

**DESINFECÇÃO DE ÁGUAS COM COR E TURBIDEZ  
ELEVADAS: COMPARAÇÃO TÉCNICA DE  
PROCESSOS ALTERNATIVOS AO CLORO  
EMPREGANDO RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA E  
ÁCIDO PERACÉTICO**



JEANETTE BEBER DE SOUZA

Serviço de Pós-Graduação EESC/USP  
**EXEMPLAR REVISADO**  
Data de entrada no Serviço: 05/12/00  
Ass.: *ML*

DEDALUS - Acervo - EESC



31100017063

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Civil – área: Hidráulica e saneamento.

ORIENTADOR: Prof. Dr. LUIZ ANTONIO DANIEL

São Carlos  
- 2000 -

Class.	TESE-EEE
Cott.	5817
Tombo	040/01

31100017063

st 1127698

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento  
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

S729d Souza, Jeanette Beber de  
Desinfecção de águas com cor e turbidez elevadas :  
comparação técnica de processos alternativos ao cloro  
empregando radiação ultravioleta e ácido peracético /  
Jeanette Beber de Souza. -- São Carlos, 2000.

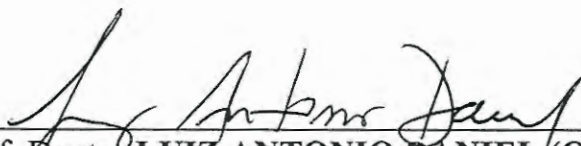
Dissertação (Mestrado) -- Escola de Engenharia de  
São Carlos-Universidade de São Paulo, 2000.  
Área: Hidráulica e Saneamento.  
Orientador: Prof. Dr. Luiz Antonio Daniel.

1. Desinfecção. 2. Água. 3. Cloro. 4. Radiação  
ultravioleta. 5. Ácido peracético. 6. *E. coli* e  
colifagos. I. Título.

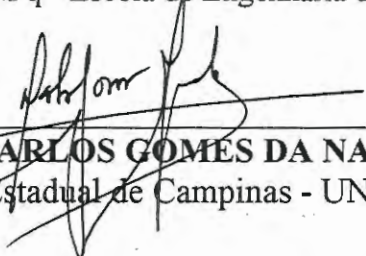
**FOLHA DE APROVAÇÃO**


Candidata: Engenheira **JEANETTE BEBER DE SOUZA**

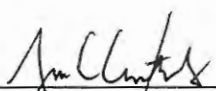
Dissertação defendida e aprovada em 22-09-2000  
pela Comissão Julgadora:

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Doutor **LUIZ ANTONIO DANIEL (Orientador)**  
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)

  
\_\_\_\_\_  
Doutora **MARIA BERNADETE AMÂNCIO VARESCHE SILVA**  
(Pesquisadora CNPq - Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Doutor **CARLOS GOMES DA NAVE MENDES**  
(Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Associado **EDUARDO CLETO PIRES**  
Coordenador do Programa de Pós-Graduação  
em Hidráulica e Saneamento

  
\_\_\_\_\_  
**JOSÉ CARLOS A. CINTRA**  
Presidente da Comissão de Pós-Graduação da EESC

Quando o governo francês incumbiu Pasteur de investigar as causas de certa moléstia do bicho da seda, o modesto farmacêutico transportou-se para a zona infectada e ali parou na cidadezinha obscura onde residia o insigne Henri Fabre. O entomologista recebeu o desconhecido Pasteur com a lhaneza habitual e ouvindo de sua boca ao que vinha, mostrou-lhe uns casulos contaminados, por acaso ao alcance de sua mão.

Pasteur fez cara de quem enxergava aquilo pela primeira vez.

- Que diabo é isso? Perguntou.

- Pois é o casulo que você vem estudar, retrucou Fabre, espantado de tamanha ingenuidade.

Pasteur examinou-os por uns momentos.

- É interessante! - disse chocalhando o casulo ao ouvido, num movimento de criança: "Ça sonne!"

Ignorava completamente o objeto de estudo para o qual fôra comissionado. Não obstante, concluído este, a moléstia que ameaçava arruinar a zona da seda era subjugada para sempre.

Eis o segredo.

É mister abordar os problemas com absoluta isenção de ânimo, limpo de idéias preconcebidas, de espírito partidário, de facciosidade de escola, de sentimentalismo pueril; é força começar do princípio, não interpor entre o caso em foco e o sólido preparo técnico do cientista nenhum apriorismo perversor.

O verdadeiro sábio não emite opinião: consulta o laboratório e repete o que o laboratório diz, sem enfeite nem torsão.

Monteiro Lobato em "Problema Vital"

Dedicatória:

Amados pais Antônio José & Diva.  
Tia e segunda mãe Ebes.  
Queridas e admiráveis irmãs Marta Cristina,  
Cecília e Rosália.

## **Agradecimentos**

Ao Prof. Luiz Antonio Daniel, pela insubstituível orientação, preciosíssima ajuda, esclarecimentos constantes e especialmente pela paciência, carinho e bom humor com que recebe as pessoas.

À companheira Luci, por ter me ensinado a dar os primeiros passos no laboratório e depois estar sempre ao lado, incentivando e ajudando.

Aos funcionários do laboratório de Saneamento Paulo, Cidinha e Júlio pela grande colaboração em tudo o que precisei e a forma atenciosa com que me receberam.

Ao Leonardo, pelo auxílio nas análises de laboratório.

Ao Chico, pela montagem e manutenção dos equipamentos utilizados.

À Beth e Eloisa, pela valiosa ajuda em algumas etapas da pesquisa.

Aos professores, funcionários e colegas do Departamento de Hidráulica e Saneamento.

Aos queridos e especiais amigos Cacá, Hélio, Renata, Rodrigo, Valmir e Maira pelos bons momentos juntos desde o início e sempre presentes.

Ao Flavio especialmente, não tenho palavras para agradecer, "é uma dessas raras pessoas que encontramos pela vida e que a gente não sabe bem o que fez para merecer".

À Jana e Cristina, pela amizade e por tudo o que passamos juntas.

Ao Marcus Vinícius pelo apoio, ajuda e incentivo.

Ao CNPq, pela bolsa de mestrado.

Ao PROSAB, Edital 2, Tema 1, Métodos Alternativos para Desinfecção de Água; FINEP, convênio 92-98 0691-00 e FAPESP, processo 98/12795-6 pelos recursos oferecidos e suporte financeiro.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>i</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>v</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....</b>	<b>xi</b>
<b>LISTA DE SÍMBOLOS.....</b>	<b>xii</b>
<b>LISTA DE FOTOGRAFIAS.....</b>	<b>xiii</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>xiv</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>xv</b>
<b>1 – Introdução.....</b>	<b>1</b>
<b>2 – Objetivos.....</b>	<b>5</b>
<b>3 – Revisão da literatura.....</b>	<b>6</b>
3.1 - Saneamento e saúde, um breve histórico.....	6
3.2 - Qualidade da água para fins potáveis.....	8
3.2.1 - Organismos patogênicos.....	9
3.2.2 - Cor e turbidez.....	13
3.3 - A necessidade de desinfecção da água de abastecimento.....	14
3.4 - Organismos indicadores.....	15
3.5 - Desinfecção - aspectos gerais.....	18
3.6 - Desinfecção com cloro.....	23
3.6.1 - Vantagens e desvantagens da cloração.....	23
3.6.3 - Formação de subprodutos.....	25
3.6.3.1 - Prováveis causas da formação dos subprodutos.....	26
3.6.3.2 - Efeitos adversos à saúde humana.....	26
3.6.4 - Eficácia de desinfecção.....	28
3.7- Desinfecção com radiação ultravioleta.....	29
3.7.1 – Generalidades.....	29
3.7.2 - Fontes de emissão e dose.....	30
3.7.3 - Mecanismos de inativação e de reparo das lesões.....	31
3.7.4 - Vantagens e desvantagens da radiação ultravioleta.....	32
3.7.5 - Eficácia de desinfecção.....	34
3.7.6 - Fatores interferentes.....	35

3.8 - Desinfecção com ácido peracético.....	37
3.8.1 – Generalidades.....	37
3.8.2 – Utilizações.....	38
3.8.3 - Mecanismo de inativação.....	39
3.8.4 - Eficácia de desinfecção.....	39
<b>4 - Materiais e Métodos.....</b>	<b>42</b>
4.1 - Considerações iniciais.....	42
4.2 - Métodos analíticos, equipamentos, exames e análises.....	42
4.3 – <i>Etapa Um</i> - Preliminares para os ensaios de desinfecção.....	44
4.3.1 - Preparação da água sintética.....	44
4.3.2 - Adição de cor à água sintética.....	45
4.3.3 - Adição de turbidez à água sintética.....	45
4.3.4 - Ensaios utilizando a bactéria <i>E.coli</i> .....	46
4.3.4.1 - Procedimento para repicagem da cepa de <i>E. coli</i> .....	47
4.3.4.2 - Construção da curva de crescimento e preparo das suspensões bacterianas.....	47
4.3.4.3 - Contaminação da água sintética com <i>E.coli</i> .....	51
4.3.5 - Ensaios utilizando colifagos.....	51
4.3.5.1 - Preparação da cultura bacteriana hospedeira.....	51
4.3.5.2 - Preparação do meio de cultura para os colifagos.....	52
4.3.5.3 – Procedimento.....	52
4.3.5.4 - Leitura e expressão dos resultados.....	53
4.3.6 - Ensaios de desinfecção com água natural.....	54
4.3.7 – Demanda de cloro.....	55
4.3.7.1 - Construção da curva de demanda de cloro por titulometria.....	55
4.3.7.2 - Construção da curva de demanda de cloro por espectrofotometria.....	57
4.4 – <i>Etapa Dois</i> – Desinfecção com cloro.....	58
4.4.1 – Instalações.....	58
4.4.2 - Definição dos parâmetros operacionais.....	60
4.4.3 – Procedimento.....	60
4.5 - <i>Etapa Três</i> - Desinfecção com radiação ultravioleta.....	61
4.5.1 – Equipamento.....	61



4.5.2 – Procedimento.....	62
4.6 - Inativação de colifagos pela ação de cloro e radiação ultravioleta.....	64
4.7 – <i>Etapa Quatro</i> – Desinfecção com ácido peracético.....	64
4.7.1 – Generalidades.....	64
4.7.2 - Definição dos Parâmetros Operacionais.....	65
4.7.3 – Procedimento.....	66
<b>5 - Resultados e Discussões.....</b>	<b>67</b>
5.1 - <i>Etapa um</i> - Preliminares para os ensaios de desinfecção.....	67
5.1.2 - Curva de crescimento da bactéria <i>E. coli</i> .....	67
5.1.3 – Demanda de cloro.....	69
5.1.3.1 - Construção da curva de demanda de cloro por titulometria.....	69
5.1.3.2- Construção da curva de demanda de cloro por espectrofotometria.....	71
5.1.3.3 - Comparação entre os resultados.....	73
5.1.4 - Definição dos parâmetros operacionais.....	74
5.1.4.1 – Padronização dos ensaios com cloro.....	74
5.1.4.2 – Padronização dos ensaios com radiação ultravioleta.....	75
5.1.4.3 – Padronização dos ensaios com ácido peracético.....	78
5.2 – <i>Etapa dois</i> – Ensaios de desinfecção com cloro.....	79
5.2.1 - Influência da cor e da turbidez na demanda de cloro.....	81
5.2.2 - Influência da cor e da turbidez na eficiência de desinfecção.....	85
5.3 – <i>Etapa três</i> - Ensaios de desinfecção com radiação ultravioleta.....	95
5.3.1 – Estudo da cinética de desinfecção.....	96
5.3.2 - Influência da cor e da turbidez na eficiência de desinfecção com radiação ultravioleta.....	103
5.4 - <i>Etapa quatro</i> – Ensaios de desinfecção com ácido peracético.....	106
5.4.1 - Eficiência de desinfecção com ácido peracético.....	107
5.5 – Inativação de colifagos pela ação de cloro e radiação ultravioleta.....	114
<b>6 – Conclusões e Sugestões.....</b>	<b>118</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>122</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>144</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>FIGURA 3.1</b> - Efeito do tempo de contato e concentração de desinfetante na sobrevivência de bactérias (genérico).....	20
<b>FIGURA 3.2</b> - Variação da eficiência de desinfecção com o tempo de contato e dose de desinfetante (genérico).....	21
<b>FIGURA 3.3</b> - Dose relativa para inativação de microrganismos ( <i>E. coli</i> = 1)..	22
<b>FIGURA 4.1</b> - Esquema ilustrativo para obtenção da curva de crescimento da <i>E. coli</i> .....	50
<b>FIGURA 4.2</b> – Esquema ilustrativo do procedimento de preparação e detecção de colifagos.....	54
<b>FIGURA 5.1</b> - Curva de crescimento da <i>E. coli</i> relacionando concentração (org/mL) e tempo (min), utilizando o meio de cultura TSB.....	67
<b>FIGURA 5.2</b> - Curva de crescimento da <i>E. coli</i> relacionando Abs (520 nm) e tempo (min), utilizando o meio de cultura TSB.....	68
<b>FIGURA 5.3</b> - Curva de crescimento da <i>E. coli</i> relacionando concentração (org/mL) e Abs (520 nm), utilizando o meio de cultura TSB....	68
<b>FIGURA 5.4</b> - Resultados obtidos nos ensaios para a construção da curva de demanda de cloro por titulometria. Característica da água de estudo: cor 20 uC e turbidez 20 uT.....	70
<b>FIGURA 5.5</b> - Resultados obtidos durante os ensaios para a construção da curva de demanda de cloro utilizando o DPD. Características da água de estudo: cor 20 uC e turbidez 20 uT, sem meio de cultura.....	72
<b>FIGURA 5.6</b> - Resultados obtidos durante os ensaios para a construção da curva de demanda de cloro utilizando DPD. Características da água de estudo: cor 20 uC , turbidez 50 uT e meio de cultura TSB.....	73
<b>FIGURA 5.7</b> – Variação de cloro residual livre com a turbidez para água com cor 5 uC e 20 uC. Cloro aplicado: 1,0 mg/L.....	81

<b>FIGURA 5.8</b> – Variação de cloro residual livre com a turbidez para água com cor 5 uC e 20 uC. Cloro aplicado: 1,3 mg/L.....	81
<b>FIGURA 5.9</b> – Variação de cloro residual livre com a turbidez para água com cor 5 uC e 20 uC. Cloro aplicado: 1,6 mg/L .....	82
<b>FIGURA 5.10</b> – Variação de cloro residual livre com a turbidez para água com cor 5 uC e 20 uC. Cloro aplicado: 2,0 mg/L.....	82
<b>FIGURA 5.11</b> – Variação de cloro residual livre com a cor para água com turbidez 5,8 uT e 5 uT.....	83
<b>FIGURA 5.12</b> – Variação de cloro residual livre com a cor para água com turbidez 20 uT e 50 uT.....	84
<b>FIGURA 5.13</b> – Variação de cloro residual livre com a cor para água com turbidez 5 uT.....	84
<b>FIGURA 5.14</b> – Variação de cloro residual livre com a cor para água com turbidez 20 uT.....	84
<b>FIGURA 5.15</b> – Variação de cloro residual livre com a cor para água com turbidez 50 uT.....	85
<b>FIGURA 5.16</b> – <i>E. coli</i> sobrevivente à desinfecção com cloro aplicado em dosagens de 1,3, 1,6 e 2,0 mg/L em água com cor 5 uC e turbidez 20 uT.....	86
<b>FIGURA 5.17</b> – <i>E. coli</i> sobrevivente à desinfecção com cloro aplicado em dosagens de 1,0, 1,3, 1,6 e 2,0 mg/L em água com cor 5 uC e turbidez 50 uT.....	87
<b>FIGURA 5.18</b> – <i>E. coli</i> sobrevivente à desinfecção com cloro aplicado em dosagens de 1,0, 1,3, 1,6 e 2,0 mg/L em água com cor 20 uC e turbidez 2 uT.....	88
<b>FIGURA 5.19</b> – <i>E. coli</i> sobrevivente à desinfecção com cloro aplicado em dosagens de 1,0, 1,3, 1,6 e 2,0 mg/L em água com cor 20 uC e turbidez 20 uT.....	89
<b>FIGURA 5.20</b> – <i>E. coli</i> sobrevivente à desinfecção com cloro aplicado em dosagens de 1,0, 1,3, 1,6 e 2,0 mg/L em água com cor 20 uC e turbidez 50 uT.....	90

<b>FIGURA 5.21</b> – Coliformes totais e fecais sobreviventes à desinfecção com cloro aplicado em dosagens de 1,0, 1,3, 1,6 e 2,0 mg/L em água natural.....	<b>91</b>
<b>FIGURA 5.22</b> – Desinfecção de água sintética com radiação ultravioleta – cor 5 uC e turbidez 50 uT.....	<b>99</b>
<b>FIGURA 5.23</b> – Desinfecção de água sintética com radiação ultravioleta – cor 5 uC e turbidez 20 uT.....	<b>99</b>
<b>FIGURA 5.24</b> – Desinfecção de água sintética com radiação ultravioleta – cor 5 uC e turbidez 2 uT.....	<b>99</b>
<b>FIGURA 5.25</b> – Desinfecção de água sintética com radiação ultravioleta – cor 20 uC e turbidez 50 uT.....	<b>100</b>
<b>FIGURA 5.26</b> – Desinfecção de água sintética com radiação ultravioleta – cor 20 uC e turbidez 20 uT.....	<b>100</b>
<b>FIGURA 5.27</b> – Desinfecção de água sintética com radiação ultravioleta – cor 20 uC e turbidez 2 uT.....	<b>100</b>
<b>FIGURA 5.28</b> – Desinfecção de água sintética com radiação ultravioleta – cor 5 e 20 uC e turbidez 50 uT.....	<b>101</b>
<b>FIGURA 5.29</b> – Desinfecção de água sintética com radiação ultravioleta – cor 5 e 20 uC e turbidez 20 uT.....	<b>101</b>
<b>FIGURA 5.29</b> – Desinfecção de água sintética com radiação ultravioleta – cor 5 e 20 uC e turbidez 2 uT.....	<b>101</b>
<b>FIGURA 5.30</b> - Desinfecção de água natural com radiação ultravioleta.....	<b>102</b>
<b>FIGURA 5.31</b> – Inativação bacteriana em relação à dose de radiação ultravioleta recebida pela água com cor 5 uC e turbidez variáveis.....	<b>103</b>
<b>FIGURA 5.32</b> – Inativação bacteriana em relação à dose de radiação ultravioleta recebida pela água com cor 20 uC e turbidez variáveis.....	<b>103</b>
<b>FIGURA 5.33</b> – Desinfecção de água sintética com ácido peracético para as dosagens indicadas – cor 5 uC e turbidez 2 uT.....	<b>110</b>

<b>FIGURA 5.34</b> – Desinfecção de água sintética com ácido peracético para as dosagens indicadas – cor 5 uC e turbidez 20 uT.....	<b>110</b>
<b>FIGURA 5.35</b> – Desinfecção de água sintética com ácido peracético para as dosagens indicadas – cor 5 uC e turbidez 50 uT.....	<b>110</b>
<b>FIGURA 5.36</b> – Desinfecção de água sintética com ácido peracético para as dosagens indicadas – cor 20 uC e turbidez 2 uT.....	<b>111</b>
<b>FIGURA 5.37</b> – Desinfecção de água sintética com ácido peracético para as dosagens indicadas – cor 20 uC e turbidez 20 uT.....	<b>111</b>
<b>FIGURA 5.38</b> – Desinfecção de água sintética com ácido peracético para as dosagens indicadas – cor 20 uC e turbidez 50 uT.....	<b>111</b>
<b>FIGURA 5.39</b> – Inativação de colifagos com radiação ultravioleta - água sintética com cor verdadeira 7 uC e turbidez 4uC.....	<b>116</b>
<b>FIGURA 5.40</b> – Inativação de colifagos com radiação ultravioleta - água sintética com cor verdadeira 23 uC e turbidez 57uC.....	<b>116</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>TABELA 3.1</b> - Principais patogênicos potencialmente presentes em esgoto sanitário e que podem ser veiculados pela água de consumo.....	<b>10</b>
<b>TABELA 3.2</b> - Classificação ambiental das infecções relacionadas com a água.....	<b>12</b>
<b>TABELA 3.3</b> - Porcentagem de inativação de diferentes organismos, quando expostos a uma dose de radiação ultravioleta de 20 mW.s.cm <sup>-2</sup> .....	<b>31</b>
<b>TABELA 4.1</b> – Métodos analíticos, exames e análises realizadas durante os ensaios de desinfecção.....	<b>43</b>
<b>TABELA 4.2</b> - Água sintética para experimentos de desinfecção.....	<b>44</b>
<b>TABELA 4.3</b> - Composição do meio TSA - Tryptic Soy Agar.....	<b>46</b>
<b>TABELA 4.4</b> – Composição do meio TSB – Tryptic Soy Broth.....	<b>48</b>
<b>TABELA 4.5</b> - Diluições utilizadas para a construção da curva de crescimento da <i>E. coli</i> .....	<b>49</b>
<b>TABELA 4.6</b> – Composição do meio TSA modificado.....	<b>52</b>
<b>TABELA 4.7</b> - Concentração de cloro residual após adição de solução de hipoclorito de sódio para água de estudo contendo 20 uC e 20 uT.....	<b>56</b>
<b>TABELA 5.1</b> - Resultados referentes à construção da curva de crescimento da <i>E. coli</i> usando o meio de cultura TSB e leitura de absorvância em comprimento de onda de 520 nm.....	<b>67</b>
<b>TABELA 5.2</b> - Residual de cloro livre obtido pela titulação com tiosulfato de sódio 0,01N para amostras de água : cor 20 uC e turbidez de 20 uT.....	<b>70</b>
<b>TABELA 5.3</b> - Resultados de residual de cloro obtidos por espectrofotometria utilizando DPD para amostras de água: cor 20 uC e turbidez 20 uT, sem meio de cultura TSB.....	<b>71</b>

<b>TABELA 5.4</b> - Resultados de residual de cloro obtidos por espectrofotometria utilizando DPD para amostras de água: cor 20 uC, turbidez 50 uT e meio de cultura TSB.....	72
<b>TABELA 5.5</b> - Resultados dos ensaios-testes realizados para padronização da concentração de cloro adicionada.....	75
<b>TABELA 5.6</b> - Resultados dos ensaios-testes realizados para padronização dos ensaios de desinfecção com radiação ultravioleta. Água de estudo: cor 19 uC e turbidez 29,9 uT, quantidade inicial (No) de <i>E.coli</i> 10 <sup>5</sup> org/100 mL e 3 lâmpadas de 15 W ligadas.....	76
<b>TABELA 5.7</b> - Resultados dos ensaios-testes realizados para padronização dos ensaios de desinfecção com radiação ultravioleta. Água de estudo: cor 17 uC e turbidez 20 uT, quantidade inicial (No) de <i>E.coli</i> 10 <sup>4</sup> org/100 mL e 3 lâmpadas de 15 W ligadas.....	76
<b>TABELA 5.8</b> - Resultados dos ensaios-testes realizados para padronização dos ensaios de desinfecção com radiação ultravioleta. Água de estudo: cor 20 uC e turbidez 30 uT, quantidade inicial (No) de <i>E.coli</i> 10 <sup>5</sup> org/100 mL e 4 lâmpadas de 15 W ligadas.....	77
<b>TABELA 5.9</b> - Resultados dos ensaios-testes realizados para padronização dos ensaios de desinfecção com radiação ultravioleta. Água de estudo: cor 7 uC e turbidez 2,38 uT, quantidade inicial (No) de <i>E.coli</i> 10 <sup>5</sup> org/100 mL e 2 lâmpadas de 15 W ligadas.....	77
<b>TABELA 5.10</b> - Resultados dos ensaios-testes realizados para padronização da concentração de ácido peracético adicionado.....	78
<b>TABELA 5.11</b> – Ensaio de actinometria para 3 lâmpadas ligadas e 5 minutos de irradiação ultravioleta.....	96
<b>TABELA 5.12</b> – Ensaio de actinometria para 1 lâmpada ligada e 5 minutos de irradiação ultravioleta.....	96
<b>TABELA 5.13</b> - Equações empíricas obtidas para a desinfecção de <i>Escherichia coli</i> ATCC 25922 com radiação ultravioleta – Modelo de HOM (1972).....	98

