veiculados por água: aspectos microbiológicos e de controle de qualidade da água. **Revista de Patologia Tropical**, v. 34, n. 2, p. 85-104, 2005.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3 ed., v.1 Belo Horizonte: DESA, UFMG. 2005. 452 p.

TANG C.; CHEN V. The photocatalytic degradation of reactive black 5 using TiO₂/UV in an annular photoreactor. **Water Research**, v.38, p.2775-2778, 2004.

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

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. USEPA. *Guidance manual: alternative disinfectants and oxidants*. Washington: USEPA, 1999. Report n.815-R-99-014.

WAGNER, M.; BRUMELIS, D.; GEHR, R. Disinfection of wastewater by hydrogen peroxide or peracetic acid: Development of procedures for measurement of residual disinfectant and application to a physico chemically treated municipal effluent. **Water Research**. v. 74, p 33–50, 2002.

WHITE, G. C. **Revised edition of: Handbook of chlorination and alternative disinfectants, 4th ed. 1999.** 5th ed. Black & Veatch Corporation. A John Wiley & Sons, Inc., Publication. New Jersey. USA. 2010.