<b>TABELA 5.14</b> - Resultados de inativação bacteriana após desinfecção com ácido peracético. Características da água sintética: cor 5 uC, turb. 2 uT e $No = 10^5$ org/100mL.....	<b>107</b>
<b>TABELA 5.15</b> - Resultados de inativação bacteriana após desinfecção com ácido peracético. Características da água sintética: cor 5 uC, turb. 20 uT e $No = 10^5$ org/100mL.....	<b>107</b>
<b>TABELA 5.16</b> - Resultados de inativação bacteriana após desinfecção com ácido peracético. Características da água sintética: cor 5 uC, turb. 50 uT e $No = 10^5$ org/100mL.....	<b>108</b>
<b>TABELA 5.17</b> - Resultados de inativação bacteriana após desinfecção com ácido peracético. Características da água sintética: cor 20 uC, turb. 2 uT e $No = 10^5$ org/100mL.....	<b>108</b>
<b>TABELA 5.18</b> - Resultados de inativação bacteriana após desinfecção com ácido peracético. Características da água sintética: cor 20 uC, turb. 20 uT e $No = 10^5$ org/100mL.....	<b>108</b>
<b>TABELA 5.19</b> - Resultados de inativação bacteriana após desinfecção com ácido peracético. Características da água sintética: cor 20 uC, turb. 50 uT e $No = 10^5$ org/100mL.....	<b>109</b>
<b>TABELA 5.20</b> - Resultados da inativação de coliformes totais após desinfecção com ácido peracético para a água natural, $No = 10^4$ org/100 mL.....	<b>109</b>
<b>TABELA 5.21</b> - Resultados da inativação de coliformes fecais após desinfecção com ácido peracético para a água natural, $No = 10^3$ org/100 mL.....	<b>109</b>
<b>TABELA 5.22</b> – Cor e turbidez da água sintética utilizada nos ensaios de inativação de colifagos.....	<b>114</b>
<b>TABELA 5.23</b> – Inativação de colifagos com cloro – água sintética com cor 6 uC e turbidez 3,6 uT.....	<b>114</b>
<b>TABELA 5.24</b> – Inativação de colifagos com cloro – água sintética com cor 20 uC e turbidez 53 uT.....	<b>115</b>



<b>TABELA 5.25</b> – Inativação de colifagos com radiação ultravioleta – água sintética com cor 7 uC e turbidez 4 uT.....	<b>115</b>
<b>TABELA 5.26</b> – Inativação de colifagos com radiação ultravioleta – água sintética com cor 23 uC e turbidez 57 uT.....	<b>115</b>
<b>ANEXO</b>	
<b>TABELA A. 01</b> – Características da água sintética bruta e das amostras após a desinfecção com cloro (cor 5,0 uC e turbidez 2,0 uT).....	<b>123</b>
<b>TABELA A. 02</b> – Características da água sintética bruta e das amostras após a desinfecção com cloro (cor 5,0 uC e turbidez 20,0 uT).....	<b>124</b>
<b>TABELA A. 03</b> – Características da água sintética bruta e das amostras após a desinfecção com cloro (cor 5,0 uC e turbidez 50,0 uT).....	<b>125</b>
<b>TABELA A. 04</b> – Características da água sintética bruta e das amostras após a desinfecção com cloro (cor 20,0 uC e turbidez 2,0 uT).....	<b>126</b>
<b>TABELA A. 05</b> – Características da água sintética bruta e das amostras após a desinfecção com cloro (cor 20,0 uC e turbidez 20,0 uT).....	<b>127</b>
<b>TABELA A. 06</b> – Características da água sintética bruta e das amostras após a desinfecção com cloro (cor 20,0 uC e turbidez 50,0 uT).....	<b>128</b>
<b>TABELA A. 07</b> – Características da água natural e das amostras após a desinfecção com cloro.....	<b>129</b>
<b>TABELA A. 08</b> – Características da água sintética bruta e das amostras após a desinfecção com radiação ultravioleta (cor 5,0 uC e turbidez 2,0 uT).....	<b>130</b>
<b>TABELA A. 09</b> – Características da água sintética bruta e das amostras após a desinfecção com radiação ultravioleta (cor 5,0 uC e turbidez 2,0 uT).....	<b>130</b>
<b>TABELA A. 10</b> – Características da água sintética bruta e das amostras após a desinfecção com radiação ultravioleta (cor 5,0 uC e turbidez 20,0 uT).....	<b>131</b>
<b>TABELA A. 11</b> – Características da água sintética bruta e das amostras após a desinfecção com radiação ultravioleta (cor 5,0 uC e turbidez 50,0 uT).....	<b>131</b>

<b>TABELA A. 12</b> – Características da água sintética bruta e das amostras após a desinfecção com radiação ultravioleta (cor <b>20,0</b> uC e turbidez <b>2,0</b> uT).....	<b>132</b>
<b>TABELA A. 13</b> – Características da água sintética bruta e das amostras após a desinfecção com radiação ultravioleta (cor <b>20,0</b> uC e turbidez <b>20,0</b> uT).....	<b>132</b>
<b>TABELA A. 14</b> – Características da água sintética bruta e das amostras após a desinfecção com radiação ultravioleta (cor <b>20,0</b> uC e turbidez <b>50,0</b> uT).....	<b>133</b>
<b>TABELA A. 15</b> – Características da água natural e das amostras após a desinfecção com radiação ultravioleta (1 lâmpada).....	<b>133</b>
<b>TABELA A. 16</b> – Características da água natural e das amostras após a desinfecção com radiação ultravioleta (3 lâmpadas).....	<b>134</b>
<b>TABELA A. 17</b> – Características da água sintética bruta e das amostras após a desinfecção com ácido peracético (cor <b>5,0</b> uC e turbidez <b>2,0</b> uT).....	<b>135</b>
<b>TABELA A. 18</b> – Características da água sintética bruta e das amostras após a desinfecção com ácido peracético (cor <b>5,0</b> uC e turbidez <b>20,0</b> uT).....	<b>136</b>
<b>TABELA A. 19</b> – Características da água sintética bruta e das amostras após a desinfecção com ácido peracético (cor <b>5,0</b> uC e turbidez <b>50,0</b> uT).....	<b>137</b>
<b>TABELA A. 20</b> – Características da água sintética bruta e das amostras após a desinfecção com ácido peracético (cor <b>20,0</b> uC e turbidez <b>2,0</b> uT).....	<b>138</b>
<b>TABELA A. 21</b> – Características da água sintética bruta e das amostras após a desinfecção com ácido peracético (cor <b>20,0</b> uC e turbidez <b>20,0</b> uT).....	<b>139</b>
<b>TABELA A. 22</b> – Características da água sintética bruta e das amostras após a desinfecção com ácido peracético (cor <b>20,0</b> uC e turbidez <b>50,0</b> uT).....	<b>140</b>

<b>TABELA A. 23</b> – Características da água natural e das amostras após a desinfecção com ácido peracético.....	<b>141</b>
<b>TABELA A. 24</b> – Parâmetros para a cinética de desinfecção com radiação ultravioleta para a água sintética com cor 5 e turbidez 2.....	<b>142</b>
<b>TABELA A. 25</b> – Parâmetros para a cinética de desinfecção com radiação ultravioleta para a água sintética com cor 5 e turbidez 20.....	<b>142</b>
<b>TABELA A. 26</b> – Parâmetros para a cinética de desinfecção com radiação ultravioleta para a água sintética com cor 5 e turbidez 50.....	<b>142</b>
<b>TABELA A. 27</b> – Parâmetros para a cinética de desinfecção com radiação ultravioleta para a água sintética com cor 20 e turbidez 2.....	<b>143</b>
<b>TABELA A. 28</b> – Parâmetros para a cinética de desinfecção com radiação ultravioleta para a água sintética com cor 20 e turbidez 20.....	<b>143</b>
<b>TABELA A. 29</b> – Parâmetros para a cinética de desinfecção com radiação ultravioleta para a água sintética com cor 20 e turbidez 50.....	<b>143</b>

**LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

Abs	Absorvância
CHF	Clorohidroxifuranos
COT	Carbono orgânico total
DBO	Demanda bioquímica de oxigênio
DBP	Disinfection by products
DCAA	Ácido dicloroacético
DNA	Ácido desoxirribonucléico
EHEC	Bactéria enterohemorrágica E. coli
EPA	Environmental protection agency
MCL	Nível máximo de contaminação
NMP	Número mais provável
NPTOX	Nonpurgeable total organic halide
NTU	Unidade nefelométrica de turbidez
OMS	Organização mundial de saúde
pH	Potencial hidrogeniônico
RNA	Ácido ribonucléico
SRSV	Small round structurd viruses
THM	Trihalometanos
TSA	Tryptic soy agar
TSB	Tryptic soy broth
TSD	Tecnologia dos substratos definidos
uC	Unidade de cor
uT	Unidade de turbidez
UV	ultravioleta

## LISTA DE SÍMBOLOS

$a$  – coeficiente de extinção ( $\text{cm}^{-1}$ )

$C$  – concentração de desinfetante ( $\text{mg. L}^{-1}$ )

$C_{\text{Fe}^{2+}}$  - concentração de  $\text{Fe}^{2+}$  na solução de ferrioxalato de potássio irradiada com ultravioleta ( $\text{mg. L}^{-1}$ )

$D$  – densidade de potência ( $\text{Wh.m}^{-3}$ )

$I$  – intensidade de radiação ultravioleta ( $\text{mWcm}^{-2}$ )

$I_m$  – intensidade média de radiação ultravioleta na lâmina líquida ( $\text{mWcm}^{-2}$ )

$I_o$  - intensidade média de radiação ultravioleta na lâmina líquida ( $\text{mWcm}^{-2}$ )

$K$  – constante de inativação ( $\text{S}^{-1}$ )

$L$  – espessura da lâmina líquida (cm)

$\log(N/N_o)$  – logaritmo da fração sobrevivente

$n$  – número de lâmpadas

$N_o$  – concentração de microrganismos inicial (NMP/100 mL)

$N$  - concentração de microrganismos final (NMP/100 mL)

$P$  – potência nominal da lâmpada (W)

$Q$  – vazão ( $\text{m}^3/\text{h}$ )

$t$  – tempo (s)

## LISTA DE FOTOGRAFIAS

<b>FOTOGRAFIA 4.1</b> – Agitador mecânico para promover homogeneização da água.....	<b>45</b>
<b>FOTOGRAFIA 4.2</b> – Vista geral dos equipamentos para realização dos ensaios de demanda de cloro e desinfecção com cloro e ácido peracético.....	<b>59</b>
<b>FOTOGRAFIA 4.3</b> – Detalhe de um béquer e agitador magnético para realização dos ensaios de demanda de cloro e desinfecção com cloro e ácido eracético.....	<b>59</b>
<b>FOTOGRAFIA 4.4</b> – Vista geral do equipamento utilizado como reator de desinfecção ultravioleta.....	<b>61</b>
<b>FOTOGRAFIA 4.5</b> – Cúpula refletora de radiação ultravioleta com as 6 lâmpadas de baixa pressão de vapor de mercúrio.....	<b>62</b>

## RESUMO

SOUZA, J.B. (2000). *Desinfecção de águas com cor e turbidez elevadas: comparação técnica de processos alternativos ao cloro empregando radiação ultravioleta e ácido peracético*. São Carlos, 2000. 130 p. Dissertação (mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Neste trabalho foram realizados ensaios de desinfecção com cloro, radiação ultravioleta e ácido peracético, utilizando água sintética preparada em laboratório inoculada com os microrganismos indicadores *E. coli* cepa ATCC 25922 e colifagos, na qual se adicionou substância húmica para obtenção de cor e argila para obtenção de turbidez, com o objetivo de avaliar a interferência desses parâmetros na eficiência de desinfecção. Foram realizados ainda alguns ensaios de desinfecção com água natural. Os principais resultados obtidos referem-se àqueles em que se verificou a relação entre a qualidade da água empregada e a eficácia de inativação de *E. coli*. Nos ensaios de desinfecção com cloro, para a água com cor 5 uC e turbidez 2 uT, em quase todos os resultados obtidos para as diferentes concentrações de cloro ao longo dos tempos de contato, o NMP/100 mL final foi menor que um, no entanto, para a água com cor 20 uC e turbidez 50 uT em todos os resultados detectou-se pelo menos 1 org/100 mL para as diferentes concentrações e tempos de contato. Nos ensaios com radiação ultravioleta, a água com baixa cor e turbidez apresentou elevada inativação bacteriana (remoções maiores do que 5 log com baixa intensidade de radiação), enquanto que águas com cor e turbidez elevadas apresentaram baixa inativação (remoções menores que 1 log com elevada intensidade de radiação). Nos ensaios com ácido peracético em geral, a turbidez elevada parece não ter sido fator limitante assim como foi para os outros dois desinfetantes empregados.

Palavras Chaves: Desinfecção, água, cloro, radiação ultravioleta, ácido peracético, *E. coli* e colifagos.

**ABSTRACT**

SOUZA, J.B. (2000). *Disinfection of waters with high levels of turbidity and colour: technical supported comparison of alternative processes employing ultraviolet radiation and peracetic acid instead of chlorine*. São Carlos, 2000. 130 p. Dissertação (mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

The present work deals with disinfection trials of a laboratory prepared synthetic water through the use of chlorine, ultraviolet radiation and peracetic acid. The synthetic water was inoculated with *E. coli* cepa ATCC 25922 and coliphages microorganism indicators. In order to evaluate the role of colour and turbidity in the the disinfection efficiency, humic substance and clay were added respectively to the water. Disinfection trials were also carried out with natural water. The main results were those in which it was verified the relation between the quality of the water employed and the *E. coli* inactivation efficiency. In the disinfection trials of water with colour 5 uC and turbidity 2 uT, the different chlorine concentrations over the contact times range led to MPN/100 mL measurement values smaller than 1. However, when the colour and turbidity values were raised to 20 uC and 50 uT, respectively, the trial results were all greater than 1 org/100 mL. The disinfection trials of low colour and turbid water through ultraviolet radiation showed high bacterian inactivation (removal rates were greater than 5 log for a low intensity radiation) while low bacterian inactivation (removal rates smaller than 1 log for high intensity radiation) were obtained for high colour and turbidity water. In the disinfection trials with peracetic acid the high turbidity generally didn't seem to be a limiting factor as it was for the other two disinfectants.

Keywords: Disinfection, water, chlorine, ultraviolet radiation, peracetic acid, *E. coli* and coliphages.

Agosto → Dezembro



## 1 - Introdução

A desinfecção de águas de abastecimento é condição imprescindível para o controle de doenças veiculadas pela água. Segundo dados da Organização Mundial de Saúde (OMS), aproximadamente 50% das internações hospitalares nos países menos desenvolvidos são devidas às doenças de veiculação hídrica. Esses números não são diferentes no Brasil.

Segundo GADGIL (1998), cerca de metade da população nos países em desenvolvimento sofre de uma ou mais das seis principais doenças associadas com o consumo de água contaminada e falta de saneamento básico: 1. Diarréia – causada por variado número de microrganismos e vírus patogênicos, que podem estar presentes em alimentação e água contaminadas; 2. Ascariíase, 3. Dracunculíase, 4. Verminoses, 5. Xistossomíase – todas por infestação de vários vermes que podem levar à incapacidade, morbidez e algumas vezes à morte; e Tracoma – causada por uma bactéria que pode levar à cegueira.

Doenças infecciosas são transmitidas primariamente através da contaminação das fontes de água com excretas humanos ou de animais, os quais podem ser agentes ativos ou transportadores de doenças. O uso de tais águas para beber ou cozinhar, o contato com a mesma durante banhos, ou mesmo a inalação de pequenas gotículas (aerossóis) poderiam resultar numa infecção.

O fornecimento de água de boa qualidade é fundamental para o controle e erradicação de doenças de veiculação hídrica, porém não é suficiente. O lançamento de esgotos nas águas superficiais pode vir a contamina-las por organismos patogênicos. Como a água tem usos múltiplos, passa a ser novamente veículo de transmissão de doenças como, por exemplo, pela irrigação de hortaliças ingeridas cruas. Portanto, é necessário que se promova a desinfecção tanto de águas de abastecimento quanto de esgotos sanitários.

O uso de águas para abastecimento é muitas vezes feito sem qualquer tratamento, pois em alguns casos as características de cor e turbidez são aceitas pelos consumidores, mesmo não atendendo o padrão de potabilidade. Essa água poderá ter a qualidade melhorada adotando-se como único tratamento a desinfecção. No entanto, é necessário que se avalie a interferência da cor e da turbidez na eficiência

da desinfecção e, ainda, que se compare a ação de diferentes desinfetantes com o objetivo de se dispor de alternativas para as diferentes condições técnicas, econômicas e operacionais dos sistemas de desinfecção.

Há também em alguns casos, a necessidade de realizar a pré-desinfecção para condicionar a qualidade da água bruta à tecnologia de tratamento utilizada na estação de tratamento de água e assim reduzir o risco de distribuição de água que não atenda os padrões de potabilidade.

De acordo com TRUSSELL (1999), a desinfecção é a etapa mais importante em todo tratamento de água. No entanto, nas duas últimas décadas tem sido apontada também como a etapa que tem causado as maiores preocupações nas práticas de tratamento de água para abastecimento, e provavelmente grandes mudanças nessa área ocorrerão no início do novo milênio.

Há vários anos, o cloro como cloro gasoso ou na forma de hipoclorito de sódio ou de cálcio, vem sendo o desinfetante mais utilizado em tratamento de água para fins potáveis e na indústria em todo o mundo. É usado como desinfetante primário de águas superficiais na grande maioria das estações de tratamento de água dos Estados Unidos como pré-desinfetante (63%) ou como pós-desinfetante (67%), EPA (1999).

No entanto, tem-se verificado que substâncias húmicas em água natural, podem reagir com variados oxidantes e desinfetantes, particularmente com o cloro, produzindo trihalometanos (THM), ácidos haloacéticos (HAA), e outros subprodutos halogenados ( Disinfection By Products - DBP), sendo alguns reconhecidos como potenciais causadores de câncer (SINGER, 1999).

Como a necessidade de se desinfetar a água é mantida, passou-se a pesquisar e a utilizar métodos alternativos de desinfecção.

Encontram-se disponíveis na literatura especializada vários estudos sobre os desinfetantes ditos alternativos, tais como, ozônio, radiação ultravioleta e mais recentemente o ácido peracético.

A radiação ultravioleta vem sendo progressivamente usada como alternativa ao cloro para a desinfecção. Ao contrário de outros desinfetantes químicos, a desinfecção com radiação UV não deixa gosto ou odor na água, não apresenta riscos de superdose ou permite a formação de subprodutos indesejáveis. A alta

sensibilidade do DNA à radiação UV permite um tempo de tratamento muito curto para a desinfecção da água, em contraste ao cloro, (o qual requer tempos de contato de 30 a 60 minutos em média) a radiação UV desinfeta a água em poucos segundos. Entretanto, por não deixar residual desinfetante na água, essa tecnologia deveria ser usada apenas como um desinfetante primário seguido por um desinfetante secundário químico, para a proteção dos sistemas de distribuição de água contra a recontaminação (GADGIL, 1998).

O ácido peracético vem sendo reconhecido há alguns anos como um poderoso agente bactericida, fungicida e esporicida em diversos setores: hospitais, equipamentos de laboratórios médicos, na agricultura, na desinfecção de efluentes urbanos, etc. Em estações de tratamento de água vem sendo usado para reduzir o número de organismos fecais, além de melhorar a qualidade da água.

Segundo LEFEVRE apud JOLIVET-GOUGEON et al. (1995), o ácido peracético demonstra ser altamente competitivo em relação ao cloro, ou ozônio. Os produtos resultantes da decomposição são: peróxido de hidrogênio, oxigênio e ácido acético, todos são toxicologicamente importantes, porém nas concentrações normalmente utilizadas para a desinfecção são rapidamente solúveis em água.

Para CAIRNS (1995), o desenvolvimento de um sistema de desinfecção adequado para uma comunidade envolve diversos fatores, tais como: os objetivos da desinfecção; os microrganismos presentes na água a ser tratada, a situação dos sistemas de distribuição de água, a necessidade ou não de pré-desinfecção, as vantagens e desvantagens da tecnologia de desinfecção empregada e as opções dos locais para aplicação do desinfetante.

Segundo EPA (1999), a seleção de uma estratégia de desinfecção apropriada é dependente das condições locais específicas, devendo ser feita com orientações técnicas especializadas, onde três itens principais devem ser observados:

- ❖ água isenta de organismos patogênicos – normalmente as orientações para a obtenção de água livre de patogênicos são baseadas na remoção de bactérias coliformes, cistos de *Giardia lamblia*, *Legionella* e vírus. Recentemente esse enfoque vem sendo expandido, incluindo a remoção de oocistos de *Cryptosporidium parvum*, especialmente devido à sua resistência de inativação ao cloro;

- ❖ produção de subprodutos da desinfecção – Trihalometanos (THM), outros orgânicos halogenados, subprodutos da desinfecção com ozônio ou com outros oxidantes e alguns residuais desinfetantes, apresentam riscos à saúde e devem ter concentração limitada em águas de abastecimento;
- ❖ requerimento de residual desinfetante – para a manutenção da qualidade bacteriológica da água distribuída aos consumidores e para o controle do recrescimento de microrganismos nas redes de distribuição de água.

Alcançar a meta de se obter sistemas de desinfecção cada vez mais adequados ainda é um grande desafio. Várias opções novas estão surgindo a cada dia com esse objetivo, incluindo além dos desinfetantes alternativos, o uso de desinfetantes combinados (usados seqüencialmente ou simultaneamente) que vem aumentando significativamente nos anos recentes. Entretanto, antes que se decida pela implementação de novas tecnologias, é necessário lembrar sempre do papel fundamental que a desinfecção exerce nos tratamentos de água.

A presente pesquisa teve como objetivo obter informações sobre a desinfecção de água com cor e turbidez elevadas empregando radiação ultravioleta e ácido peracético, tendo como comparação a desinfecção com cloro. Sabe-se que existem comunidades que não dispõem de sistemas de tratamento, distribuindo água bruta diretamente à população, com maior risco de transmissão de doenças. A desinfecção como único tratamento poderá garantir a qualidade bacteriológica dessas águas, tornando-as mais seguras, mesmo com cor e turbidez elevadas se comparadas ao padrão de potabilidade da Portaria nº 36 de 19/01/90.

## 2 - Objetivos

### Objetivo geral

Avaliar métodos alternativos de desinfecção de água de abastecimento empregando radiação ultravioleta e ácido peracético, comparados ao cloro.

### Objetivos específicos

- Comparar a eficácia dos desinfetantes cloro, radiação ultravioleta e ácido peracético, para águas de estudo em condições semelhantes de concentração inicial de microrganismos, cor e turbidez;

- comparar ensaios de desinfecção utilizando água preparada em laboratório (água sintética), inoculada com microrganismos provenientes de culturas puras, com ensaios de desinfecção utilizando água natural;

- avaliar a influência da cor e da turbidez na inativação ou remoção de *Escherichia coli* e colifagos para a desinfecção com cloro, radiação ultravioleta e ácido peracético;

- avaliar as modificações ocorridas na matéria orgânica após a desinfecção.

### **3 - Revisão da literatura**

Devido à grande variedade de assuntos interligados ao tema da pesquisa, na presente revisão da literatura foi procurado dar ênfase a alguns aspectos de âmbito geral, e a outros especialmente relacionados ao trabalho experimental, tais como: considerações sobre saneamento e saúde pública, qualidade da água, a necessidade de desinfecção da água para fins potáveis, organismos indicadores, aspectos gerais da desinfecção, desinfecção com cloro, desinfecção com radiação ultravioleta e desinfecção com ácido peracético.

#### **3.1 - Saneamento e saúde, um breve histórico**

A relação entre saneamento e saúde vem sendo reconhecida pela humanidade desde os primórdios da civilização.

Alguns autores chegam a afirmar que a preocupação com a saúde pública teve início quando o homem se apercebeu que da vida em comunidade resultavam perigos especiais para a saúde dos indivíduos e foi descobrindo consciente e inconscientemente, meios de reduzir e evitar esses perigos. Assim, a experiência prática evoluiu para medidas e hábitos; estes para regras e leis, e finalmente para a construção de um esboço, mesmo incipiente, de uma atuação coletiva, constituindo a saúde pública (FERREIRA apud HELLER, 1997).

Segundo HELLER (1997), vários autores mostram a importância de medidas de saneamento para algumas antigas culturas.

Ruínas de uma antiga civilização, que se desenvolveu ao norte da Índia há cerca de 4.000 anos, indicam evidências de hábitos sanitários, incluindo a presença de banheiros e de coleta de esgoto nas construções, além de drenagem nas ruas. É igualmente de grande significado histórico a visão de saneamento de outros povos, como o registro da preocupação com o escoamento da água no Egito, os grandes aquedutos e os cuidados com o destino dos dejetos na cultura creto-micênica e as noções de engenharia sanitária dos quíchuas.

Existem relatos, do ano 2000 a.C., de tradições médicas na Índia, recomendando que “a água impura deve ser purificada, pela fervura sobre um fogo,

pelo aquecimento no sol, mergulhando um ferro em brasa dentro dela, ou pode ainda ser purificada por filtração em areia ou cascalho, e então resfriada”.

O avanço das práticas coletivas de higiene e saneamento encontrou sua expressão mais marcante na antiguidade nos aquedutos, banhos públicos, termas e esgotos romanos, tendo como símbolo histórico a conhecida Cloaca Máxima de Roma.

No entanto, apesar das manifestações de práticas sanitárias evoluídas, descritas para as culturas antigas, a humanidade, particularmente a Europa passou por longos séculos de terríveis epidemias e doenças relacionadas especialmente com falta de saneamento, crenças infundadas e precárias condições de higiene. Conseguindo se livrar daqueles verdadeiros flagelos universais, após muita transformação na sociedade, desde pequenos hábitos até mudanças profundas na concepção do mundo e da ciência da época.

Segundo PESSOA (1978), a peste, moléstia infecciosa produzida por um bacilo, a *Pasteurella pestes* transmitida ao homem por roedores, particularmente os ratos e que por tantas vezes durante vários séculos assolou a humanidade, retrocedeu diante do urbanismo, das melhorias nas construções das casas, das redes de esgotos, remoção de lixo, etc., uma vez que afastaram os ratos da convivência humana. Como exemplo das habitações da época ERASMO (Epístola, Lib.XXII), descreve as casas do povo da Inglaterra, no tempo do rei Henrique VIII: “as casas possuíam os quartos com chão de terra revestido de esteiras de junco; estas eram renovadas tão raramente que a imundície ia se acumulando sobre elas durante vinte ou mais anos, de modo a formar camadas de escarros, vômitos, urina de cães e do homem, restos de peixes e de outros alimentos, e toda sorte de outras sujidades indescritíveis” e BASCOME cita que “em Madri, até 1760 não existia uma única casa com privada; era o costume atirar-se os excretas pelas janelas à noite, os quais eram removidos pelos varredores de ruas no dia seguinte”.

A cólera, transmissível pela água, foi a doença pestilencial do século XIX. No entanto, até o estabelecimento da teoria germicida por Pasteur em meados de 1880, a relação epidemiológica entre água e doença não era bem aceita. Quando Londres passou por uma epidemia de cólera e o Dr. John Snow concluiu que o poço de água da cidade havia sido contaminado, é que a água como transportadora de organismos

e doenças foi compreendido. Este incidente foi provavelmente o primeiro apresentado como uma epidemia atribuída ao uso de água contaminada (USEPA, 1999).

Também em 1892, quando uma grande epidemia de cólera ocorreu em Hamburgo, o célebre bacteriologista Koch, mostrou que a doença era transmitida pela água consumida. Este fato marca decisivamente a epidemiologia da cólera ( e de outras afecções transmissíveis pela água ) pois determinou a adoção dos métodos de purificação bacteriológica (físicos e químicos), por todas as grandes cidades do mundo. Nesta situação a cólera perdeu grandemente sua importância, pois a chegada de um ou mais casos de cólera em uma cidade dotada de água bacteriologicamente pura, bem como de tratamento higiênico dos excretas, impedem a aparição de surtos epidêmicos da doença.

O caso da febre tifóide, como de outras doenças afins é idêntico ao da cólera. Assim as infecções intestinais deste tipo não são mais problemas epidemiológicos, mas simplesmente administrativos. Para as nações civilizadas a não existência da febre tifóide é um índice de seu adiantamento sanitário. Um país tem a febre tifóide que permitem suas organizações de saúde (PESSOA, 1978).

O desaparecimento das grandes epidemias que flagelaram a humanidade nos últimos séculos, bem como a queda vertiginosa das doenças infecciosas, verificada com maior nitidez nos países mais desenvolvidos, constituem os dois fenômenos mais marcantes no domínio da saúde pública, observados no século XX (PESSOA, 1978).

### **3.2 - Qualidade da água para fins potáveis**

[A análise física e química e principalmente o padrão bacteriológico, são indispensáveis na verificação da qualidade da água.] Assim, os principais fatores que podem tornar a água imprópria para o consumo são: microrganismos parasitas, tais como bactérias, vírus, protozoários e vermes; elementos tóxicos; sabor e odor desagradáveis; cor e turbidez; elementos corrosivos, incrustantes, etc., (BRANCO, 1978).



[ De acordo com GRAVELAND (1998), baseado nas orientações da Organização Mundial de Saúde (OMS), todos os países tem sua própria legislação com relação à água de abastecimento, devendo obedecer a aproximadamente 50 parâmetros, que podem ser divididos em quatro grupos:

- ❖ parâmetros microbiológicos (saúde pública);
- ❖ parâmetros toxicológicos (saúde pública);
- ❖ parâmetros organolépticos;
- ❖ parâmetros operacionais. ]

### **3.2.1 - Organismos patogênicos**

[ GADGIL (1998) define água potável como sendo de qualidade aceitável em termos de parâmetros físicos, químicos e biológicos, sendo que os mais comuns e mortais poluentes nas águas de consumo dos países em desenvolvimento são de origem biológica.] A Organização Mundial de Saúde (OMS) estabelece que “doenças infecciosas causadas por bactérias patogênicas, vírus e protozoários ou por parasitas são os mais comuns e difundidos riscos para a saúde associados com água de consumo”.

Os principais organismos patogênicos potencialmente presentes em esgoto sanitário, e que sistemática ou eventualmente são veiculados pela água são apresentados na TABELA 3.1.

**TABELA 3.1** - Principais patogênicos potencialmente presentes em esgoto sanitário e que podem ser veiculados pela água de consumo.

PATOGENICO	DOENÇA
<b>PROTOZOÁRIO</b>	
<i>Entamoeba histolytica</i>	Amebíase (disenteria amebiana)
<i>Giardia lamblia</i>	Giardiase
<i>Balantidium coli</i>	Balantidíase (disenteria)
<b>HELMINTO</b>	
<i>Ascaris lumbricoides</i>	Ascariíase
<i>Ancylostoma duodenale</i>	Ancilostomíase
<i>Necator americanus</i>	Necatoríase
<i>Ancylostoma</i> (spp.)	Ancilostomíase
<i>Strongyloides stercoralis</i>	Estrongiloidíase
<i>Trichuris trichiura</i>	Tricuriase
<i>Taenia</i> (spp.)	Teníase
<i>Enterobius vermiculares</i>	Oxiurose
<b>BACTÉRIA</b>	
<i>Shigella</i> (4 ssp.)	Shigelose (disenteria)
<i>Salmonella typhi</i>	Febre tifóide
<i>Salmonella</i> (~1700 spp.)	Salmonelose
<i>Vibrio cholerae</i>	Cólera
<i>Escherichia coli</i>	Gastroenterite
<i>Yersina enterocolitica</i>	Iersinose
<i>Leptospira</i> (spp.)	Leptospirose
<b>VÍRUS</b>	
Enterovirus (71 tipos) (polio, echo, Coxsackie)	Gastroenterite, anomalias no coração, meningite, etc..
Hepatite A	Hepatite infecciosa
Adenovirus (31 tipos)	Doenças respiratórias
Rotavirus	Gastroenterite
Parvovirus (2 tipos)	Gastroenterite

FONTE: adaptado de CRITES e TCHOBANOGLIOUS apud EPA (1999).

No entanto, segundo CAIRNCROSS & FEACHEM apud HELLER (1997), desde o final da década de 1970 uma nova visão a respeito das doenças infecciosas tem sido estudada, tendo por base suas vias de transmissão e seu ciclo, distintamente da classificação biológica clássica, que agrupa as doenças segundo o agente: vírus, bactéria, protozoário ou helminto. A classificação ambiental das infecções relacionadas com a água, apresentada na TABELA 3.2, origina-se da compreensão dos mecanismos de transmissão, que se agrupam em quatro categorias:

- ❖ transmissão hídrica: ocorre quando o patogênico encontra-se na água que é ingerida;
- ❖ transmissão relacionada com a higiene: identificada como aquela que pode ser interrompida pela implantação de higiene pessoal e doméstica;
- ❖ transmissão baseada na água: caracterizada quando o patogênico desenvolve parte de seu ciclo vital em um animal aquático;
- ❖ transmissão por um inseto vetor: na qual insetos que procriam na água ou cuja picadura ocorre próximo a ela são os transmissores.

**TABELA 3.2** - Classificação ambiental das infecções relacionadas com a água.

CATEGORIA	INFECÇÃO
1. Feco-oral (transmissão hídrica ou relacionada com a higiene)	Diarréias e disenterias Disenteria amebiana Balantidíase Enterite campylobacteriana Cólera Diarréia por <i>Escherichia coli</i> Giardíase Diarréia por rotavírus Salmonelose Disenteria bacilar Febres entéricas Febre tifóide Febre paratifóide Poliomielite Hepatite A Leptospirose Ascariíase Tricuríase
2. Relacionada com a higiene a) Infecções da pele e dos olhos b) Outras	Doenças infecciosas da pele Doenças infecciosas dos olhos Tifo transmitido por pulgas Febre recorrente transmitida por pulgas
3. Baseada na água a) Por penetração na pele b) Por ingestão	Esquistossomose Difilobotríase e outras infecções por helmintos

FONTE: CAIRNCROSS & FEACHEM apud HELLER (1997).

### 3.2.2 - Cor e turbidez

Apenas o critério bacteriológico não basta para a classificação de uma água. A análise física e química é também indispensável na demonstração de sua qualidade especialmente na detecção de substâncias tóxicas ou mesmo de compostos que prejudiquem esteticamente a qualidade das águas.

[A cor e a turbidez nas águas são geralmente provocadas pela decomposição da matéria orgânica e por resíduos industriais. A água com cor e turbidez elevadas originadas de matéria orgânica, quando desinfetada com cloro livre pode gerar produtos com potencial cancerígeno](Trihalometanos).

Segundo Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 18ª edição (1992), as definições de cor aparente, cor verdadeira e turbidez são as seguintes:

- ❖ a cor aparente é encontrada em amostras naturais nas quais partículas coloidais suspensas juntamente com substâncias dissolvidas definem a coloração da amostra; assim, a cor aparente é a associação da cor verdadeira com a turbidez;
- ❖ a cor verdadeira é aquela que tem origem apenas de substâncias dissolvidas na amostra, sendo obtida após a centrifugação ou a filtração de uma amostra natural;
- ❖ a turbidez é uma expressão das propriedades ópticas que faz com que a luz seja desviada e absorvida quando transmitida em feixes através da amostra. Representa o grau de interferência da passagem da luz através da água provocada pelas partículas em suspensão.

Os padrões de potabilidade estabelecem limites máximos permissíveis de cor e turbidez para águas de abastecimento. Assim sendo, quando a água natural está sujeita a sofrer variações desses fatores há necessidade de tratamento adequado visando corrigir suas características. [A presença de microrganismos na água pode também exercer influência com relação à produção de cor e turbidez nas águas de abastecimento: seja através de sua própria presença ou, ainda, como produtores de pigmentos solúveis (BRANCO, 1978). ]

### 3.3 - A necessidade de desinfecção da água de abastecimento

A água é um veículo de transmissão de doenças, conhecidas por essa razão, doenças de veiculação hídrica. No Brasil, e em vários países do mundo, grande número de leitos hospitalares estão ocupados por pessoas com doenças de veiculação hídrica. Por isso o controle dessas doenças passa obrigatoriamente pelo tratamento de água e de esgoto. O tratamento de água reduz substancialmente a incidência dessas doenças, porém, por si só, não é suficiente para erradicá-las ou mantê-las com nível de incidência muito baixo.

O ciclo pode ser mantido por outras vias, pois a água contaminada com esgoto sanitário tem outros usos como, por exemplo, irrigação, lazer e dessedentação de animais.

Segundo GADGIL (1998), o caminho mais importante para se obter água para fins potáveis, segura para uma comunidade, é a proteção das fontes e mananciais da contaminação fecal, isolando suficientemente as fontes de: depósitos de lixo, aterros, resíduos de indústrias, atividades de mineração e pedreiras, escoamentos provenientes de práticas agrícolas contendo fertilizantes, herbicidas e pesticidas. Após essa etapa, a prática recomendada é a desinfecção apropriada.

De acordo com GRAVELAND (1998), o tratamento necessário para entregar uma água higienicamente segura e microbiologicamente estável aos consumidores é dependente dos mananciais e fontes de água disponíveis e dos materiais usados nas canalizações para o transporte e a distribuição da água produzida.

No entanto, água segura para consumo, ainda permanece inacessível para cerca de 1,1 bilhão de pessoas em todo o mundo, sendo que, por hora a contaminação biológica da água mata cerca de 400 crianças com menos de 5 anos. De acordo com estimativas do banco mundial mais de 3 milhões de crianças com menos de 5 anos morrem anualmente de diarreia, contraída pelo consumo de água nos países em desenvolvimento. Adicionalmente, a causa primária do retardado crescimento de milhões de crianças nesses países, são resultado de uma pobre nutrição, em parte devido aos freqüentes ataques de diarreia, pois os mesmos inibem a habilidade do corpo em absorver os nutrientes. Os principais fatores para reduzir a

significância e o impacto das doenças diarréicas na saúde pública são boas condições sanitárias, água de boa qualidade, abundante e disponível, adequada disposição dos excretas de animais e de humanos e práticas de higiene na educação pública (GADGIL, 1998).

BRISCOE apud HELLER (1997) postula que intervenções ambientais sistêmicas, como o abastecimento de água e o esgotamento sanitário, apresentam efeitos a longo prazo sobre a saúde muito superiores aos de intervenções médicas. Baseado em uma simulação de dados demográficos de Lyon (França), entre 1816 e 1905, prevê que as intervenções ambientais podem prevenir cerca de quatro vezes mais mortes e elevar a expectativa de vida sete vezes mais do que as intervenções de natureza biomédica, afirmando que tal comportamento sugere um efeito multiplicador dos programas de abastecimento de água e esgotamento sanitário.

Vários fatores deveriam contribuir para uma preocupação mais séria com os problemas relacionados ao saneamento básico, tendo em vista a população favorecida: maior longevidade, melhoria na saúde, redução da mortalidade infantil, maior produtividade e bem-estar geral, sendo esses fatores reconhecidos como frutos do desenvolvimento de uma nação.

Como observou o Dr. Haldan Mahler, diretor geral da OMS: “um número suficiente de torneiras para 1000 pessoas, é melhor indicador de saúde do que o número equivalente em leitos de hospital (GADGIL, 1998).

### **3.4 - Organismos indicadores**

A efetividade da desinfecção é medida por meio de organismos indicadores, devido à impossibilidade de detecção e contagem de bactérias, vírus ou parasitas presentes na água (AWWA, 1998).

Segundo GADGIL (1998), embora existam hoje métodos disponíveis para enumerar a concentração de várias bactérias específicas contaminantes de águas, esses métodos são comumente complexos e consomem tempo, sendo impraticáveis para as rotinas de monitoramento de qualidade da água. O recurso mais próximo é o teste da presença de uma espécie de bactéria indicadora que sinalizaria a contaminação fecal. Assim, tal organismo deveria ter as seguintes características:

- ❖ ser facilmente isolado e enumerado;

- ❖ estar presente em grande número na matéria fecal de humanos e outros animais de sangue-quente (potenciais carregadores de patógenos humanos);
- ❖ ser mais resistentes à desinfecção do que os patógenos;
- ❖ não deveria se multiplicar em água, e sua persistência na água deveria ser comparável aos patógenos fecais;
- ❖ estar geralmente ausente em outras fontes (material vegetal, solos, etc.) que entrassem em contato com a água.

Na realidade, não existe um organismo universalmente aceito para averiguar a qualidade microbiológica da água. Os dois organismos indicadores mais comuns são os coliformes fecais e os coliformes totais (AWWA, 1998) e, segundo GADGIL (1998), dentre os organismos coliformes, especialmente a *Escherichia coli* é a que mais se aproxima dos critérios descritos acima.

O grupo coliforme inclui todos os bacilos aeróbios e facultativos, gram-negativos e não esporulados, que produzem ácido e gás a partir da fermentação da lactose. As espécies clássicas deste grupo são a *Escherichia coli* e o *Enterobacter aerogenes*. A *Escherichia coli*, é um habitante normal do trato intestinal do homem e de outros animais. O *Enterobacter aerogenes* é encontrado com mais frequência em grãos e vegetais, podendo ocorrer, também, nas fezes do homem e de animais (PELCZAR, 1981).

A efetividade dos desinfetantes é principalmente avaliada usando coliformes fecais ou *E. coli*. Entretanto, muitos estudos tem mostrado que os vírus são mais resistentes à desinfecção do que bactérias vegetativas (SOBSEY apud TREE et al., 1997).

Também, conforme observado por GADGIL (1998), as bactérias patogênicas têm resistência comparável ou menor do que os coliformes. Os enterovirus e cistos de alguns parasitas são mais resistentes. Assim, a ausência de coliformes em água desinfetada não necessariamente indica ausência de enterovirus e cistos de *Cryptosporidium parvum*, *Giardia lamblia*, ameba e outros parasitas.

Vários organismos indicadores alternativos têm sido estudados para melhor representar a inativação de vírus, do que o grupo coliforme fecal correntemente em uso. *Enterococcus faecalis* tem sido proposto como um indicador, mas



provavelmente ele compartilha com muitas das limitações dos coliformes fecais para prever o comportamento viral. O bacteriófago Sexpili específico ( $F^+$ ) apresenta propriedades morfológicas e bioquímicas semelhantes com enterovirus e os SRSVs tem sido propostos como indicadores virais (IAWPRC apud TREE et al.,1997).

Vírus entéricos humano, por exemplo SRSVs e o vírus da hepatite A, são freqüentemente identificados como agentes etiológicos responsáveis por doenças virais provenientes de contato com águas contaminadas (CUBITT apud TREE et al.,1997) e são comumente associados com surtos de doenças seguidos pelo consumo de mariscos cultivados em água contaminada (RIPPEY apud TREE et al.,1997).

ARMON e KNOTT apud BAKER e HEGART (1997) fizeram uma revisão a respeito dos bacteriófagos como organismos indicadores e concluíram que embora ainda existam limitações técnicas para o uso dos bacteriófagos como única medida de qualidade microbiológica, esses organismos mostraram bom potencial como indicadores.

Os vírus das bactérias, também chamados bacteriófagos, são amplamente distribuídos na natureza, existindo fagos para a maioria, senão a totalidade das bactérias e alguns protistas. Estruturalmente, assemelham-se aos demais vírus, sendo constituídos por ácido nucléico, circundado por uma camada protéica. Morfológicamente, porém muitos bacteriófagos apresentam uma cauda, através da qual injetam o ácido nucléico na célula hospedeira (PELCZAR, 1981).

Vários estudos vem utilizando colifagos (bacteriófago específico da *E. coli*) como um apropriado indicador fecal, devido sua constante presença em esgoto e águas poluídas. Além disso, esse grupo tem sido sugerido como um potencial indicador de poluição viral, devido sua natureza similar e características de sobrevivência no ambiente aquático.

Entretanto, alguns autores citados em MORIÑIGO et al. (1991), tem apontado desvantagens para o uso dos colifagos como indicadores como, por exemplo: (i) vírus entéricos tem sido detectado na ausência de colifagos; (ii) colifagos poderiam se multiplicar em água natural sob certas condições; (iii) colifagos foram detectados em águas não poluídas.

Assim, MORIÑIGO et al. (1991) analisaram águas marítimas e de rios, contaminadas por descargas fecais, para avaliar a confiabilidade do uso de colifagos

e de bacteriófagos RNA F-específico como indicadores de qualidade microbiológica de águas. O bacteriófago RNA F-específico não apresentou relação direta com os níveis de poluição fecal, e este grupo nunca foi detectado em amostras com níveis baixos de enterovirus (1 - 10 UFC/10 L). Em contraste, os colifagos foram constantemente detectados nas mesmas amostras, e em concentrações similares ou maiores do que recomenda a Comunidade Econômica Européia para os níveis de coliformes fecais. Eles concluíram que os colifagos deveriam ser considerados como bons indicadores da qualidade microbiológica de águas naturais.

TREE et al. (1997) realizaram experimentos de desinfecção em batelada com efluentes primários tratados com cloro e efluentes secundários tratados com radiação ultravioleta. Os experimentos de desinfecção foram realizados com esgoto esterilizado com radiação gama, e a seguir inoculado com bactérias indicadoras cultivadas em laboratório (*Escherichia coli* e *Enterococcus faecalis*), enterovirus humano (poliovirus) e com o bacteriófago F<sup>+</sup> (MS2) - um potencial indicador viral. Sob as condições experimentais empregadas, a inativação das bactérias indicadoras foi rápida em comparação à inativação do bacteriófago F<sup>+</sup> o qual foi muito resistente. O poliovirus foi significativamente mais susceptível à inativação por cloro e radiação ultravioleta do que o bacteriófago F<sup>+</sup> mas foi mais resistente do que as bactérias indicadoras em ambos os casos. Esses resultados indicaram que apenas o uso de bactérias indicadoras, para determinar a eficiência de desinfecção, quando usando cloro ou radiação ultravioleta, subestima-se a inativação de vírus entéricos humanos, e o uso do bacteriófago F<sup>+</sup> daria uma estimativa conservadora da inativação de vírus em geral.

### 3.5 - Desinfecção - aspectos gerais

A desinfecção de água e esgoto sanitário pode ser feita pela adição de produtos químicos, por processos físicos e mecânicos e por radiação.

A desinfecção química utiliza principalmente cloro gasoso, hipoclorito de sódio, hipoclorito de cálcio, dióxido de cloro, ozônio e iodo.

Os processos físicos de desinfecção utilizam o calor e a luz (radiação ultravioleta). A desinfecção pode também ser feita pela utilização de radiação

ionizante (raios gama). Neste caso obtém-se a esterilização do esgoto.

Os mecanismos envolvidos na ação do desinfetante nos organismos patogênicos podem ser reunidos em quatro grupos:

- a) destruição da parede celular, principalmente por antibióticos.
- b) alteração da permeabilidade da parede celular, por fenóis e detergentes.
- c) alteração da natureza coloidal do protoplasma, por calor, radiação, ácidos e produtos alcalinos.
- d) inibição da atividade enzimática por oxidantes.

A eficiência de desinfecção depende de fatores tais como:

#### I - Tempo de contato

Quanto maior o tempo de contato, para uma mesma dose de desinfetante, maior a eficiência de desinfecção, ou seja, menor a densidade de organismos patogênicos na água ou esgoto tratado. Entende-se por dose a quantidade de desinfetante aplicada, por exemplo, em mg/l. Na forma diferencial esta relação pode ser representada pela Equação (3.1) que integrada fornece as Equações (3.2) e (3.3).

$$\frac{dN}{dt} = -kN \quad (3.1)$$

$$\ln \frac{N}{N_0} = -kt \quad (3.2)$$

$$\frac{N}{N_0} = e^{-kt} \quad (3.3)$$

$N_0$ : concentração de microrganismos no afluente (NMP/100 mL)

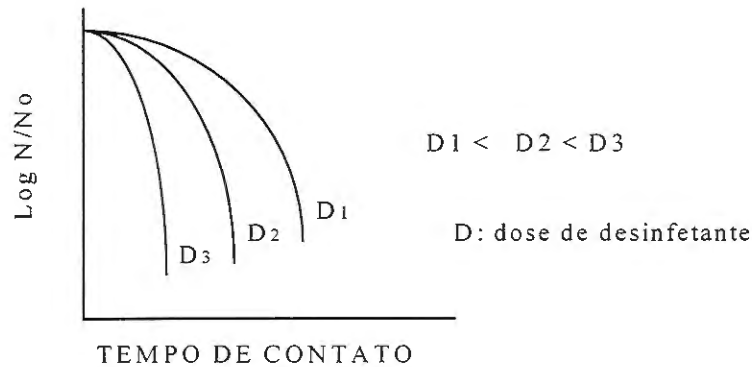
$N$  : concentração de microrganismos no efluente (NMP/100 mL)

$k$  : constante ( $\text{min}^{-1}$ )

$t$  : tempo de contato (min)

A Equação (3.1) é conhecida como Lei de Chick. A forma integrada —

Equação (3.2) — quando plotada em papel monologarítmico forma uma reta com declividade  $-k$ . Porém, os resultados experimentais, na maioria dos casos, indicam que ocorre um desvio desta lei, como o apresentado na FIGURA 3.1.



**FIGURA 3.1** - Efeito do tempo de contato e concentração de desinfetante na sobrevivência de bactérias (genérico).

Segundo METCALF e EDDY (1991), a Equação (3.4) representa melhor o comportamento da FIGURA 3.1:

$$\ln \frac{N}{N_0} = -kt^m \quad (3.4)$$

m: constante

Se  $m$  for menor que 1 a taxa de remoção decresce com o tempo. Se  $m$  for maior que 1 a taxa de remoção aumenta com o tempo.

As constantes  $k$  e  $m$  devem ser determinadas experimentalmente para cada dose de desinfetante.

## II - Concentração e tipo de agente químico

Para alguns desinfetantes químicos, como cloro, por exemplo, a eficiência de desinfecção está relacionada com a dosagem e com o tempo de contato pela Equação

(3.5):

$$C^n t = k \quad (3.5)$$

C: concentração de desinfetante

t : tempo de contato

n, k : constantes

As constantes n e k são determinadas experimentalmente. A FIGURA 3.2 é a representação genérica da Equação (3.5).

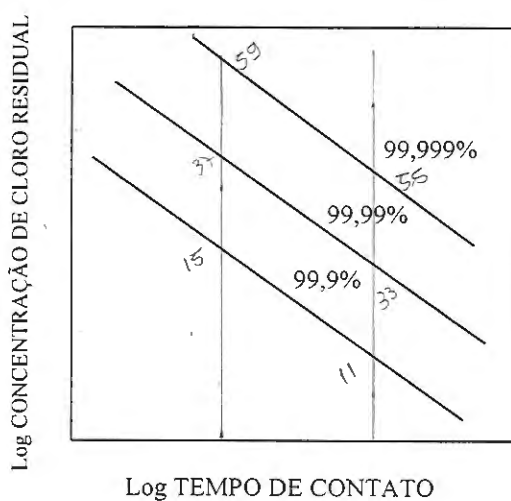
### III - Intensidade e natureza do agente físico

A ação dos agentes físicos segue também a lei de Chick, ou seja:

$$\frac{dN}{dt} = -KIN \quad (3.6)$$

K: constante

I: intensidade do agente físico



$$\begin{aligned}
 & \ln = -1,604 \quad \ln = -0,22 \\
 & \left. \begin{array}{l} N = 2 \\ N_0 = 10 \end{array} \right\} A \quad \left. \begin{array}{l} N = 8 \\ N_0 = 10 \end{array} \right\} \\
 & K = 1 \\
 & t = 1
 \end{aligned}$$

**FIGURA 3.2** - Variação da eficiência de desinfecção com o tempo de contato e dose de desinfetante (genérico).

#### IV - Temperatura

Em geral, a temperatura interfere na velocidade das reações químicas. Durante a desinfecção quanto maior a temperatura maior a velocidade de inativação de microrganismos.

#### V - Número de organismos

Para esgotos e águas com concentrações de microrganismos normalmente diluídas a interferência é pequena.

#### VI - Tipos de organismos (forma vegetativa, esporulada ou encistada)

Há organismos que apresentam maior resistência aos agentes desinfetantes. Por exemplo, a FIGURA 3.3 mostra as diferentes resistências de alguns organismos patogênicos.

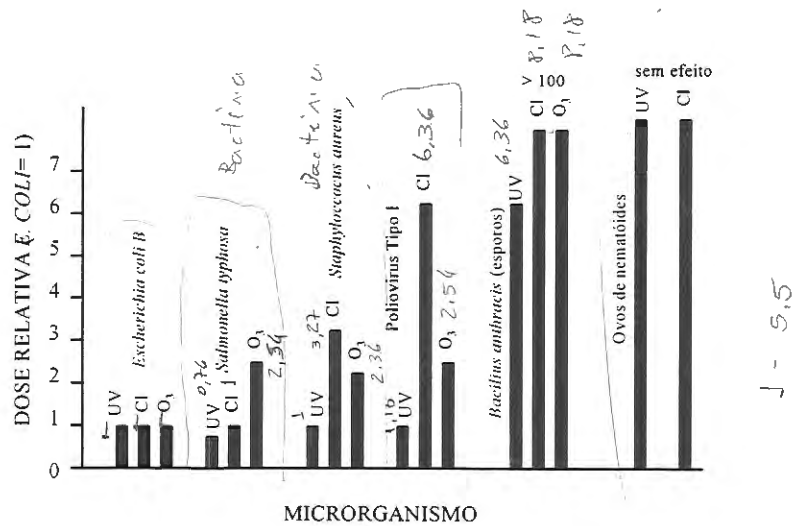


FIGURA 3.3 - Dose relativa para inativação de microrganismos (*E. coli* = 1).

FONTE: YIP & KONASEWICH apud DANIEL (1989).

#### VII - Natureza do esgoto e da água.

O líquido a ser desinfetado deve ser cuidadosamente avaliado. Por exemplo, material orgânico reage com a maioria dos desinfetantes oxidantes, reduzindo a efetividade dos mesmos. Também a turbidez reduz a efetividade dos desinfetantes, principalmente devido ao efeito da absorção e da proteção aos microrganismos.

### **3.6 - Desinfecção com cloro**

A utilização do cloro como desinfetante remonta ao início do século XX. É uma tecnologia mundialmente conhecida e emprega cloro gasoso, hipoclorito de sódio ou hipoclorito de cálcio. O cloro é um desinfetante eficiente e de baixo custo operacional.

Desde que a água de abastecimento foi pela primeira vez clorada, há mais de um século, a cloração tem realizado um papel dominante, providenciando segurança microbiológica à água (TRUSSELL, 1999).

Um desinfetante usado para o tratamento de águas de consumo deveria ser efetivo contra um amplo espectro de organismos, incluindo bactérias, vírus e protozoários. O cloro é um forte oxidante e agente desinfetante, é um efetivo biocida contra patógenos de veiculação hídrica, sendo importante na prevenção de doenças infecciosas como cólera, febre tifóide, disenteria amebiana, gastroenterite bacteriana, sigelose, salmonelose, iersinose, xistosomíase, giardiase e várias infecções virais como a hepatite A (PONTIUS, 1997).

#### **3.6.1 - Vantagens e desvantagens da cloração**

Dentre as várias vantagens do uso do cloro como agente desinfetante de águas de abastecimento, destacam-se:

- ❖ remoção de cor;
- ❖ melhorias no gosto e odor;
- ❖ é um efetivo biocida;
- ❖ é o método de desinfecção mais fácil e mais barato;
- ❖ é o método de desinfecção mais usado, e além disso o mais conhecido;

- ❖ está disponível como hipoclorito de sódio e de cálcio, sendo esses mais vantajosos para sistemas pequenos do que o cloro gasoso, porque são mais seguros, mais fáceis de manusear, e são necessários menos equipamentos, comparados ao cloro gasoso;
- ❖ mantém residual desinfetante na água.

Uma importante característica de um desinfetante de água de abastecimento, é a sua habilidade para continuar a prevenir ou inibir o crescimento microbiano depois da água tratada entrar no sistema de distribuição. O cloro tem o potencial de deixar um residual desinfetante no sistema de distribuição, que protege contra a recontaminação, que pode ocorrer depois que a água deixa a estação de tratamento (PONTIUS, 1997).

Também para GADGIL (1998), a maior vantagem do cloro é a sua capacidade de deixar uma concentração residual de desinfetante no suprimento de água, sendo que um residual de cloro livre de 0,25 mg/L é considerado adequado para climas quentes (água a 20°C), para água contendo carbono orgânico total menor do que 0,25 mg/L. O cloro residual reprime o recrescimento de bactérias persistentes, e protege contra a recontaminação da água por patogênicos. No entanto, grandes quantidades de patogênicos e matéria orgânica, podem acabar com a proteção providenciada pelo cloro residual, devido, por exemplo, a vazamentos nas redes subterrâneas de água e esgoto.

Dentre as desvantagens da cloração em geral, pode-se citar algumas:

- ❖ o cloro gasoso é perigoso e corrosivo;
- ❖ tipicamente, hipocloritos de cálcio e sódio são mais caros do que o cloro gasoso;
- ❖ o hipoclorito de sódio degrada com o tempo e com exposição à luz;
- ❖ o hipoclorito de cálcio deve ser armazenado em local fresco e seco;
- ❖ a cloração é menos efetiva em pH elevado;
- ❖ potencialidade de formação de subprodutos.



### 3.6.3 - Formação de subprodutos

Apesar da importância mundial do uso do cloro, para a redução de doenças veiculadas pela água, em 1974 a segurança quanto ao seu uso foi questionada quando se observou a formação de trihalometanos (THM) em águas de abastecimento cloradas. A partir de então, a formação e os malefícios potenciais desses subprodutos tem sido extensivamente investigados e documentados por vários autores.

Segundo THOMPSON et al. (1990), o clorofórmio e outros THM foram os primeiros subprodutos identificados, monitorados e regulamentados. A partir daí um grande número de subprodutos tem sido identificado, podendo-se dividi-los nas seguintes classes:

- 1) clorofórmio e outros THM;
- 2) subprodutos organo-clorados purgáveis;
- 3) ácido tricloroacético (TCAA), ácido dicloroacético (DCAA) e outros ácidos de cadeia curta;
- 4) clorohidroxifuranos (CHF);
- 5) subprodutos recalcitrantes.

Os THM e os NPTOX (nonpurgeable total organic-halide) são compostos formados como subprodutos, quando águas naturais são desinfetadas com cloro livre. Os THM são clorofórmio, bromodiclorometano, clorodibromometano e bromofórmio, tendo sido fixado pela agência de proteção ambiental dos Estados Unidos em 1979 um nível máximo de contaminação (MCL) de 100 µg/L dos quatro compostos THM em água de abastecimento. Os subprodutos NPTOX são compostos clorados e bromados com peso molecular superior e volatilidade inferior aos THM. Devido suas baixas concentrações, a quantificação e a identificação dos compostos NPTOX individuais, são difíceis de serem feitas. Conseqüentemente, esses compostos usualmente são determinados como um parâmetro de grandeza designado fração de NPTOX. Ainda não foi fixada a concentração permissível para esses compostos em água potável (RATHBUN, 1996).

Outros produtos da cloração, potencialmente prejudiciais à saúde humana, são, por exemplo, as haloacetoneitrilas, halocetonas, ácidos haloacéticos, clorofenóis, dentre outros.

### **3.6.3.1 - Prováveis causas da formação dos subprodutos**

O grau de toxicidade da cloração independe da quantidade adicionada, mas sim da concentração e composição do cloro residual total (livre ou combinado), sendo que essa toxicidade depende de fatores como presença de compostos orgânicos, pH, temperatura e tempo de contato (HESPANHOL apud SAMPAIO, 1985).

Pesquisas tem mostrado que o cloro pode formar THM quando em contato com substâncias húmicas, que incluem ácidos húmicos, ácidos fúlvicos e ácido himatomelânico, com materiais de algas, principalmente a clorofila, a biomassa das algas e seus produtos extracelulares e também com uma variedade de substâncias aromáticas que ocorrem naturalmente em águas (MUTTAMARA et al., 1995).

Sabe-se também que o emprego de cloro em água que contenha substâncias húmicas e outros compostos orgânicos pode levar à formação de vários produtos prejudiciais à saúde. A presença de trihalometanos normalmente é atribuída às reações do cloro com substâncias húmicas.

Segundo RATHBUN (1996), pesquisas tem sido direcionadas para a identificação das variáveis relacionadas à formação dos subprodutos da desinfecção. Há evidências de que o carbono orgânico é o precursor para a formação desses subprodutos, com a concentração do subproduto dependente da concentração e em alguns casos da composição do carbono orgânico. Diversas variáveis, no entanto, afetam a concentração dos subprodutos, entre elas incluem: concentração de cloro livre usado no processo de desinfecção, o pH no qual a água é clorada, o tempo de reação e a temperatura.

### **3.6.3.2 - Efeitos adversos à saúde humana**

Os trihalometanos são potencialmente cancerígenos e as haloacetoneitrilas

podem ter ação mutagênica e podem induzir o desenvolvimento de tumores.

O clorofórmio, uma das espécies de THM, tem sido apontado como tóxico e carcinogênico sobre as funções renais. Assim, a ocorrência dessas substâncias na água de abastecimento, tem causado preocupação entre as autoridades de saúde pública em geral. Tais efeitos deveriam ser cuidadosamente examinados e possíveis desinfetantes alternativos deveriam ser adotados para minimizar a contaminação química e ainda controlar efetivamente os patogênicos (MUTTAMARA et al., 1995).

A maioria dos efeitos resultantes da exposição aos trihalometanos, e particularmente clorofórmio, é o desenvolvimento de câncer. O clorofórmio tem provocado efeitos cancerígenos em ratos e camundongos (JOLLEY et al., 1990).

Os trihalometanos brominados, apesar de apresentarem toxicidade similar ao clorofórmio, possuem poucos estudos relacionados com esta toxicidade. Em geral, o clorofórmio produz efeitos sobre o fígado e rins e também diminuição da função imunológica (comprovado em ratos e camundongos) (JOLLEY et al., 1990).

As haloacetônitrilas podem apresentar ação mutagênica (demonstrada em *Salmonella sp*) e induzir o desenvolvimento de tumores (comprovado em camundongos) (CONDIE, 1986).

No entanto, antes que se decida sobre a eliminação da desinfecção com cloro ou a substituição por outro desinfetante, é necessário avaliar ponderadamente a relação benefício-prejuízo. Os males causados pelos subprodutos da cloração podem ser menos prejudiciais à saúde do que as doenças de veiculação hídrica a que a população estaria sujeita em caso de não haver nenhum tipo de desinfecção.

No final da década de 1980, e início de 1990, uma epidemia de cólera atingiu o Peru depois que o país suspendeu a cloração da água, visando a não exposição da população aos Trihalometanos. Essa falha causou e fez propagar a epidemia que levou cerca de 4000 vidas, apenas em 1991. Essa é uma trágica lembrança da importância da desinfecção com cloro (HOWLETT, 1995).

GADGIL (1998) concorda que a qualidade microbiológica da água deverá ser prioridade sobre a qualidade química, sempre que existir um conflito entre as duas, exceto em casos nos quais provas inequívocas existirem de que a natureza e a concentração de contaminantes químicos sejam mais nocivos à saúde humana do que a ingestão de organismos patogênicos. Isso é de particular relevância no que diz

respeito aos subprodutos da desinfecção em água, que são potencialmente prejudiciais. Por essa razão a OMS estabelece que “os riscos para a saúde desses subprodutos são extremamente pequenos em comparação aos riscos de uma desinfecção inadequada.”

#### 3.6.4 - Eficácia de desinfecção

Embora existam grandes diferenças na susceptibilidade de inativação de vários patogênicos, a ordem crescente geral de dificuldade de desinfecção com cloro é a seguinte: bactérias, vírus e protozoários.

Segundo GRAVELAND et al. (1998), o cloro tem capacidade suficiente para inativação de bactérias; para a inativação de vírus, altas doses de cloro são necessárias, e o mesmo tem uma capacidade muito limitada para a inativação de cistos de protozoários.

Alguns organismos patogênicos são mais resistentes ao cloro do que as bactérias coliformes. Por exemplo, os vírus especialmente os causadores da hepatite infecciosa, embora sejam reduzidos de 95 a 99% na coagulação e sedimentação, apresentam-se mais resistentes à ação do cloro que as bactérias patogênicas e coliformes, exigindo concentração residual maior que 0,5 mg/L, algumas vezes (dependendo de fatores como temperatura, pH e outros), para serem destruídos. A hipótese é de que a ação bactericida do cloro se dê por inibição enzimática, bloqueando o metabolismo respiratório da bactéria. Sendo os vírus seres desprovidos de enzimas, a sua destruição só é possível por oxidação direta da matéria protéica, o que exige muito mais cloro. Pesquisas tem revelado a grande importância do controle da turbidez nas águas submetidas à cloração, tendo em vista a destruição de vírus (BRANCO, 1978).

Conforme JOHNSON et al. (1997), as orientações da OMS estabelecem que, para se obter água isenta de vírus, o tempo de contato entre a água e o cloro deveria ser de 30 minutos, e o residual de cloro livre deveria ser no mínimo de 0,5 mg/L, em águas com pH menor 8,0 e turbidez menor que 1 NTU.

Testes sobre a inativação de vírus foram realizados com cloro residual livre de 0,4 mg/L, em pH 7,0, numa temperatura de 5°C, e tempos de contato de 10, 100 e

1000 minutos. Esses testes mostraram que das 20 culturas testadas, apenas para 2 cepas de poliovírus obteve-se 99,99% de inativação depois de 10 minutos (CT = 4 mg.min/L), para 6 cepas de poliovírus obteve-se 99,99% de inativação depois de 100 minutos (CT = 40 mg.min/L), e para 11 cepas de poliovírus, e mais uma cepa de *Coxsackievírus* obteve-se 99,99% de inativação depois de 1000 minutos (CT = 400 mg.min/L), (AWWA apud EPA 1999).

Em Nova Delhi, na Índia, cerca de 1.000.000 de pessoas (numa população de 1.700.000), foram infectadas pelo vírus da hepatite infecciosa, abastecendo-se de águas aparentemente satisfatórias, quando considerados os coliformes como indicadores de qualidade de água. A água era submetida a pré-sedimentação, coagulação e floculação com sulfato de alumínio, decantação com tempo de detenção de 6 horas, filtração em filtros rápidos de areia e cloração com cloro combinado (cloraminação). Os reservatórios de distribuição de água na cidade apresentavam, na época em que se verificou a epidemia, 0,15 a 0,20 mg/L de cloro residual. Os dados sobre coliformes não indicavam evidência de contaminação (BRANCO, 1978).

O cloro também tem apresentado limitações na inativação de protozoários. Dados obtidos durante um estudo em 1984 indicaram que a resistência de cistos de *Giardia lamblia* é de duas ordens de magnitude maior do que de enterovirus e mais de três ordens de magnitude maior do que a de bactérias entéricas (HOFF et al. Apud EPA, 1999).

O cloro tem pequeno impacto sobre oocistos de *Cryptosporidium parvum*, quando usado nas doses relativamente baixas (por exemplo, 5 mg/L) utilizadas em tratamento de água (EPA, 1999).

GYURÉK et al. apud EPA (1999), concluíram que “nenhuma inativação foi observada” quando oocistos de *Cryptosporidium parvum* foram expostos a concentrações de cloro livre variáveis de 5 a 80 mg/L em pH 8, temperatura de 22°C e tempo de contato de 48 a 245 minutos.

### **3.7- Desinfecção com radiação ultravioleta**

#### **3.7.1 - Generalidades**

A desinfecção química com cloro tem sido o meio de desinfecção mais popular, especialmente na América de Norte. Entretanto, com o aumento dos conhecimentos científicos a respeito dos desinfetantes ditos alternativos, e uma maior aceitação da população em geral, mais ciente e sensível às questões sobre saúde, segurança e economia, vem-se empregando esforços em pesquisas para melhoria dos processos de tratamento de água (CAIRNS, 1995).

A desinfecção com radiação ultravioleta (UV) é um método tecnicamente viável que não implica na adição de produtos químicos à água ou esgoto. As poucas alterações que ocorrem na matéria orgânica pela ação da radiação ultravioleta não são prejudiciais à saúde humana nem ao meio ambiente.

Segundo GADGIL (1998), a eficiência energética do tratamento UV é muito alta. Comparado à fervura, a desinfecção com radiação UV pode requerer 20.000 vezes menos energia primária (assumindo um projeto empregando  $38.000 \mu\text{W.s.cm}^{-2}$  de dose de energia UV, para água).

### 3.7.2 - Fontes de emissão e dose

As lâmpadas de baixa pressão de vapor de mercúrio são a principal fonte de radiação ultravioleta utilizada na desinfecção de águas de consumo humano e de esgotos sanitários. Segundo vários autores estas lâmpadas emitem de 85 a 90% da sua energia no comprimento de onda de 254 nm que é efetiva na inativação de microrganismos (DANIEL, 1993).

As lâmpadas de baixa pressão de vapor de mercúrio têm vida útil longa, de 4.000 a 5.000 horas de uso contínuo. O principal processo de deterioração é o desgaste dos eletrodos (HUFF et al. apud DANIEL, 1993).

A desinfecção com radiação ultravioleta depende diretamente da dose recebida que é igual ao produto da intensidade de radiação pelo tempo de exposição.

Segundo GADGIL (1998), a dose de radiação ultravioleta necessária para inativar 90% de *E. coli* é de  $3000 \mu\text{W.s.cm}^{-2}$ . Outras bactérias patogênicas e vírus tem doses de magnitude similar (para o rotavírus, a dose de inativação é de cerca de  $8000 \mu\text{W.s.cm}^{-2}$ , sendo a mais alta entre os vírus). Por outro lado, doses de radiação ultravioleta muito mais elevadas são necessárias para inativar cistos de protozoários,

tais como *Giardia lamblia* e *Cryptosporidium parvum*.

Conforme CAIRNS (1995), a radiação ultravioleta é um desinfetante muito efetivo contra vírus e bactérias. A TABELA 3.3 mostra a porcentagem de redução de diferentes bactérias e vírus quando irradiados com uma dose de 20 mW.s.cm<sup>-2</sup>. Doses típicas para água de abastecimento variam de 16 a 40 mW.s.cm<sup>-2</sup> dependendo da qualidade da água, da eficiência de desinfecção desejada, etc.

**TABELA 3.3** - Porcentagem de inativação de diferentes organismos, quando expostos a uma dose de radiação ultravioleta de 20 mW.s.cm<sup>-2</sup>.

ORGANISMO	PORCENTAGEM DE INATIVAÇÃO
<i>Bacillus anthracis</i>	99.9964 %
<i>Clostridium tetani</i>	97.8456
<i>Corynebacterium diphtheria</i>	99.9999
<i>Escherichia coli</i>	99.9999
<i>Legionella pneumophila</i>	99.9999
<i>Mycobacterium tuberculosis</i>	99.9536
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	99.9769
<i>Salmonella paratyphi</i>	99.9999
<i>Shigella dysenteriae</i>	99.9999
<i>Streptococcus faecalis</i>	99.9972
<i>Vibrio cholera</i>	99.9162
<i>Influenza virus</i>	99.9997
<i>Poliovirus</i>	99.7846
<i>Rotovirus (Reovirus)</i>	98.3014
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	99.8179

FONTE: CAIRNS (1995)

### 3.7.3 - Mecanismos de inativação e de reparo das lesões

A radiação ultravioleta inativa microrganismos por absorção da luz, que causa uma reação fotoquímica que altera componentes moleculares essenciais para o

funcionamento das células. Como os raios ultravioleta penetram a parede celular dos microrganismos, a energia reage com os ácidos nucléicos e outros componentes celulares vitais, resultando em dano ou morte das células expostas (EPA, 1999).

A radiação ultravioleta atua principalmente nos ácidos nucléicos (DNA), promovendo reações fotoquímicas, dimerizando as purinas e pirimidinas, com maior formação de dímeros de timina. A maior produção de dímeros ocorre no comprimento de onda de 260 nm . Estes dímeros impedem a duplicação dos microrganismos, inativando-os (HARM, 1980).

Entretanto, pode ocorrer desdimerização desde que o microrganismo irradiado seja exposto em radiação de comprimento de onda de 300 a 500 nm (fotorreativação). A formação e o acúmulo de dímeros depende do comprimento de onda e da dose de radiação absorvida. A 254 nm a formação de dímeros é cerca de oito vezes mais freqüente que a desdimerização.

O mecanismo de recuperação no escuro ocorre na ausência de luz e envolve o reconhecimento enzimático de um dímero numa cadeia de DNA. O dímero é retirado da molécula de DNA e a seqüência original é recuperada (WATER ENVIRONMENT FEDERATION, 1996).

#### **3.7.4 - Vantagens e desvantagens da radiação ultravioleta**

Segundo CAIRNS (1995), são várias as razões para a escolha da radiação ultravioleta como agente desinfetante em tratamento de água, dentre elas:

- ❖ a radiação ultravioleta é efetiva para uma grande variedade de bactérias e vírus, usando doses relativamente baixas;
- ❖ mínimos riscos à saúde (a formação de subprodutos é mínima);
- ❖ não deixa residual, o qual poderia reagir com substâncias orgânicas na produção comercial ou industrial (por exemplo: nenhuma descoloração ou mudança de sabor são produzidas, quando se utiliza radiação ultravioleta em indústria alimentícia);
- ❖ segurança e aceitação dos operadores e do público (nenhum produto tóxico químico é transportado, armazenado ou manuseado);
- ❖ simplicidade e baixo custo de operação e manutenção (o equipamento de



radiação ultravioleta é mais simples do que os equipamentos de geração de ozônio e dióxido de cloro);

- ❖ mínimo tempo de contato, conseqüentemente não necessitando de grandes tanques de contato (doses efetivas de desinfecção são alcançadas em poucos segundos, comparado com 10 a 60 minutos de outras tecnologias de desinfecção).

Dentre as desvantagens da desinfecção com radiação UV, destacam-se:

- ❖ as doses baixas podem não inativar alguns microrganismos;
- ❖ os mecanismos de reparo do dano provocado ao DNA dos microrganismos, se uma dose sub letal for administrada;
- ❖ a matéria dissolvida ou em suspensão reduz a intensidade de radiação quando esta atravessa a lâmina líquida;
- ❖ não deixa residual na água distribuída.

No entanto, para RICE et al. e HERSON et al. apud CAIRNS (1995), o fato da radiação UV não deixar residual desinfetante na água, tem sido erroneamente apontado como argumento para o uso do cloro ao invés da radiação UV, pois, na realidade, existe um potencial para a formação de biofilme nas redes de distribuição de água. Se a água contiver nutrientes (particularmente carbono orgânico assimilável), eles podem se acumular em torno das canalizações, dando suporte ao crescimento microbiano, e mesmo a presença de 1 mg/L de cloro residual livre não seria garantia de que o biofilme não seria formado nas superfícies das canalizações e os coliformes fecais não seriam encontrados nas águas de torneira dos consumidores.

Para CAIRNS (1995), a melhor estratégia de desinfecção, deveria incluir: pré-tratamento, para produção de água de excelente qualidade, com remoção das partículas orgânicas por filtração; remoção de nutrientes solúveis através de filtros biologicamente ativos e desinfecção com radiação UV; subseqüentemente, a água tratada iria para o sistema de distribuição com boa manutenção, sem empregar residual de cloro livre. Já existem comunidades na Europa e nos Estados Unidos que não adicionam cloro para obtenção de residual em sua água de abastecimento.

### 3.7.5 - Eficácia de desinfecção

A desinfecção com UV tem sido empregada por ser adequada na inativação de vírus e bactérias. Oocistos de protozoários, em particular *Giardia lamblia* e *Cryptosporidium parvum*, são consideravelmente mais resistentes à inativação com UV do que outros microrganismos (EPA, 1999).

SHABAN et al. (1997) estudaram o efeito da radiação UV na inativação de diferentes microrganismos. Os microrganismos foram inoculados em água de torneira estéril e essa água foi exposta à radiação UV em reator de batelada, com valores de turbidez variados. Adicionalmente, foram realizados experimentos de desinfecção em águas do rio Nilo. As conclusões obtidas por esses pesquisadores foram:

- ❖ com tempo de contato de 20 segundos, a radiação UV foi eficiente na inativação de bactérias e algas, em água contendo turbidez;
- ❖ bactérias formadoras de esporos e colifagos foram mais resistentes à radiação UV do que células vegetativas;
- ❖ leveduras e *Aeromonas* foram mais resistentes à radiação UV do que outras comunidades microbianas das águas do rio Nilo;
- ❖ a radiação UV teve um efeito reduzido sobre os microrganismos quando a turbidez foi maior que 5 NTU;
- ❖ processos enzimáticos de fotoreativação para os microrganismos irradiados, foram mais rápidos do que os de reparo no escuro.

RAJALA-MUSTONEN et al. (1997) realizaram experimentos de desinfecção em laboratório, em reator de radiação ultravioleta tipo batelada, inoculando colifagos em esgoto tratado. Verificou-se que a radiação ultravioleta foi bastante efetiva na inativação de colifagos, obtendo-se redução maior do que 5 log e cerca de 3 log depois de 5 minutos de tempo de contato, para os fagos DNA e RNA respectivamente. A turbidez variou de 9 a 10 NTU para ambos os fagos.

TOSA & HIRATA (1999) fizeram um estudo com o objetivo de determinar a

susceptibilidade de bactérias enterohemorrágicas *E.coli* (EHEC) 0157:H7 e O26 à radiação ultravioleta a 254 nm e ao efeito da fotorreativação. As conclusões obtidas foram: a dose de radiação ultravioleta requerida para 90 e 99% de inativação de EHEC 0157:H7 foi 1,5 e 3,0 mW.s.cm<sup>-2</sup> respectivamente; a dose de radiação ultravioleta requerida para 90 e 99% de inativação de EHEC O26 sem fotorreativação foi 5,4 e 8,1 mW.s.cm<sup>-2</sup>, respectivamente; a fotorreativação com luz visível emitida por lâmpada fluorescente foi observada em EHEC O26, mas não em EHEC 0157:H7; a dose de luz ultravioleta requerida para 90% de inativação de EHEC O26 após a fotorreativação foi de 12,0 mW.s.cm<sup>-2</sup>.

### 3.7.6 - Fatores interferentes

A efetividade dos sistemas de desinfecção com radiação ultravioleta depende das características do líquido a ser desinfetado, da intensidade da radiação ultravioleta, do tempo que os microrganismos são expostos à radiação ultravioleta e da configuração do reator (EPA, 1999).

Dentre as características do líquido a ser desinfetado incluem: partículas sólidas em suspensão ou coloidal, densidade inicial de bactérias, e outros parâmetros físico-químicos.

Embora a concentração de sólidos suspensos seja um importante parâmetro na desinfecção com radiação ultravioleta, exerce maior influência a distribuição dos tamanhos das partículas em suspensão. Um microrganismo que se mantém no interior de uma partícula de sólido dificilmente será atingido pela radiação e inativado (DANIEL, 1993).

A transmissão de radiação ultravioleta no ar, no invólucro de quartzo da lâmpada e no líquido a ser desinfetado segue a lei de BEER-LAMBERT. Segundo KOLLER (1952), a absorção pelo ar pode ser desprezada devido às pequenas distâncias entre a fonte emissora de radiação e o esgoto ou água a serem desinfetados nas câmaras de desinfecção.

O tempo de exposição necessário depende das características da água ou esgoto e da hidrodinâmica do reator de desinfecção.

A forma mais simples de relação dose-sobrevivência é estabelecida quando a

cada aumento de dose reduz-se o número de unidades biológicas sobreviventes de uma população por um fator constante.

A intensidade de radiação não é constante devido a absorção pelo próprio líquido e pelos materiais dissolvidos e em suspensão. Na Equação (3.7) pode-se utilizar a intensidade média calculada pela lei de BEER-LAMBERT.

$$\frac{N}{N_0} = \exp(-kIt) \quad (3.7)$$

N: concentração de microrganismos no efluente (NMP/100 ml)

$N_0$ : concentração de microrganismos no afluente (NMP/100 ml)

k: constante de inativação ( $\text{mW}^{-1}\text{s}^{-1}\text{cm}^2$ )

I: intensidade de radiação ( $\text{mWcm}^{-2}$ )

t: tempo de exposição (s)

A agregação ou oclusão dos microrganismos na matéria particulada impede a penetração da radiação ultravioleta, reduzindo a eficiência da inativação. Partindo da Equação (3.7), considerando os efeitos da presença de sólidos suspensos, separando as frações de microrganismos agregados e não agregados aos sólidos e a intensidade média de radiação obtém-se a Equação (3.8), cuja descrição detalhada está em WATER ENVIROMENT FEDERATION (1996).

$$N = (N_0) \exp\left\{-kI_0 t \left[\frac{1 - \exp(-aL)}{aL}\right]\right\} + N_p \quad (3.8)$$

$I_0$ : intensidade de radiação na superfície irradiada ( $\text{mWcm}^{-2}$ )

a: coeficiente de extinção a 254 nm ( $\text{cm}^{-1}$ )

L: espessura da lâmina líquida (cm)

$N_p$ : concentração de microrganismos associados aos sólidos em suspensão (NMP/100 ml)

Outros fatores que afetam a intensidade da radiação UV são: idade das

lâmpadas, deposição de matéria orgânica e inorgânica nas lâmpadas, a configuração e a localização das lâmpadas no reator (EPA, 1999).

Quanto às propriedades de um reator UV, idealmente um sistema de desinfecção UV deveria ter uma vazão uniforme, com mistura radial para maximizar a exposição à radiação UV. O caminho que os microrganismos tomam dentro do reator, determina a quantidade de radiação UV a que eles se expõem. Assim, um reator deveria ser projetado de forma a eliminar curto-circuitos e zonas mortas, de forma a tornar mais eficiente o sistema de desinfecção e reduzir os tempos de contato (EPA, 1999).

Quanto aos materiais, são poucos os que apresentam boa reflexão para radiação ultravioleta e nem todos que são bons refletores de radiação visível são bons refletores de radiação ultravioleta. O alumínio tem uma série de características que o torna o material mais apropriado para a construção de refletores de ultravioleta. Entre as várias características, podem ser citadas a facilidade em ser moldado, ser leve e ser o metal que apresenta maior poder de reflexão para o comprimento de onda de 254 nm, refletindo de 60 a 90% de radiação incidente em superfícies polidas e de 40 a 60% em superfícies revestidas com pintura a base de alumínio (KOLLER, 1952).

O número de lâmpadas a ser usado em reator de lâmpadas emersas e submersas pode ser calculado pela equação (3.9).

$$n = \frac{QD}{P} \quad (3.9)$$

n: número de lâmpadas

Q: vazão (m<sup>3</sup>/h)

D: densidade de potência (Wh/m<sup>3</sup>)

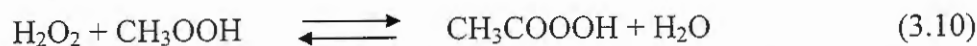
P: potência nominal da lâmpada (W)

O dimensionamento deve ser feito para vazão máxima.

### 3.8 - Desinfecção com ácido peracético

#### 3.8.1 - Generalidades

O ácido peracético é formado pela reação de ácido acético e peróxido de hidrogênio de acordo com a reação:



Portanto, todas as espécies estão em equilíbrio de acordo com a equação (3.11):

$$K_{eq} = \frac{[\text{CH}_3\text{COOOH}][\text{H}_2\text{O}]}{[\text{CH}_3\text{COOH}][\text{H}_2\text{O}_2]} \quad (3.11)$$

O ácido peracético é um líquido incolor, com odor acre e irritante. Explode quando aquecido acima de 110 °C.

A toxicidade aguda do ácido peracético é baixa. Pode ser extremamente irritante à pele, olhos e trato respiratório, se a concentração for elevada. O contato da pele ou olhos com solução de ácido peracético a 40% pode causar queimadura. A inalação de concentração elevada de vapores de ácido peracético pode causar sensação de queimadura, tosse, ofego e falta de ar. Pode formar misturas explosivas com substâncias facilmente oxidáveis.

Não há registros na literatura de que o ácido peracético possa ser cancerígeno ou apresentar toxicidade na reprodução e desenvolvimento humano. Há evidências de que este composto seja cancerígeno fraco a animais (ratos).

Os ensaios de toxicidade indicam limites LD<sub>50</sub> de 1540 mg/kg (aplicação oral em ratos) e LD<sub>50</sub> de 1410 mg/kg (aplicação cutânea em coelhos).

### 3.8.2 - Utilizações

Observando a literatura, verifica-se que o ácido peracético vem sendo muito utilizado como agente desinfetante, em variados setores:

- ❖ como agente bactericida, virucida, esporicida e fungicida;
- ❖ na agricultura, como agente germicida, na pulverização de frutas e vegetais, HULL (1960);
- ❖ usado em solução aquosa, em aerossol ou vapor, para esterilização em hospitais e laboratórios, de equipamentos cirúrgicos e de endoscopia;
- ❖ como um biocida em águas de circuito industrial; para a desinfecção de

efluentes secundários e de lodos proveniente do tratamento de esgotos, BALDRY & FRENCH (1989);

- ❖ recentemente tem sido introduzido como um desinfetante em estações de tratamento de água, (ALASRI et al., 1992).

É utilizado na desinfecção de equipamentos de indústrias alimentícias por apresentar as vantagens de atuar amplamente em diferentes microrganismos, o residual se decompõe na água em oxigênio e ácido acético (vinagre), eficiente em ampla faixa de pH e temperatura, não introduz ou altera o sabor, odor e cor do produto final.

### **3.8.3 - Mecanismo de inativação**

Segundo JOLIVET-GOUGEON et al. (1995), o ácido peracético provavelmente rompe ligações sulfídricas e sulfúricas nas enzimas, e conseqüentemente, componentes importantes das membranas são quebrados por rompimento oxidativo. É provável também que o ácido peracético tenha a capacidade de deslocar funções químicas de transporte da membrana por meio de ruptura ou deslocamento da parede celular, impedindo seriamente a atividade celular.

O ácido peracético dentro da célula pode também oxidar enzimas essenciais, e desse modo, caminhos bioquímicos vitais, transporte ativo através das membranas, e os níveis de soluto dentro das células são prejudicados (BALDRY & FRASER, apud JOLIVERT-GOUGEON et al., 1995).

### **3.8.4 - Eficácia de desinfecção**

BALDRY et al. (1995), realizaram experimentos no Brasil e na Itália, em laboratório e em escala natural. Os resultados mostraram que o ácido peracético é um bom desinfetante (melhor do que o hipoclorito de sódio) para o tratamento de esgoto em países de climas tropical e temperado quente. O ácido peracético demonstrou ser efetivo contra o *Vibrio cholera*, tendo sua atividade melhorada em temperaturas mais elevadas. Assim, ele se torna uma provável alternativa para tratamento de esgoto e para o controle da cólera em países de clima quente.

Vários biocidas comumente usados em processos de desinfecção como agentes bactericidas e fungicidas foram testados por sua atividade contra colifagos MS2 e K. O MS2 foi resistente à maioria dos biocidas; apenas glutaraldeído (0,5%) e ácido peracético (1%) alcançaram uma redução de 4 log em 20 minutos. Em contraste, o fago K foi mais sensível à maioria dos biocidas (RUSSEL et al., 1994).

RAJALA-MUSTONEN et al. (1997) estudaram a efetividade do ácido peracético na inativação de colifagos em esgoto e obtiveram os seguintes resultados: com concentração de 50 mg/L a inativação foi maior do que 5 log para o DNA do fago, e redução maior do que 3 log foi obtida para o RNA do fago, depois de 10 minutos de tempo de contato. Porém, quando a turbidez da água aumentou de 2 para 10 NTU, a redução foi de uma ou duas ordens de magnitude menor. Para o RNA-fago por exemplo, a redução foi 10 vezes mais baixa quando a turbidez aumentou de 2 para 8 NTU.

BALDRY (1982) comparou as propriedades antimicrobianas de soluções aquosas de ácido peracético e peróxido de hidrogênio. O ácido peracético exibiu excelentes propriedades antimicrobianas, especialmente sob condições ácidas. Fatores de redução da ordem de  $10^6$  no número de bactérias vegetativas foram obtidos com 1 minuto de tempo de contato a 25°C, usando uma solução contendo 1,3 m.mol/L de ácido peracético. Inativações de bactérias formadoras de esporos e leveduras também ocorreram. No entanto, como esperado, uma dose mais elevada foi requerida para inativar bactérias formadoras de esporos do que as vegetativas; por exemplo: num teste realizado em pH 5,0, a dose esporicida foi de 13 m.mol/L por 60 minutos de contato, enquanto a dose bactericida foi de 0,13 m.mol/L por 30 minutos.

Segundo SÁNCHEZ-RUIZ et al. (1995) um método alternativo de desinfecção de esgoto sanitário consiste em se utilizar produtos que tem por base o ácido peracético. As vantagens potenciais desses produtos contra outros desinfetantes químicos são a falta de efeitos adversos ao ambiente e a rápida evolução dos mesmos em subprodutos inócuos e facilmente biodegradáveis, tais como ácido acético e oxigênio ativo.

BALDRY & FRENCH (1989) realizaram experimentos de desinfecção com novos produtos à base de ácido peracético, empregando em laboratório, culturas puras de microrganismos para avaliar as propriedades virucidas e bactericidas desses



produtos, chegando aos seguintes resultados: uma concentração de ácido peracético de 25 mg/L rapidamente inativou *E. coli* e *S. faecalis*, resultando em uma redução no número de bactérias maior do que 99,999%, em 5 minutos. Mesmo na presença de grande quantidade de matéria orgânica, proveniente do meio de cultura das bactérias, uma concentração de 100 mg/dm<sup>3</sup> de ácido peracético foi requerida para alcançar redução de 5 log (99,999%), em 5 minutos.

GASI et al (1995) desinfetaram efluente de lodos ativados empregando ácido peracético em dosagem de 5 mg/l e tempo de contato de 27 minutos, obtendo remoção de 99,98%, 99,40% e 96% de coliformes totais, coliformes fecais e colifagos, respectivamente. Obtiveram também que a concentração de oxigênio dissolvido no efluente da câmara de contato manteve-se acima da concentração de saturação, evidenciando a decomposição do peróxido de hidrogênio em oxigênio e água.

Além disso verificaram que a aplicação de ácido peracético oxida a matéria orgânica, removendo em média 22,5% de DBO do efluente de lodos ativados estudado.

Os ensaios de toxicidade do efluentes desinfetado indicaram elevada toxicidade para os microrganismos aquáticos testados (*Daphnia similis*, *Brachydario rerio* e *Photobacterium phosphorium*).

As informações disponíveis na literatura sobre o ácido peracético são em maioria sobre a desinfecção de esgoto sanitário.

A utilização em água de abastecimento poderá ter maior aplicação como pré-desinfecção para melhoria da qualidade da água bruta. Com isso estará sendo reduzida a quantidade de patogênicos e, por ser oxidante, a concentração de matéria orgânica, reduzindo o potencial de formação de subprodutos clorados, quando se usa a cloração como desinfecção de água final, ou para manutenção de residual desinfetante.

## 4 - Materiais e Métodos

### 4.1 - Considerações iniciais

O trabalho experimental foi desenvolvido em quatro etapas distintas.

- ❖ *Etapa um*: preliminares para os ensaios de desinfecção;
- ❖ *Etapa dois*: ensaios de desinfecção com cloro;
- ❖ *Etapa três*: ensaios de desinfecção com radiação ultravioleta;
- ❖ *Etapa quatro*: ensaios de desinfecção com ácido peracético.

Na etapa um, foram realizados testes e ensaios comuns aos ensaios de desinfecção das três etapas subsequentes.

Nas etapas dois, três e quatro foram realizados ensaios de desinfecção utilizando água preparada em laboratório (água sintética) e água natural, empregando hipoclorito de sódio, radiação ultravioleta e ácido peracético como agentes desinfetantes, respectivamente.

Para os ensaios com água sintética foi utilizada a bactéria *Escherichia coli* como microrganismo indicador, em seis tipos de água sintética, preparadas de forma a obter características variadas de cor e turbidez.

Foram ainda realizados ensaios de desinfecção com alguns dos seis tipos de água sintética, utilizando colifagos como microrganismo indicador de vírus.

### 4.2 - Métodos analíticos, equipamentos, exames e análises

Os métodos analíticos empregados para a realização dos exames e análises, bem como os equipamentos utilizados na presente pesquisa estão apresentados na TABELA 4.1.

**TABELA 4.1** – Métodos analíticos, exames e análises realizadas durante os ensaios de desinfecção.

PARÂMETRO	DESCRIÇÃO DO MÉTODO
Cloro residual	Método DPD colorimétrico, com utilização de kit da HACH ( <i>ACCUVAC</i> <sup>®</sup> ) e leitura em espectrofotômetro DR 2000
Cor	Filtração da amostra e leitura em espectrofotômetro DR 4000 em comprimento de onda 455 nm.
Filtração	Para filtração das amostras, quando exigida ou recomendada pelo métodos analíticos, utilizou-se membrana de nitrato de celulose com poros de 0,45 µm de diâmetro.
Turbidez	Turbidímetro, marca HACH, modelo 2100P .
Ácido peracético	Método <i>Analytical Test Strips</i> (Merck 1.10084 0001)
Intensidade de radiação ultravioleta	Actinometria com ferrioxalato de potássio.
Bacteriologia	Colilert para coliformes totais, coliformes fecais e <i>E. coli</i> .
Alcalinidade	Titulométrico.
pH	Potenciométrico.
Temperatura	Termômetro de vidro.
Absorvância em comprimento de onda de 254 nm	Espectrofotômetro UV visível marca SHIMADZU, modelo 160 A. (as amostras eram filtradas e acidificadas com ácido clorídrico; com exceção das amostras de água bruta, referentes aos ensaios em que se empregou radiação ultravioleta).
Colifagos	Contagem de unidades formadoras de colônias (UFC/100 mL) em placas de Petri.
COT	Analizador de carbono orgânico total, marca SHIMADZU, modelo TOC-5000 A.
Água sintética	Preparada de acordo com <i>Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater</i> , 19 <sup>a</sup> edição (1995).

### 4.3 – Etapa Um - Preliminares para os ensaios de desinfecção

#### 4.3.1 - Preparação da água sintética

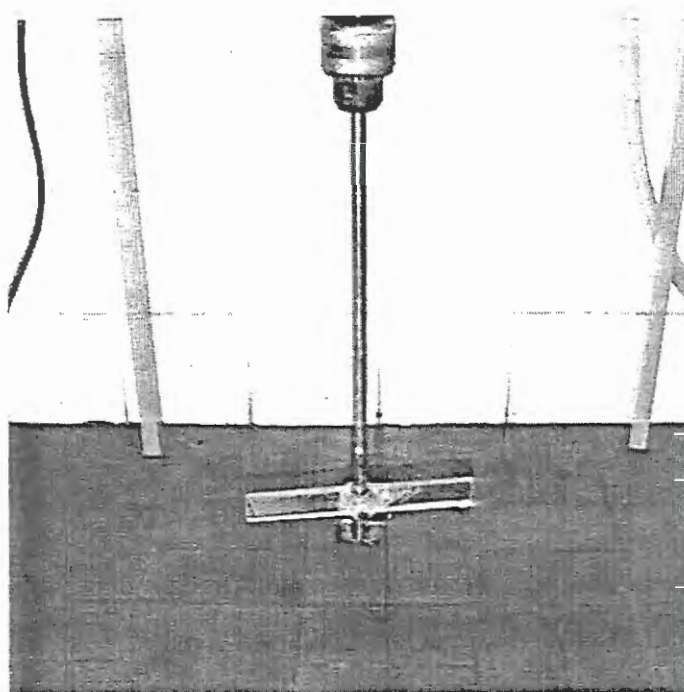
A água de estudo, denominada de água sintética, foi composta por água destilada e reagentes específicos, conforme apresentado na 19ª edição do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (1995).

Na TABELA 4.2 são apresentados os sais e suas dosagens específicas para produção da água sintética.

**TABELA 4.2 - Água sintética para experimentos de desinfecção**

<i>Reagente</i>	<i>Dose</i>
NaHCO <sub>3</sub>	12 mg/L
CaSO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O	7,5 mg/L
MgSO <sub>4</sub>	7,5 mg/L
KCl	0,5 mg/L
NaOH (1,0N)	5,0 mL/L
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> (1,0M)	30,0 mL/L

A água sintética foi armazenada em um recipiente de plástico, com capacidade de 20L. A homogeneização da água era feita por meio de mistura promovida por equipamento mecânico constituído de estator em forma de placa soldada na extremidade do eixo de aço inoxidável, o qual era acionado por motor elétrico com dispositivo que permitia a variação da rotação (FOTOGRAFIA 4.1).



**FOTOGRAFIA 4.1** – Agitador mecânico para promover homogeneização da água.

#### **4.3.2 - Adição de cor à água sintética**

Para a obtenção de cor à água foi utilizada substância húmica, marca Aldrich, sendo preparada uma solução com concentração de 0,1%, da qual foram retiradas alíquotas para serem adicionadas à água de forma a obter cor verdadeira, com aproximadamente 5,0 uC e 20 uC, sendo essas leituras feitas em espectrofotômetro, marca HACH, modelo DR 4000 no comprimento de onda de 455 nm.

#### **4.3.3 - Adição de turbidez à água sintética**

Para adição de turbidez utilizou-se argila montmorilonita sódica, marca Vulgel CN 30, com a qual fez-se uma suspensão, cuja metodologia foi adaptada de CAMPOS (1980) adicionando-se 60 g de argila montmorilonita em 14 L de água destilada. Após 2 horas de agitação intensa, deixou-se a solução em repouso por aproximadamente 15 horas retirando-se então o sobrenadante e armazenando-o em um recipiente. Esta metodologia foi

proposta para a preparação de caulinita como fornecedor de turbidez à água.

Foram retiradas alíquotas da suspensão de argila montmorilonita e adicionadas à água para se obter turbidez 2,0 uT; 20,0 uT e 50,0 uT aproximadamente, sendo essas leituras feitas em turbidímetro, marca HACH, modelo 2100 P.

#### 4.3.4 - Ensaio utilizando a bactéria *E.coli*

A cepa de *E.coli* ATCC 25922 foi adquirida na Fundação Tropical de Pesquisas e Tecnologia “André Tosello”, Campinas - SP, em tubos de ensaio, em meio sólido denominado ágar nutriente(AN).

Devido a possibilidade de perda das características originais da linhagem após algumas manipulações, a cepa de *E. coli* foi repicada a partir da original, para outros tubos de ensaio contendo o meio sólido ágar nutriente, TSA - Tryptic Soy Agar (meio soybean casein digest agar), cuja composição, para um litro de água destilada, está apresentada na TABELA 4.3.

**TABELA 4.3** - Composição do meio TSA - Tryptic Soy Agar.

Bacto Tryptone (digestão pancreática de caseína)	15,0 g
Bacto Soytone (digestão papaíca de soja)	5,0 g
Cloreto de sódio	5,0 g
Bacto Agar	15,0 g

Para preparação do meio ágar nutriente, foram tomados 40 g da composição apresentada na TABELA 4.3 e reidratados em um litro de água destilada, aqueceu-se até fervura para dissolver completamente. A seguir, o meio foi distribuído em tubos de ensaio com tampão de algodão, que foram esterilizados em autoclave a 121°C e 103,3 kPa por 15 minutos e a seguir inclinados para solidificação em temperatura ambiente, sendo o pH final em torno de 7,0 a 25° C.

#### 4.3.4.1 - Procedimento para repicagem da cepa de *E. coli*

Com a alça de platina retirou-se uma pequena porção da cultura (inóculo) da cepa original, deslizando em seguida a alça em zigue-zague numa estria, sobre a superfície do ágar sólido dos outros tubos.

A repicagem foi feita segundo as técnicas convencionais de microbiologia, seguindo as recomendações de assepsia:

- ❖ todo o trabalho foi feito perto da chama do bico de Bunsen;
- ❖ a alça de platina foi esterilizada, antes e depois de manuseada;
- ❖ as extremidades abertas dos tubos foram passadas através da chama, a fim de eliminar qualquer contaminação em potencial.

#### 4.3.4.2 - Construção da curva de crescimento e preparo das suspensões bacterianas

A curva de crescimento bacteriano foi feita para verificar o tempo de geração dos microrganismos. Essa curva é específica para cada microrganismo e pode ser dividida em fases:

- ❖ fase inicial ou de latência - na qual parece não haver crescimento;
- ❖ fase de crescimento acelerado – no fim de cada fase cada célula se divide; porém, como nem todas terminam a primeira fase ao mesmo tempo, há aumento gradual da população até o fim desse período, quando então todas as células são capazes de se dividir a intervalos regulares;
- ❖ fase exponencial ou logarítmica – nessa fase as bactérias se dividem regularmente, sendo o tempo de geração específico para cada bactéria;
- ❖ fase estacionária – o número de bactérias que aparece é compensado pelo número das que morrem;
- ❖ fase de declínio ou morte.

O meio de cultura utilizado para a construção da curva de crescimento e para o preparo das suspensões bacterianas foi o TSB – Tryptic Soy Broth (meio de digestão de soja e caseína) cuja composição para um litro de água destilada está apresentada na TABELA 4.4.

TABELA 4.4 – Composição do meio TSB – Tryptic Soy Broth.

Bacto tryptone (digestão pancreática de caseína)	17,0 g
Bacto soytone (digestão papaíca de soja)	3,0 g
Bacto dextrose	2,5 g
Cloreto de sódio	5,0 g
Fosfato dipotássico	2,5 g

Para reidratar o meio TSB foram tomados 30 g da composição apresentada na TABELA 4.4 e dissolvidos em um litro de água destilada aquecendo ligeiramente para dissolver completamente, sendo esterilizado em autoclave a 121°C e 103,3 kPa por 15 minutos, o pH final foi em torno de 7,3 a 25°C.

A partir de então construiu-se a curva de crescimento, de acordo com as seguintes etapas:

- ❖ com uma alça de platina, retirou-se amostras do inóculo ágar nutriente e transferiu-as para um tubo de ensaio contendo 10mL de meio de cultura TSB. Incubou-se por uma noite (*overnight*) em estufa a 37°C;
- ❖ após a incubação, transferiu-se o volume de 10 mL para um frasco contendo 90 mL do meio de cultura TSB com glicerina;
- ❖ incubou-se a suspensão em banho-maria a 37°C e marcou-se o tempo de crescimento;
- ❖ a cada 30 minutos retirou-se uma amostra da cultura em crescimento e fez-se a diluição indicada na TABELA 4.5;
- ❖ mediu-se a absorvância em comprimento de onda de 520 nm, no espectrofotômetro marca HACH, modelo DR 2000, zerando o aparelho com o meio de cultura TSB autoclavado.



**TABELA 4.5** - Diluições utilizadas para a construção da curva de crescimento da *E.coli*.

<i>Tempo (min)</i>	<i>Diluição</i>
0	$10^{-4}$ e $10^{-5}$
30	$10^{-4}$ e $10^{-5}$
90	$10^{-5}$ e $10^{-6}$
150	$10^{-6}$
210	$10^{-7}$ e $10^{-8}$
270	$10^{-8}$
330	$10^{-9}$

Após cada diluição as amostras eram incubadas em cartelas de Colilert<sup>®</sup>, e relacionava-se a absorvância com o número mais provável (NMP) de organismos.

O método Colilert é baseado na tecnologia dos substratos definidos (TSD) e foi desenvolvido e patentado pela IDEXX. Na TSD, são empregados nutrientes indicadores que fazem com que os microrganismos de interesse presentes na amostra produzam uma mudança de cor ou sinal quando inoculados ao sistema após 24 horas. Os nutrientes são fontes de carbono e nitrogênio específicos para coliformes totais e fecais e propiciam o crescimento e reprodução dos microrganismos de interesse.

Os nutrientes específicos são:

- ❖ ONPG (nutrientes para coliformes totais):

açúcar:  $\beta$ d-Galactopiranosídeo

radical orgânico cromogênico: o-nitrofenil

- ❖ MUG (nutrientes para coliformes fecais):

açúcar:  $\beta$ d-Glucoronídeo

radical cromogênico: 4 – metil umbiliferil

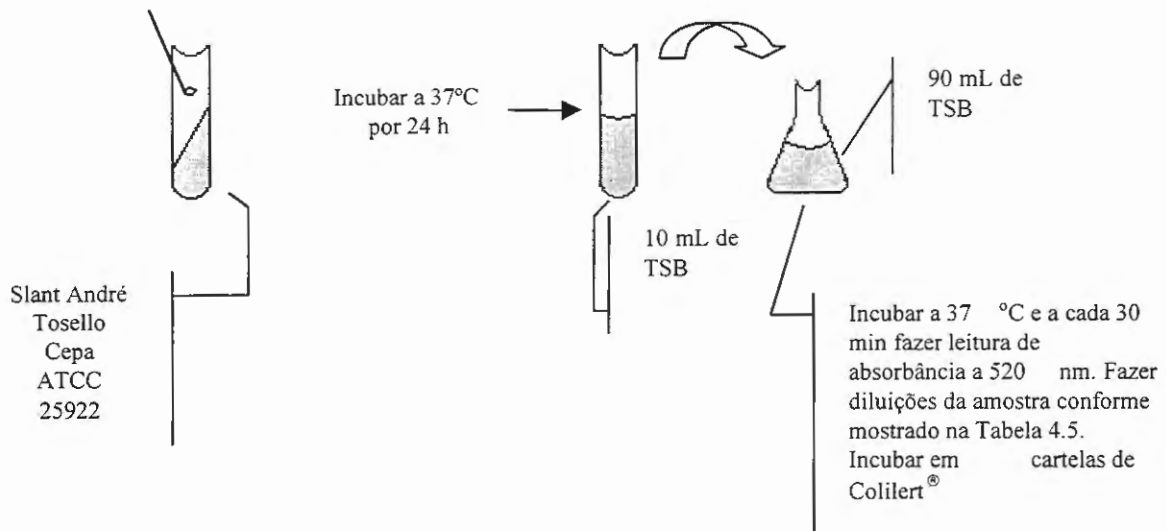
Quando as enzimas específicas dos coliformes totais ( $\beta$ -Galactosidase) e coliformes fecais ( $\beta$ -Glucoronidase) metabolizam os nutrientes, é desencadeada a liberação do radical indicador.

Atualmente, o método Colilert<sup>®</sup> é o mais avançado método de quantificação de coliformes totais e fecais, usado nos exames bacteriológicos.

Este método está publicado no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* na 18<sup>a</sup> e 19<sup>a</sup> edições.

Até 1992, os exames de coliformes eram feitos pelos métodos de fermentação em tubos múltiplos e filtração em membranas. A partir de então, o sistema enzimático (princípio do Colilert<sup>®</sup>) foi aprovado e passou a ser amplamente difundido e utilizado.

Na FIGURA 4.1 é apresentado um esquema ilustrativo de como foi realizada a curva de crescimento bacteriano.



**FIGURA 4.1** - Esquema ilustrativo para obtenção da curva de crescimento da *E. coli*.

Definida a curva de crescimento bacteriano, repetiu-se o procedimento ilustrado na FIGURA 4.1 para a formação de uma suspensão de 100 mL de TSB + bactérias, e quando atingiu-se a concentração de aproximadamente  $10^8$  células de *E. coli*/mL, armazenou-se essa suspensão bacteriana em flaconetes estéreis, tipo *ependorfes* de 1 mL com 10% de glicerol (para as células não serem danificadas) no *freezer*, de forma que congeladas, as células interrompessem o crescimento na concentração desejada.



#### 4.3.4.3 - Contaminação da água sintética com *E.coli*

O procedimento para adição de *E.coli* à água sintética seguiu as etapas:

- ❖ retirava-se do congelador os frascos tipo *eppendorfes* contendo *E. coli*, colocava-os em estufa por cinco minutos aproximadamente para que descongelassem;
- ❖ adicionavam-se à água os inóculos contidos nos *eppendorfes* de forma a obter a concentração necessária de *E.coli*/mL e agitava-se com agitador mecânico durante todo o ensaio de desinfecção (FOTOGRAFIA 4.1), para que a água contendo a suspensão de bactérias ficasse bem homogeneizada;
- ❖ para confirmação da quantidade de microrganismos adicionados fazia-se a determinação do número mais provável de *E.coli* pelo método do Colilert®.

#### 4.3.5 - Ensaio utilizando colifagos

Os colifagos são bacteriófagos que infectam e replicam cepas hospedeiras de *E. coli*, sendo seu crescimento indicado pelo aparecimento de placas transparentes no crescimento opaco da bactéria hospedeira.

##### 4.3.5.1 - Preparação da cultura bacteriana hospedeira

Foi utilizada como hospedeira a cepa de *E. coli* C (ATCC 13706), conservada em TSA (Agar triptona soja).

Transferiu-se uma alçada da cultura estoque de *E. coli* para 10 mL de caldo de soja e triptona glicerinado (TSB mais 10% de glicerol), incubando, a seguir, a 36°C em estufa durante 18 a 24 horas. Após a incubação, transferiu-se o volume de 10 mL para um frasco contendo 25 mL de TSB glicerinado, homogeneizando a suspensão e incubando a 36°C em estufa até obter uma leitura de absorvância de 0,5 a 520 nm (equivalente a  $1 \times 10^9$  *E. coli*/mL) obtida em espectrofotômetro (marca HACH, modelo DR 2000), tendo sido zerado o espectrofotômetro com o meio de cultura TSB + glicerol estéril. Essa suspensão bacteriana foi transferida para frascos estéreis e armazenada em congelador a - 20°C.

#### 4.3.5.2 - Preparação do meio de cultura para os colifagos

O meio de cultura utilizado foi o TSA modificado que apresenta a seguinte composição:

**TABELA 4.6** – Composição do meio TSA modificado.

TSA (Difco)	40 g
Nitrato de amônia - $\text{NH}_4\text{NO}_3$ p.a.	1,6 g
Nitrato de estrôncio - $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$	0,21 g

Os componentes da TABELA 4.6 foram adicionados em 1 L de água destilada e levados ao aquecimento até completa dissolução, sem no entanto atingir a temperatura de ebulição. Distribuiu-se volumes de 5,5 mL do meio em tubos de ensaio, autoclavando a seguir a 121°C por 15 minutos. O pH final do meio ficou em torno de 7,3.

#### 4.3.5.3 – Procedimento

O procedimento para contaminação da água sintética (amostra) com colifagos e a determinação dos mesmos pela técnica da contagem de unidades formadoras de colônias em placas de Petri, seguiram as etapas:

- ❖ quatro tubos de ensaio com TSA modificado foram fundidos em banho-maria a 44,5°C ;
- ❖ descongelou-se os frascos contendo a bactéria hospedeira em banho-maria a 44,5°C por 5 minutos;
- ❖ levou-se a amostra a ser examinada ao banho-maria (44,5°C) por 5 minutos, sendo realizadas diluições para as amostras em que se esperava mais de 1000 colifagos/100 mL;

- ❖ para cada um dos quatro tubos com TSA modificado transferiu-se 5 mL da amostra ou de sua diluição e 1 mL da suspensão da bactéria hospedeira *E. coli* C;
- ❖ os tubos de ensaio foram homogeneizados, e seus conteúdos vertidos em placas de Petri;
- ❖ as placas foram homogeneizadas em movimentos circulares em forma de oito e incubadas em estufa a 36°C durante 4 a 6 horas.

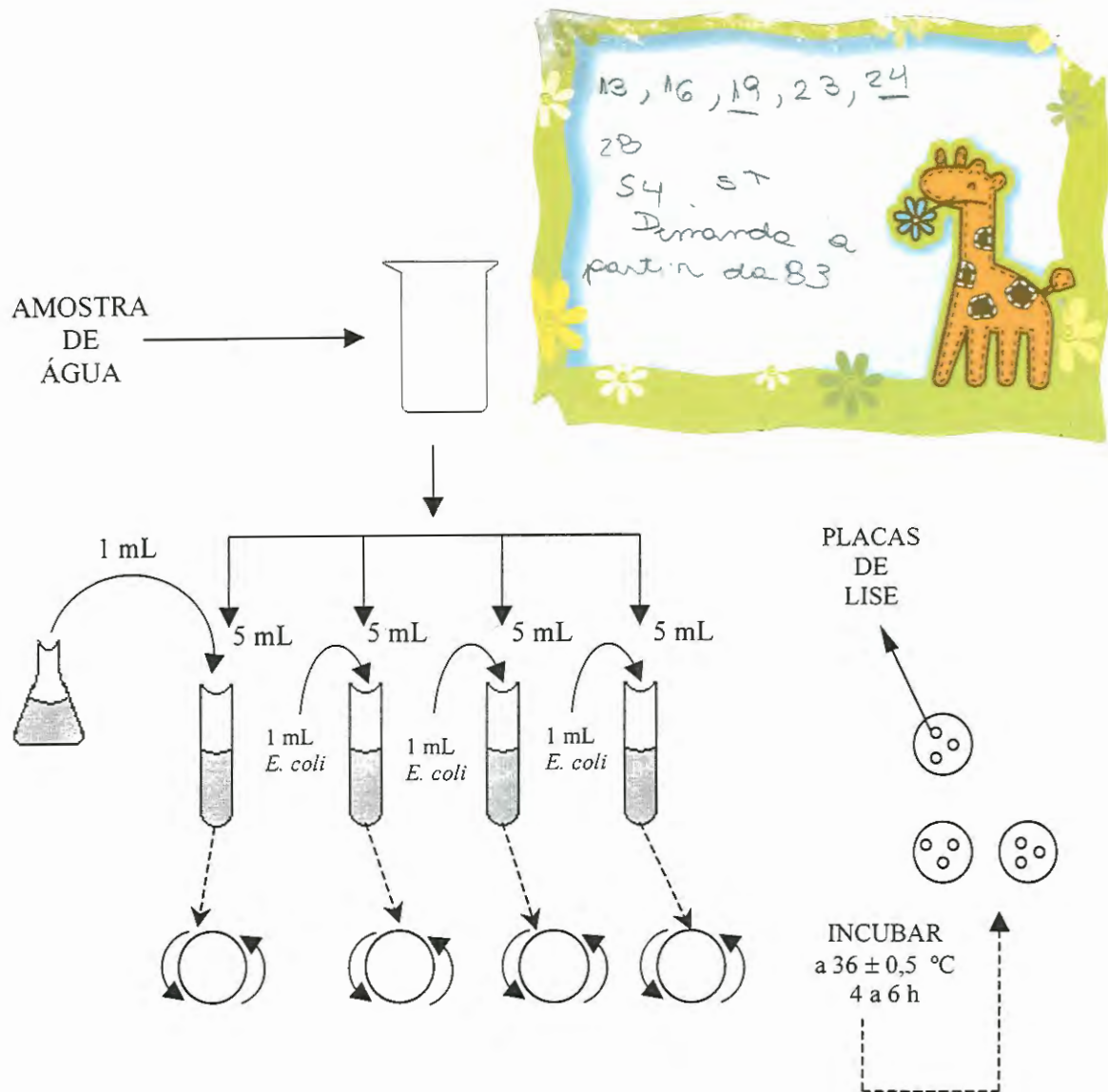
Vale ressaltar que todo o trabalho foi feito perto da chama do bico de Bunsen.

#### 4.3.5.4 - Leitura e expressão dos resultados

Após 4 ou 6 horas em estufa as placas foram retiradas para contagem, onde se tornam visíveis zonas claras na superfície do ágar (lise), denotando a presença dos fagos. A contagem pode ser auxiliada por um contador de colônias.

O número de colifagos é obtido pela somatória da contagem das placas de lise nas 4 placas de Petri utilizadas por amostra. O resultado é expresso como um número de unidades formadoras de colônia (UFC/100 mL).

Na FIGURA 4.2 é apresentado um esquema ilustrativo do procedimento adotado para a utilização dos colifagos nos ensaios de desinfecção.



**FIGURA 4.2** – Esquema ilustrativo do procedimento de preparação e detecção de colifagos.

#### 4.3.6 - Ensaios de desinfecção com água natural

Além dos ensaios de desinfecção com água sintética (item 4.2.1), foram realizados ensaios de desinfecção empregando cloro, radiação ultravioleta e ácido peracético com água natural, coletada no córrego Espraiado, um dos mananciais que abastece a estação de tratamento de água de São Carlos em períodos de maior demanda.

Os ensaios de desinfecção com a água natural foram feitos de maneira análoga aos descritos para a água sintética, empregando-se as mesmas metodologias e realizando-se os mesmos ensaios, com exceção da etapa referente à adição de microrganismos. Nas análises

microbiológicas foram detectados coliformes totais e coliformes fecais pelo método Colilert, não sendo detectados colifagos nas amostras examinadas.

#### **4.3.7 – Demanda de cloro**

Com a finalidade de obtenção da demanda de cloro exercida pela água a ser utilizada na pesquisa, foram realizados ensaios, visando a construção da curva de demanda de cloro.

Inicialmente foram verificadas as metodologias de determinação de cloro residual por titulometria e espectrofotometria, a fim de que se pudesse verificar se havia similaridade nos resultados.

Para as duas metodologias preparou-se uma solução de 1000 mg Cl<sub>2</sub>/ L de cloro. A água de estudo foi preparada de forma a se obter cor verdadeira e turbidez aproximadamente iguais a 20,0 uC e 20 uT.

Em seguida, fez-se uma nova curva adicionando-se à água de estudo, além de cor e turbidez, o meio de cultura TSB (Tryptic Soy Broth) utilizado para o crescimento e manutenção da *E. coli*, para que fosse verificada a influência do meio de cultura na demanda de cloro. Para essa nova curva utilizou-se a metodologia espectrofotométrica, e a água apresentou características de cor verdadeira e turbidez aproximadamente iguais a 20 uC e 50 uT respectivamente.

Todos os ensaios foram feitos em béqueres de borossilicato e a água foi permanentemente agitada por meio de agitadores magnéticos (FOTOGRAFIA 4.2).

##### **4.3.7.1 - Construção da curva de demanda de cloro por titulometria**

Nesta etapa da pesquisa seguiu-se a metodologia descrita em *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* – 19<sup>a</sup> edição (1995).

A titulação é um processo em que se determina a quantidade de uma substância medindo-se a quantidade de um reagente necessária para reagir completamente com toda substância. Normalmente, isso é feito adicionando-se, controladamente, um reagente de concentração conhecida à solução da substância até que se julgue que toda ela reagiu.

Então, através do volume de reagente adicionado e de sua concentração, determina-se o número de mol do reagente consumido; em seguida, através da estequiometria da reação, determina-se a concentração da solução. Para se visualizar o final da reação é necessário a adição de um indicador.

Para esta etapa preparou-se a água de estudo de forma a obter cor verdadeira de 20 uC e turbidez 20 uT. Separou-se a água em questão em dez béqueres e adicionou-se a cada béquer diferentes volumes de solução de hipoclorito de sódio (1000 mg/L) como mostrado na TABELA 4.7.

**TABELA 4.7** - Concentração de cloro residual após adição de solução de hipoclorito de sódio para água de estudo contendo 20 uC e 20 uT.

<i>Volume adicionado da solução de 1000 mg/L de hipoclorito de sódio</i>	<i>Volume da água de estudo (mL)</i>	<i>Concentração final de cloro em mg/L na água de estudo</i>
1 mL	99	1
2 mL	98	2
3 mL	97	3
4 mL	96	4
5 mL	95	5
6 mL	94	6
7 mL	93	7
8 mL	92	8
9 mL	91	9
10 mL	90	10

Após o procedimento citado na TABELA 4.7, deixou-se as soluções agitando por 10 minutos antes da leitura de cloro residual.

Segue a descrição do procedimento de titulação do cloro:

- ❖ preparou-se uma solução de tiosulfato de sódio 0,1N e transferiu-se 50 mL,



- para uma bureta;
- ❖ em um frasco erlenmeyer adicionou-se: 2 mL de ácido acético, 10 mL de água destilada, 1 g de iodeto de potássio e 25 mL da amostra contendo cloro. Em cada amostra eram adicionados volumes diferentes da solução de hipoclorito de sódio (1000 mg/L), conforme TABELA 4.7;
  - ❖ titulou-se a amostra com o titulador padrão (tiosulfato de sódio 0,1 N) até que a coloração amarela do iodo desaparecesse;
  - ❖ adicionou-se 2 mL de solução de indicador de amido e continuou titulando até o desaparecimento da cor azul.

standard → 1 ml

#### 4.3.7.2 - Construção da curva de demanda de cloro por espectrofotometria

Para a construção da curva por espectrofotometria seguiu-se metodologia proposta pelo Manual Hach DR 2000 *Spectrophotometer Handbook*, método 85 e comprimento de onda de 530 nm.

Foram usadas ampolas Accuvac<sup>®</sup> de reagente DPD (cloro livre) e o espectrofotômetro DR/2000.

O cloro em amostra como ácido hipocloroso ou íon hipoclorito (cloro livre ou cloro livre disponível) reage imediatamente com indicador DPD (N,N - dietil - *p* - fenilenodiamina) para formar uma coloração vermelha a qual é proporcional à concentração de cloro.

Para estes ensaios preparou-se dois tipos de água de estudo: a primeira foi a mesma utilizada na construção da curva por titulometria conforme mencionado no item 4.3.7.1, a segunda apresentou característica de cor verdadeira de 20 uC e turbidez de 50 uT, além de 1,0 mL de meio TSB para se verificar qual seria a influência do meio na demanda de cloro.

Para a preparação da água de estudo, bem como a adição de diferentes volumes da solução de hipoclorito de sódio (1000 mg/L), seguiu-se o procedimento citado no item 4.3.7.1 e TABELA 4.7.

Os procedimentos adotados para a construção da curva de demanda de cloro por espectrofotometria, foram basicamente os seguintes:

- ❖ zerava-se o aparelho DR/2000 com a própria amostra, para compensar a interferência de cor e turbidez. Ajustava-se, colocando, pelo menos, 10 mL de amostra;
- ❖ dos programas armazenados, escolhia-se o método 85. Ajustava-se o comprimento de onda até 530 nm;
- ❖ pressionava Read/Enter. O visor apresenta mg/Cl<sub>2</sub> AV. AV significa Ampolas ACCUVAC, nas quais os reagentes DPD já estão incluídos;
- ❖ rompia-se a ampola de Accuvac<sup>®</sup> (reagente de cloro livre) dentro da amostra.

#### **4.4 – Etapa Dois – Desinfecção com cloro**

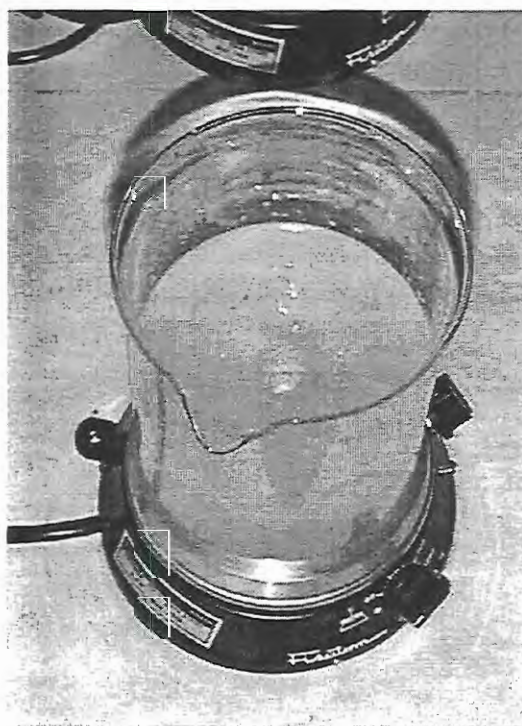
##### **4.4.1 – Instalações**

Os ensaios de desinfecção com cloro foram realizados em instalação de batelada, empregando béqueres de vidro de borossilicato de 2 L de capacidade, sobre agitadores magnéticos (FOTOGRAFIAS 4.2 e 4.3).

Foi empregado hipoclorito de sódio (NaOCl), que foi diluído em água destilada estéril para obtenção de uma solução de 1000 mg/L. Vale ressaltar que essa água não exerceu demanda de cloro, o que foi verificado pelo método utilizado para a medição de cloro residual, o DPD colorimétrico.



**FOTOGRAFIA 4.2** – Vista geral dos equipamentos para realização dos ensaios de demanda de cloro e desinfecção com cloro e ácido peracético.



**FOTOGRAFIA 4.3** – Detalhe de um béquer e agitador magnético para realização dos ensaios de demanda de cloro e desinfecção com cloro e ácido peracético.

#### 4.4.2 - Definição dos parâmetros operacionais

A otimização dos parâmetros dosagens de cloro e tempos de contato foi definida mediante uma série de testes em que se buscava obter valores de eficiência de remoção de *E. coli* entre 0 e 100%. As dosagens de cloro e os tempos de contato definidos para os ensaios de desinfecção foram respectivamente: 1,0; 1,3; 1,6 e 2,0 mg/L e 1,0; 5,0; 8,0 e 10 minutos.

#### 4.4.3 – Procedimento

Os ensaios foram realizados em quatro béqueres de vidro, dispostos sobre agitadores magnéticos. A água sintética, preparada conforme descrito anteriormente (itens: 4.3.1; 4.3.2; 4.3.3 e 4.3.4.3), era distribuída em volumes de 1 L em cada béquer. Adicionavam-se volumes da solução de hipoclorito de sódio (1000 mg/L) de forma a se obter as dosagens: 1,0; 1,3; 1,6 e 2,0 mg/L de cloro aplicado. Os tempos de contato: 1,0; 5,0; 8,0 e 10,0 minutos eram cronometrados a partir do momento da aplicação do cloro na água. Imediatamente após cada tempo de contato, um volume de aproximadamente 10 mL era retirado da amostra para medição do cloro residual e o restante da amostra com cloro contida no béquer, era desativada com tiosulfato de sódio (3%) na proporção de 0,1 mL para cada 100 mL de amostra (*Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* 19<sup>a</sup> edição, 1995).

Para cada par dosagem - tempo de contato, eram retiradas amostras para as análises físico-químicas referidas na TABELA 4.1, sendo as amostras coletadas em frascos plásticos, que a cada ensaio de desinfecção eram lavados abundantemente com água de torneira e a seguir com água destilada, e retiradas amostras de 100 mL para o exame bacteriológico, que eram coletadas em béqueres de 250 mL, sempre esterilizados em autoclave a 121°C por 15 minutos antes de cada ensaio de desinfecção.

As amostras de água bruta para as análises físico-químicas e exames bacteriológicos eram retiradas antes de iniciarem-se os ensaios de desinfecção.

As análises bacteriológicas foram realizadas pelo método Colilert (*Standard*

*Methods for the Examination of Water and Wastewater* 19ª edição, 1995).

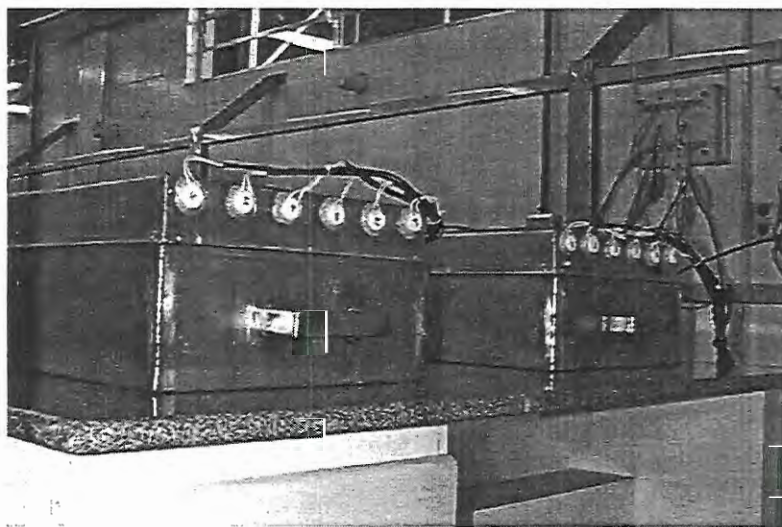
As análises de cloro residual foram feitas pelo método DPD colorimétrico proposta pelo manual Hach DR 2000 *Spectrophotometer Handbook* e que também se encontra em *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 19ª edição.

#### **4.5 - Etapa Três - Desinfecção com Radiação Ultravioleta**

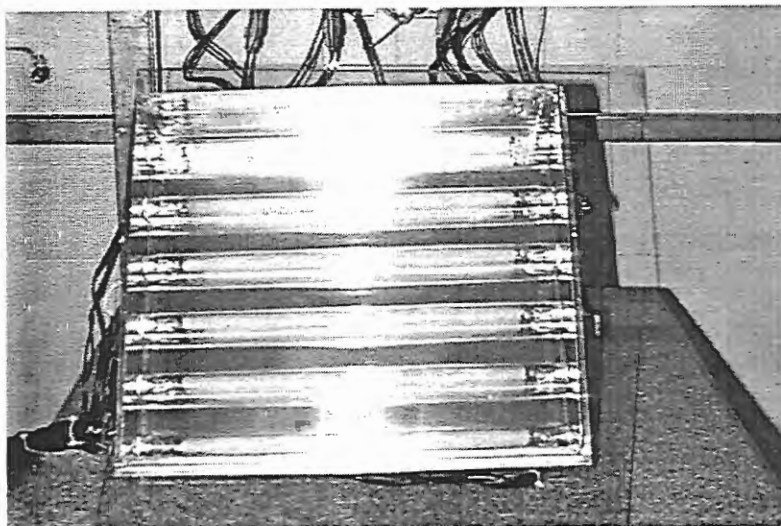
##### **4.5.1 – Equipamento**

A unidade de desinfecção com radiação ultravioleta foi construída com chapa de aço inoxidável com 40 cm de largura, 45 cm de comprimento e 15 cm de profundidade. A fonte de radiação ultravioleta era proveniente de seis lâmpadas de baixa pressão de vapor de mercúrio, cada uma de 15 W de potência nominal que se encaixavam numa cúpula refletora construída com chapas de alumínio polido. Esse refletor se encaixava sobre a unidade de desinfecção, não permitindo a perda de radiação para o meio externo.

As FOTOGRAFIAS 4.4 e 4.5 mostram o equipamento utilizado como reator de desinfecção ultravioleta.



**FOTOGRAFIA 4.4** – Vista geral do equipamento utilizado como reator de desinfecção ultravioleta.



**FOTOGRAFIA 4.5** – Cúpula refletora de radiação ultravioleta com as 6 lâmpadas de baixa pressão de vapor de mercúrio.

#### **4.5.2 – Procedimento**

A água de estudo, sintética e natural, era disposta na unidade de desinfecção (instalação tipo batelada), que ficava sobre três agitadores magnéticos para que a água fosse constantemente homogeneizada.

Em ensaios-testes foram definidos: o número de lâmpadas e os tempos de exposição que seriam empregados nos ensaios de desinfecção, de maneira que a densidade de microrganismos após a desinfecção (NMP org./100 mL) fosse maior que 1 organismo, para que se pudesse efetuar a cinética de desinfecção.

Conforme a qualidade da água de estudo, no que se refere à turbidez, foram definidos os seguintes tempos de exposição e a seguinte quantidade de lâmpadas ligadas:

- ❖ água de estudo com turbidez baixa (2 uT): 5, 10, 20, 30 e 40 segundos de exposição e 1 lâmpada ligada;
- ❖ águas de estudo com turbidez elevadas (20 uT e 50 uT): 40, 60, 80, 100 e 120 segundos de exposição e 3 lâmpadas ligadas.

As lâmpadas eram ligadas por meio de interruptor único por cerca de 15 minutos antes de se iniciarem os ensaios de desinfecção, para que as mesmas fossem aquecidas. As

lâmpadas que não seriam utilizadas em determinados ensaios eram desconectadas sem interferirem no funcionamento das outras.

Após cada tempo de exposição as amostras eram coletadas para a realização das análises físico-químicas e exames bacteriológicos apresentados na TABELA 4.1.

A lâmina de água foi mantida constante em 8 cm durante todos os ensaios.

Para cada ensaio de desinfecção com radiação ultravioleta foi determinada a absorvância ( $A$ ) da água que estava sendo desinfetada, sem proceder a filtração da amostra, em comprimento de onda de 254 nm, em cubeta de quartzo com trajetória de 1,0 cm. Essa informação foi utilizada para calcular a dose média aplicada.

Através da metodologia actinométrica, descrita por HATCHARD & PARKER (1953) e utilizada por DANIEL (1993), empregando ferrioxalato de potássio, obteve-se a intensidade de radiação ultravioleta na superfície do reator ( $I_0$ ), e a intensidade média foi calculada a partir da lei de BEER-LAMBERT conforme procedimento apresentado a seguir:

$$T = \frac{I}{I_0} = e^{-ax} \quad (4.1)$$

T: Transmitância;

I: Intensidade de radiação ultravioleta após percorrer a lâmina líquida de espessura X ( $\text{mW}/\text{cm}^2$ );

$I_0$ : Intensidade de radiação ultravioleta na superfície ( $\text{mW}/\text{cm}^2$ );

x: Espessura da lâmina líquida (cm);

a : coeficiente de extinção ( $\text{cm}^{-1}$ ).

$$A = -\log T \quad (4.2)$$

$$A = -\log e^{-ax} \quad (4.3)$$

$$A = ax \log e, \text{ como } x = 1 \text{ cm} \quad (4.4)$$

$$a = 2,303 A \quad (4.5)$$

A absorvância ( $A$ ) foi lida para cada água de estudo, em espectrofotômetro UV visível marca SHIMADZU modelo 160 A.

A intensidade média foi calculada pela lei de BEER-LAMBERT:

$$I = \frac{I_0}{L} \int_0^L e^{-ax} dx \quad (4.6)$$

$I_0$ : intensidade de radiação ultravioleta na superfície da água (mW/cm<sup>2</sup>)

$I$ : intensidade média de radiação ultravioleta na lâmina de água de espessura  $L$  (mW/cm<sup>2</sup>)

$L$ : espessura da lâmina de água (cm)

$a$ : coeficiente de extinção (cm<sup>-1</sup>)

A dose média foi calculada como sendo o produto do tempo de exposição pela intensidade média na lâmina líquida.

#### 4.6 - Inativação de colifagos pela ação de cloro e radiação ultravioleta

Os ensaios de desinfecção empregando colifagos como microrganismos indicadores foram realizados com os agentes desinfetantes cloro e radiação ultravioleta e com dois tipos de água sintética:

- ❖ com cor verdadeira próxima a 5,0 uC e turbidez em torno de 2,0 uT;
- ❖ com cor verdadeira próxima a 20,0 uT e turbidez em torno de 50 uT.

Para os ensaios de desinfecção com cloro variou-se a concentração de cloro aplicado de 1,0; 1,6 e 2,0 mg/L e o tempo de contato foi de 5 min. Para os ensaios de desinfecção realizados empregando radiação ultravioleta, para água de estudo com cor verdadeira 5 uC e turbidez 2 uT utilizou-se 1 lâmpada e tempos de contato de 5, 20 e 40 segundos. Para os ensaios realizados com água sintética com cor verdadeira 20 uC e turbidez 50 uT foram usadas 3 lâmpadas e os tempos de contato foram de 40, 80 e 120 segundos.

O procedimento para a realização dos ensaios de desinfecção utilizando colifagos estão descritos no item 4.3.5.

#### 4.7 – Etapa Quatro – Desinfecção com ácido peracético

##### 4.7.1 – Generalidades

Os ensaios de desinfecção empregando ácido peracético foram realizados em instalação de batelada, de maneira análoga aos ensaios com cloro.



O produto utilizado para desinfecção com ácido peracético foi o PROXITANE 1512 adquirido da empresa Thech Desinfecção (Peróxidos) – São Paulo, SP.

O produto, segundo descrição fornecida pelo fabricante, era uma solução equilibrada, incolor a levemente amarelada, de odor forte e característico, constituída de ácido peracético, peróxido de hidrogênio, ácido acético e veículo estabilizante.

Em sua formulação comercial o produto apresenta a seguinte especificação:

Ácido peracético	Mín 15%
Peróxido de hidrogênio	Mín 23%
Ácido acético	Máx 16%
Veículo estabilizante	100%

O Proxitane 1512 foi diluído em água destilada estéril, de modo a se obter concentração final de 1000 mg/L de ácido peracético.

Da solução de 1000 mg/L foram realizadas diluições para se obter as concentrações desejadas para os ensaios de desinfecção, sendo essas diluições realizadas no momento em que se iniciaria o experimento.

A confirmação da concentração foi feita com o método Analytical Test Strips (Merck, 1.10084 0001).

Para desativar o ácido peracético, após os tempos de contato especificados para os ensaios de desinfecção, foi utilizada solução de tiosulfato de sódio 3% na proporção de 0,1 mL para cada 100 mL de amostra.

#### 4.7.2 - Definição dos Parâmetros Operacionais

A otimização dos parâmetros operacionais, tempo de contato e dosagem de ácido peracético, empregados na realização dos ensaios de desinfecção, foram definidos após uma série de testes. As dosagens e os tempos de contato, definidos após os testes foram respectivamente: 2,0; 2,5; 3,0 e 3,5 mg/L e 5; 8; 10 e 15 minutos.

### 4.7.3 – Procedimento

O procedimento adotado para os ensaios de desinfecção com ácido peracético, foi análogo ao procedimento adotado para os ensaios com cloro.

Foram utilizadas como águas de estudo para os ensaios de desinfecção, as águas sintética e natural conforme especificado nos ensaios de desinfecção anteriores empregando cloro e radiação ultravioleta.

As análises físico-químicas e os exames bacteriológicos foram realizados para a água bruta e após os ensaios de desinfecção.

Não foram analisados os residuais de ácido peracético após a desinfecção, pois o limite de detecção do método empregado, o Analytical Test Strips (Merck, 1.10084 0001), não permitia a leitura precisa de valores entre 0 e 5 mg/L de concentrações de ácido peracético, devendo-se estimar os valores intermediários.

## 5 - Resultados e Discussões

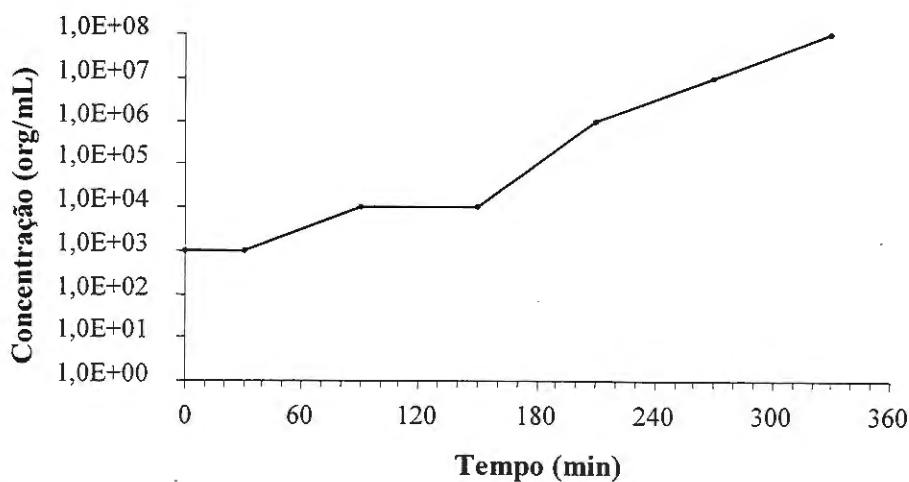
### 5.1 - Etapa um - Preliminares para os ensaios de desinfecção

#### 5.1.2 - Curva de crescimento da bactéria *E.coli*

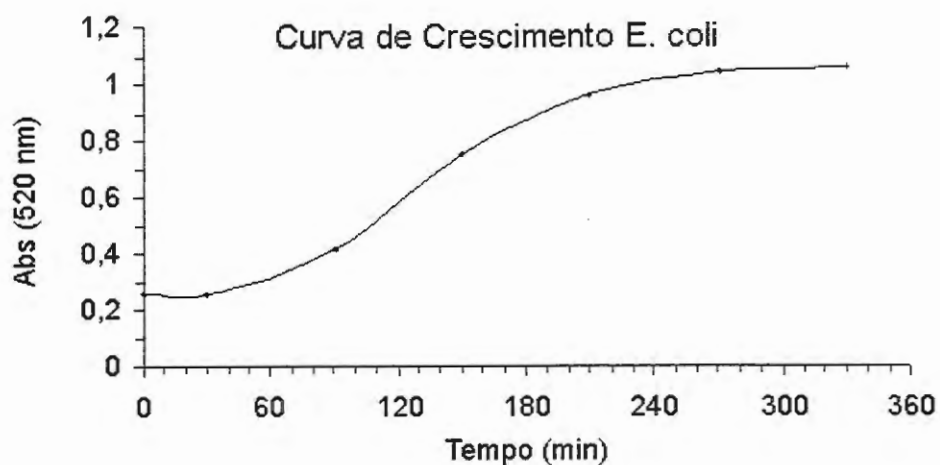
A construção da curva de crescimento foi realizada utilizando-se o meio de cultura TSB. Os resultados desta etapa estão apresentados na TABELA 5.1 e nas FIGURAS 5.1, 5.2 e 5.3.

**TABELA 5.1** - Resultados referentes à construção da curva de crescimento da *E. coli* usando o meio de cultura TSB e leitura de absorvância em comprimento de onda de 520 nm.

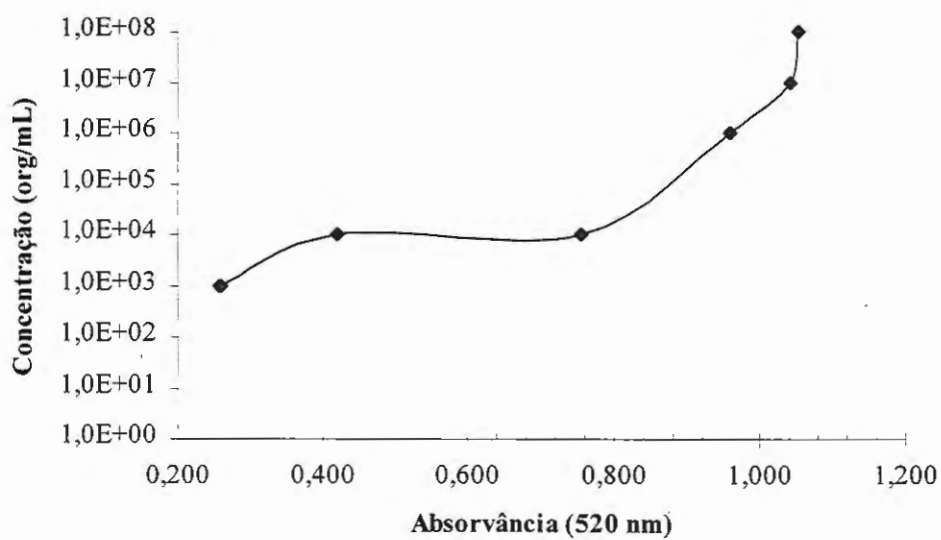
Tempo (min)	Abs (520nm)	Concentração (org/mL)
0	0,257	$10^3$
30	0,260	$10^3$
90	0,420	$10^4$
150	0,756	$10^4$
210	0,960	$10^6$
270	1,042	$10^7$
330	1,053	$10^8$



**FIGURA 5.1** - Curva de crescimento da *E. coli* relacionando concentração (org/mL) e tempo (min), utilizando o meio de cultura TSB.



**FIGURA 5.2** - Curva de crescimento da *E. coli* relacionando Abs (520 nm) e tempo (min), utilizando o meio de cultura TSB.



**FIGURA 5.3** - Curva de crescimento da *E. coli* relacionando concentração (org/mL) e Abs (520 nm), utilizando o meio de cultura TSB.

Observando os resultados apresentados na TABELA 5.1 e nas FIGURAS 5.1, 5.2 e 5.3 verifica-se que o meio de cultura TSB foi adequado para o tipo de microrganismo utilizado na presente pesquisa, pois ocorreu o crescimento de organismos, comprovado pelas crescentes absorvâncias a 520 nm com o aumento do tempo. A FIGURA 5.1 mostra o crescimento bacteriano, distinguindo-se as fases de latência e de crescimento exponencial.

Como o objetivo da construção da curva de crescimento da *E. coli* era a obtenção de uma suspensão bacteriana com determinada concentração, que poderia estar na faixa de  $10^6$  a  $10^8$  organismos/mL, interrompeu-se o ensaio antes que se atingisse as fases finais da curva que seriam a estacionária e a de declínio.

### **5.1.3 – Demanda de cloro**

A demanda de cloro, exercida pela matéria orgânica proveniente da substância húmica, adicionada para produzir cor, e do meio de cultura usado para crescimento de *E. coli*, foi quantificada em ensaio específico no qual se fixou o tempo de contato e variou-se a dose de cloro aplicada.

O cloro residual foi quantificado empregando-se metodologias analíticas que fazem uso de titulometria e de espectrofotometria (DPD colorimétrico).

Com os resultados obtidos foram construídas as curvas de demanda de cloro

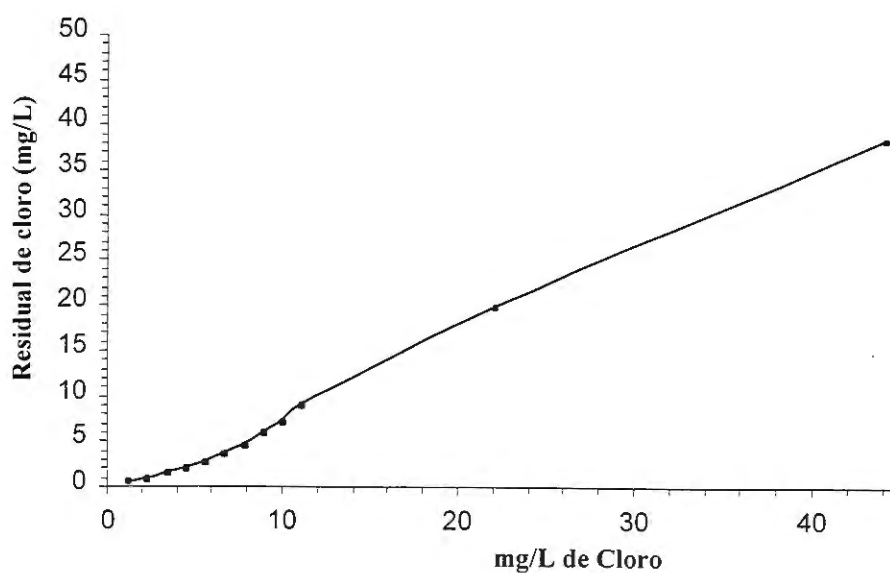
Para verificação da demanda de cloro, foram construídas curvas de “breakpoint”, primeiramente por titulometria e a seguir por espectrofotometria.

#### **5.1.3.1 - Construção da curva de demanda de cloro por titulometria**

Os resultados obtidos nesta etapa estão apresentados na TABELA 5.2 e na FIGURA 5.4.

**TABELA 5.2** - Residual de cloro livre obtido pela titulação com tiosulfato de sódio 0,01N para amostras de água : cor 20 uC e turbidez de 20 uT.

Amostra	mg/L de cloro adicionado	Residual de cloro (mg/L)
1	1,1	0,71
2	2,2	0,99
3	3,3	1,70
4	4,4	2,13
5	5,5	2,70
6	6,6	3,69
7	7,7	4,54
8	8,8	5,96
9	9,9	7,23
10	11,0	8,93
11	22,0	19,85
12	44,0	38,28



**FIGURA 5.4** - Resultados obtidos nos ensaios para a construção da curva de demanda de cloro por titulometria. Característica da água de estudo: cor 20 uC e turbidez 20 uT.

Na presença de amido o iodo livre produz cor azul, indicativa da presença de cloro residual. A medição quantitativa do cloro residual é atingida por titulação do iodo liberado com o agente redutor padrão, tiosulfato de sódio, usando amido como indicador.

Na presença de amônia, a adição de quantidades crescentes de cloro produz residuais de cloro combinado até um ponto tal que as cloraminas começam a ser decompostas pelo cloro em excesso produzindo compostos que não são detectados como cloro residual, resultando em um declínio no residual de cloro, até um valor mínimo correspondente ao “breakpoint”. A partir daí qualquer adição de cloro produzirá um residual de cloro livre proporcional à dosagem que se aplique.

Na água de estudo utilizada, muito provavelmente não havia amônia inorgânica. A reação do cloro foi com a matéria orgânica. Talvez por isso o comportamento das curvas sejam diferentes dos apresentados na literatura.

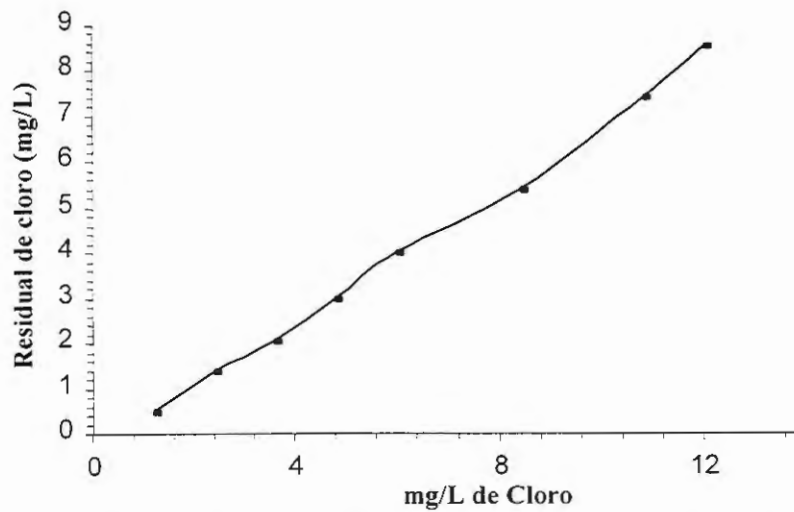
### 5.1.3.2- Construção da curva de demanda de cloro por espectrofotometria

#### a) Água com cor e turbidez, sem o meio de cultura TSB

Os resultados obtidos nesta etapa estão apresentados na TABELA 5.3 e FIGURA 5.5.

**TABELA 5.3** - Resultados de residual de cloro obtidos por espectrofotometria utilizando DPD para amostras de água: cor 20 uC e turbidez 20 uT, sem meio de cultura TSB .

Amostra	mg/L de cloro adicionado	Residual de cloro (mg/L)
1	1,2	0,51
2	2,4	1,37
3	3,6	2,03
4	4,8	3,0
5	6,0	4,0
6	8,4	5,4
7	10,8	7,4
8	12,0	8,5



**FIGURA 5.5** - Resultados obtidos durante os ensaios para a construção da curva de demanda de cloro utilizando o DPD. Características da água de estudo: cor 20 uC e turbidez 20 uT, sem meio de cultura.

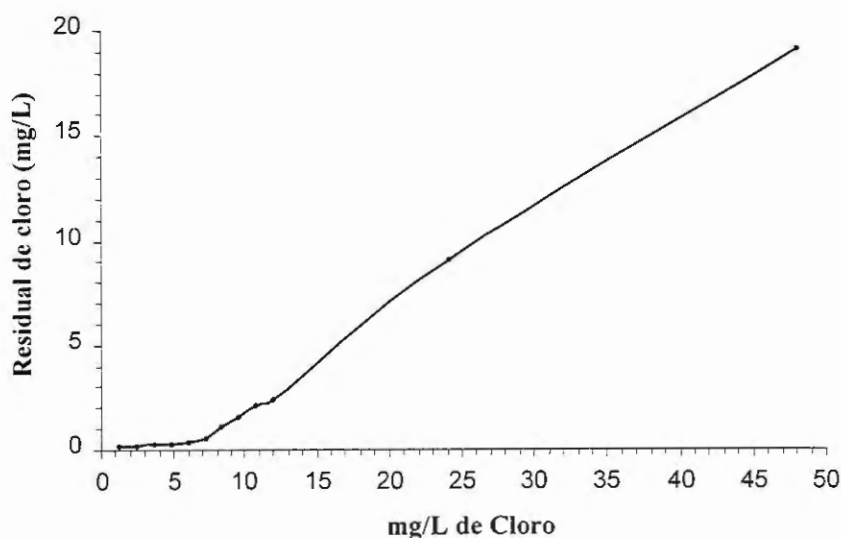
#### b) Água com cor, turbidez e meio de cultura TSB

O ensaio foi realizado adicionando-se 1 mL do meio de cultura TSB em béqueres contendo 1 L de água sintética com cor e turbidez. Os resultados estão apresentados na TABELA 5.4 e FIGURA 5.6.

**TABELA 5.4** - Resultados de residual de cloro obtidos por espectrofotometria utilizando DPD para amostras de água: cor 20 uC, turbidez 50 uT e meio de cultura TSB.

Amostra	mg/L de cloro adicionado	Residual de cloro (mg/L)
1	1,2	0,23
2	2,4	0,23
3	3,6	0,25
4	4,8	0,25
5	6,0	0,36
6	7,2	0,56
7	8,4	1,10
8	9,6	1,60
9	10,8	2,10
10	12,0	2,40
11	24,0	9,0
12	48,0	19,0





**FIGURA 5.6** - Resultados obtidos durante os ensaios para a construção da curva de demanda de cloro utilizando DPD. Características da água de estudo: cor 20 uC , turbidez 50 uT e meio de cultura TSB.

### 5.1.3.3 - Comparação entre os resultados

Comparando os resultados da curva por titulometria (TABELA 5.2 e FIGURA 5.4) com a curva por espectrofotometria (TABELA 5.3 e FIGURA 5.5), sem adição do meio TSB, verifica-se que há uma diferença de resultados entre os métodos de 20 e 30%. Entretanto, é importante ressaltar que durante a preparação da água de estudo, os valores de cor e turbidez obtidos para as diferentes águas são aproximados. Por exemplo, a água preparada para a construção da curva por titulometria, apresentou cor 17 uC e turbidez 17 uT; e a água preparada para a construção da curva por espectrofotometria apresentou cor 18 uC e turbidez 21 uT. Assim, as diferenças obtidas nos resultados, não podem ser atribuídas apenas aos métodos empregados, mas também às características da água de estudo.

A água de estudo preparada para a construção da curva de demanda de cloro, em que se adicionou além de cor e turbidez, o meio de cultura TSB (TABELA 5.4 e FIGURA 5.6), foi referenciada anteriormente com os valores de cor 20 uC e turbidez 50 uT. No entanto os valores reais foram cor 29 uC e turbidez 46 uT. Ao se

comparar essa curva com as duas anteriores, observa-se que houve aumento na demanda de cloro, sendo que os valores de residuais de cloro apresentaram menor valor. Esse comportamento foi devido à presença de matéria orgânica, proveniente do meio de cultura TSB.

#### **5.1.4 - Definição dos parâmetros operacionais**

Para a realização dos ensaios de desinfecção, foram necessárias as definições dos parâmetros: tempos de contato, concentrações dos agentes químicos cloro e ácido peracético e quantidade de lâmpadas ligadas no reator de radiação ultravioleta. Esses ensaios denominados ensaios-testes, foram realizados para cada agente desinfetante empregado na pesquisa.

##### **5.1.4.1 – Padronização dos ensaios com cloro**

O tempo de contato fixado para a realização dos ensaios para padronização das doses de cloro a serem usadas nos experimentos de desinfecção foi de 10 minutos. A água de estudo continha cor 17 uC, turbidez 20 uT e quantidade inicial (No) de *E.coli*  $10^4$  org/100 mL. Após cada ensaio era estimado o NMP dos microrganismos sobreviventes pelo método Colilert<sup>®</sup>.

Os resultados estão apresentados na TABELA 5.5.

**TABELA 5.5** - Resultados dos ensaios-testes realizados para padronização da concentração de cloro adicionada.

Concentração de cloro (mg/L)	Residual de cloro (mg/L)	NMP organismos/100mL
0,5	0,21	3,0
1,0	0,26	48,0
1,3	0,31	> 2419,2
1,6	0,39	> 2419,2
2,0	0,45	2,0
4,0	1,12	< 1
6,0	3,3	< 1
10,0	6,8	< 1
14,0	9,0	< 1
18,0	12,1	< 1

Como um dos objetivos da pesquisa era a obtenção da cinética de desinfecção, a dosagem adequada era aquela em que após a desinfecção ainda houvesse organismos sobreviventes.

Portanto, observando a TABELA 5.5, foram determinados como valores mais adequados, as dosagens de cloro: 1,0 ; 1,3 ; 1,6 e 2,0 mg/L.

Os tempos de contato foram definidos ao se observar que, para o tempo de 10 minutos e dosagem de cloro de 2,0 mg/L dos ensaios-testes, não foram detectadas bactérias *E.coli* em 100 mL de amostra. A partir daí, foram fixados os tempos de contato de 1; 5; 8 e 10 minutos.

#### **5.1.4.2 – Padronização dos ensaios com radiação ultravioleta**

A lâmina líquida foi mantida constante e igual a 8 cm em todos os ensaios. Foram realizados ensaios-testes variando a quantidade de lâmpadas ligadas, a qualidade da água e os tempos de exposição. Após cada ensaio era realizada a estimativa do NMP de microrganismos sobreviventes pelo método Colilert®.

Os resultados estão apresentados nas TABELAS 5.6, 5.7 e 5.8.

**TABELA 5.6** - Resultados dos ensaios-testes realizados para padronização dos ensaios de desinfecção com radiação ultravioleta. Água de estudo: cor 19 uC e turbidez 29,9 uT, quantidade inicial (No) de *E.coli*  $10^5$  org/100 mL e 3 lâmpadas de 15 W ligadas.

Tempo de exposição (s)	NMP org/100 mL
5	> 2419,2
10	> 2419,2
20	> 2419,2
40	> 2419,2

**TABELA 5.7** - Resultados dos ensaios-testes realizados para padronização dos ensaios de desinfecção com radiação ultravioleta. Água de estudo: cor 17 uC e turbidez 20 uT, quantidade inicial (No) de *E.coli*  $10^4$  org/100 mL e 3 lâmpadas de 15 W ligadas.

Tempo de exposição (s)	NMP org/100 mL
40	298,7
60	11
80	1
100	< 1
120	6,3

**TABELA 5.8** - Resultados dos ensaios-testes realizados para padronização dos ensaios de desinfecção com radiação ultravioleta. Água de estudo: cor 20 uC e turbidez 30 uT, quantidade inicial (No) de *E.coli*  $10^5$  org/100 mL e 4 lâmpadas de 15 W ligadas.

Tempo de exposição (s)	NMP org/100 mL
5	> 2419,2
10	> 2419,2
20	> 2419,2
40	461,9

**TABELA 5.9** - Resultados dos ensaios-testes realizados para padronização dos ensaios de desinfecção com radiação ultravioleta. Água de estudo: cor 7 uC e turbidez 2,38 uT, quantidade inicial (No) de *E.coli*  $10^5$  org/100 mL e 2 lâmpadas de 15 W ligadas.

Tempo de exposição (s)	NMP org/100 mL
10	< 1
20	< 1
30	< 1
40	< 1

Observando as TABELAS 5.6; 5.7 e 5.8 foram definidos os tempos de exposição 40; 60; 80; 100 e 120 segundos e 3 lâmpadas ligadas para os ensaios de desinfecção com características de turbidez elevadas (20 e 50 uT).

Baseado na TABELA 5.9, para os ensaios de desinfecção em que se utilizou água com turbidez baixa (2 uT) foram definidos os tempos de exposição 5; 10; 20; 30 e 40 segundos e 1 lâmpada ligada.

#### 5.1.4.3 – Padronização dos ensaios com ácido peracético

O tempo de contato fixado para a realização dos ensaios com ácido peracético foi de 10 minutos, a água de estudo continha cor 21 uC, turbidez 20 uT e quantidade inicial (No) de *E.coli*  $10^5$  org/100 mL. Após cada ensaio, era realizada a contagem de microrganismos sobreviventes pelo método Colilert<sup>®</sup>.

Os resultados estão apresentados na TABELA 5.10.

**TABELA 5.10** - Resultados dos ensaios-testes realizados para padronização da concentração de ácido peracético adicionado.

Concentração de ácido peracético (mg/L)	Número de organismos/100mL
1,0	> 2419,2
1,3	> 2419,2
1,6	> 2419,2
2,0	1732,9
2,5	816,4
3,0	686,7
3,5	< 1
4,0	< 1
5,0	< 1
10,0	< 1

Observando a TABELA 5.10, foram determinados como valores mais adequados, as dosagens de ácido peracético : 2,0 ; 2,5 ; 3,0 e 3,5 mg/L.

Os tempos de contato fixados foram 5; 8; 10 e 15 minutos.

## 5.2 – Etapa dois – Ensaios de desinfecção com cloro

Os resultados dos ensaios de desinfecção com cloro estão apresentados nas TABELAS A.01 a A.06, em anexo, conforme as características de cor e turbidez da água sintética, e na TABELA A.07 (anexo) para o ensaio com água natural.

Tendo em vista que o principal objetivo da pesquisa foi o de procurar analisar a interferência da cor e da turbidez na eficiência de desinfecção, os resultados serão apresentados e discutidos mediante dois tópicos distintos:

- ❖ influência da cor e da turbidez na demanda de cloro ;
- ❖ influência da cor e da turbidez na eficiência de desinfecção.

A análise dos resultados apresentados nas TABELAS A.01 a A.07 indica que:

- ❖ os parâmetros pH, alcalinidade e temperatura, variaram muito pouco para cada tipo de água sintética, antes e depois de aplicado o cloro;
- ❖ o pH variou de 6,0 a 6,3 em todos os ensaios com cloro;
- ❖ a alcalinidade variou de 180 a 250 mg CaCO<sub>3</sub>/L;
- ❖ a temperatura variou de 23°C a 25°C;
- ❖ sabe-se da literatura que o pH e a temperatura estão entre os mais importantes fatores que influenciam na eficiência da cloração. Assim, estando esses parâmetros numa faixa de variação muito próxima, para todas as águas analisadas, pode-se considerar que outros fatores, tais como a cor e a turbidez, é que causaram a maior interferência nos resultados dos ensaios de desinfecção;
- ❖ para a água natural o pH variou de 6,3 a 6,7, a temperatura variou de 22,4 a 24,9°C e a alcalinidade de 11 a 17 mg CaCO<sub>3</sub>/L;
- ❖ os elevados valores de alcalinidade para a água sintética, em comparação aos da água natural, devem-se à adição dos sais necessários para a composição dessa água;
- ❖ o carbono orgânico total (COT) presente na água sintética provém da substância húmica adicionada para gerar cor e da matéria orgânica que

compõe o substrato para crescimento da *E. coli*, utilizada para contaminar a água. Apesar de as concentrações variarem de uma água para outra, em média o COT foi de aproximadamente 15 mg/L;

- ❖ para a água natural o COT variou de 2,17 a 3,1 mg/L;
- ❖ o COT é um parâmetro que depende da natureza e da concentração da substância orgânica adicionada à água, assim, os valores elevados de COT da água sintética comparados aos da água natural, devem-se provavelmente à substância húmica e ao meio de cultura bacteriano adicionados à mesma;
- ❖ a absorvância a 254 nm (abs 254 nm) variou de 0,029 a 0,578 para a água sintética e de 0,067 a 0,114 para a água natural;
- ❖ os parâmetros COT e Abs 254 nm foram medidos com o objetivo de tentar verificar a influência do cloro sobre a matéria orgânica, uma vez que o cloro é reconhecidamente um oxidante de compostos orgânicos e inorgânicos e reage com quase todos os elementos presentes na água. No entanto, essa influência não pôde ser verificada através da análise desses dois parâmetros, uma vez que os mesmos variaram aleatoriamente para os diferentes tipos de águas sintética e natural, mesmo em se tratando da mesma água, para as diferentes concentrações de cloro aplicado ao longo dos tempos de contato estabelecidos;
- ❖ a cor e a turbidez da água natural ficaram na faixa de variação de 14 a 17 uC e 10 a 12 uT, respectivamente;
- ❖ o NMP/100 mL inicial de coliformes fecais para a água sintética foi da ordem de  $10^4$  para a água com cor 5 uC e turbidez 50 uT e  $10^7$  para a água cor 20 uC e turbidez 50 uT e da ordem de grandeza de  $10^6$  para os outros quatro tipos de água. Para a água natural o NMP inicial foi de  $10^4$ /100 mL de coliformes totais e  $10^3$ /100 mL de coliformes fecais.



### 5.2.1 - Influência da cor e da turbidez na demanda de cloro

A partir dos dados das características de cor e turbidez e dos residuais de cloro para a água sintética, TABELAS A.01 a A.06 em anexo, foram construídas as FIGURAS 5.7 a 5.10 para analisar a influência da turbidez na demanda de cloro e as FIGURAS 5.11 a 5.15 para verificar a influência da cor.

Os ensaios foram realizados usando quatro diferentes concentrações de cloro aplicada 1,0; 1,3; 1,6 e 2,0 mg/L e o cloro residual livre foi medido depois de 1,0; 5,0; 8,0 e 10 minutos de tempo de contato, para cada experimento.

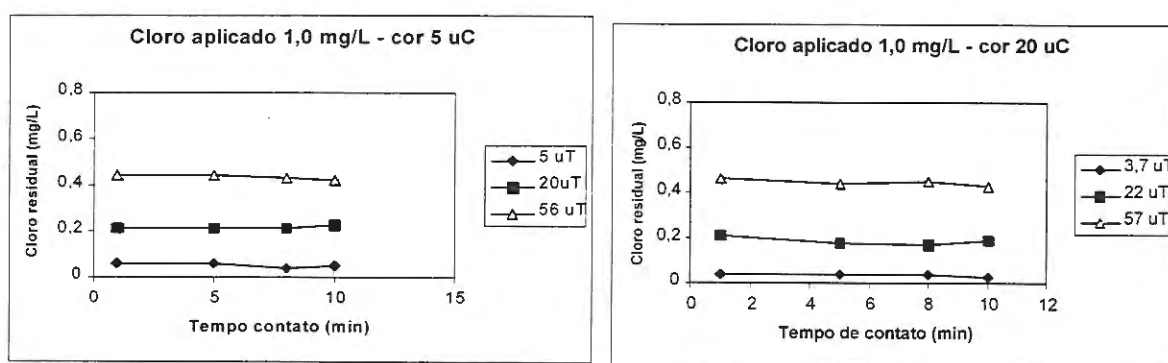


FIGURA 5.7 – Variação de cloro residual livre com a turbidez para água com cor 5 uC e 20 uC. Cloro aplicado: 1,0 mg/L

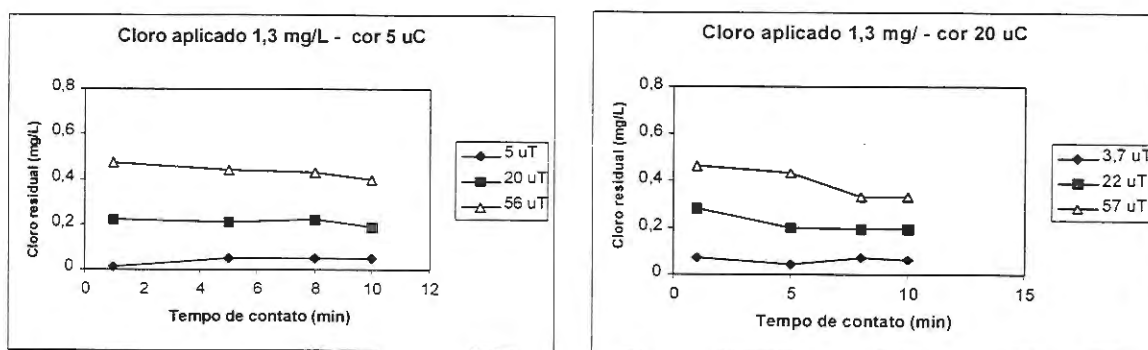


FIGURA 5.8 – Variação de cloro residual livre com a turbidez para água com cor 5 uC e 20 uC. Cloro aplicado: 1,3 mg/L.

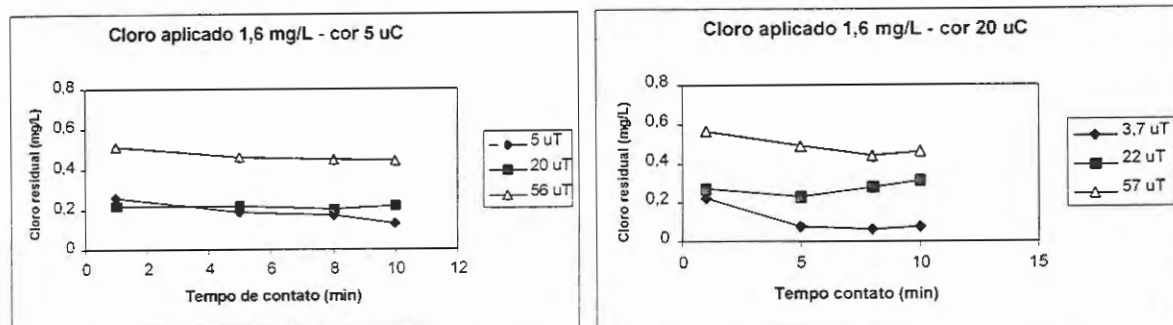


FIGURA 5.9 – Variação de cloro residual livre com a turbidez para água com cor 5 uC e 20 uC. Cloro aplicado: 1,6 mg/L

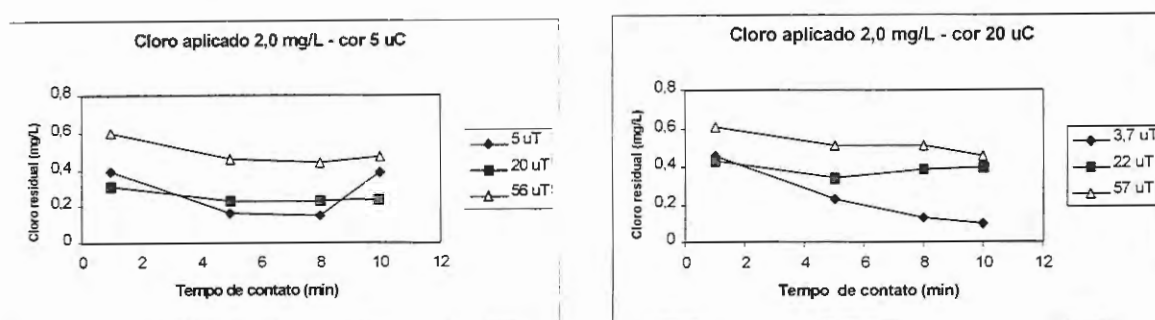


FIGURA 5.10 – Variação de cloro residual livre com a turbidez para água com cor 5 uC e 20 uC. Cloro aplicado: 2,0 mg/L

Segundo HASSEN et al (2000), o consumo de cloro durante o processo de desinfecção passa por duas etapas:

- ❖ a primeira, rápida, corresponde ao consumo de cloro devido à sua reação com os compostos redutores presentes na água. Esta etapa chamada “a satisfação da demanda imediata” parece ser instantânea;
- ❖ a segunda, durante a qual o cloro foi transformado rapidamente em formas de cloro livre e combinado. Esta etapa diz respeito particularmente ao processo de desinfecção onde o cloro residual livre deveria estar disponível para exercer seu papel anti-séptico. Está claro que a modelagem cinética de consumo de cloro ou de desinfecção deveria envolver a segunda etapa da reação, a qual é acessível de medição.

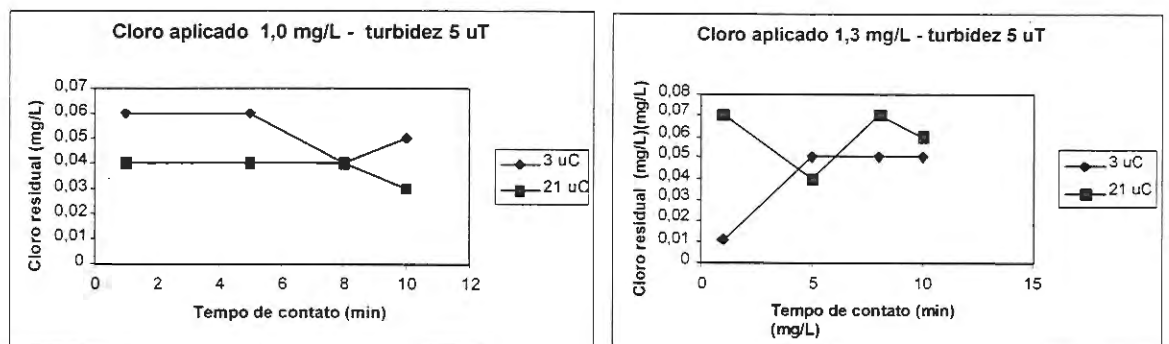
A análise das FIGURAS 5.7 a 5.10 permite verificar que o cloro residual livre foi variável de acordo com a concentração de cloro aplicada, porém mostrou em média uma baixa variação ao longo do tempo para a mesma concentração, indicando que

depois da demanda imediata do cloro na água, o cloro residual livre permaneceu no mesmo nível até o final dos experimentos.

Mantendo-se fixa a unidade de cor 5 uC e depois 20 uC, obteve-se para a menor unidade de turbidez, os menores valores de residuais de cloro. Essa proporcionalidade entre a turbidez e o cloro residual, se manteve para valores intermediários e elevados de turbidez.

A princípio, especulou-se possíveis interferências no método analítico utilizado para medição de cloro residual, o DPD colorimétrico. No entanto, durante todos os ensaios o aparelho para medição foi zerado com a própria amostra. Com base nos resultados obtidos não foi possível identificar qual o motivo do aumento de residual de cloro livre com o aumento da turbidez.

O cloro introduzido num sistema de desinfecção reagirá com uma grande variedade de substâncias. Teoricamente, ele reagirá primeiro com aminas e compostos de amônia, a seguir com compostos orgânicos não saturados e depois com compostos orgânicos saturados, e então eventualmente com certas bactérias e algas (HOM, 1972).



**FIGURA 5.11** – Variação de cloro residual livre com a cor para água com turbidez 5 uT.

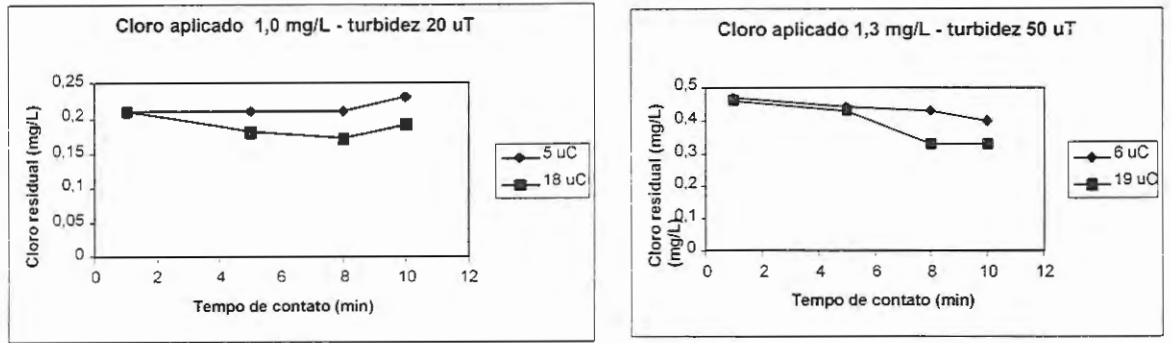


FIGURA 5.12 – Variação de cloro residual livre com a cor para água com turbidez 20 uT e 50 uT.

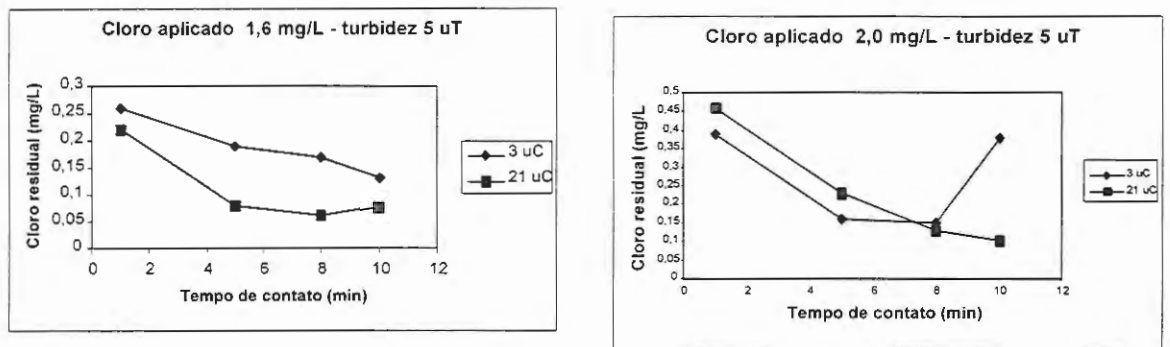


FIGURA 5.13 – Variação de cloro residual livre com a cor para água com turbidez 5 uT.

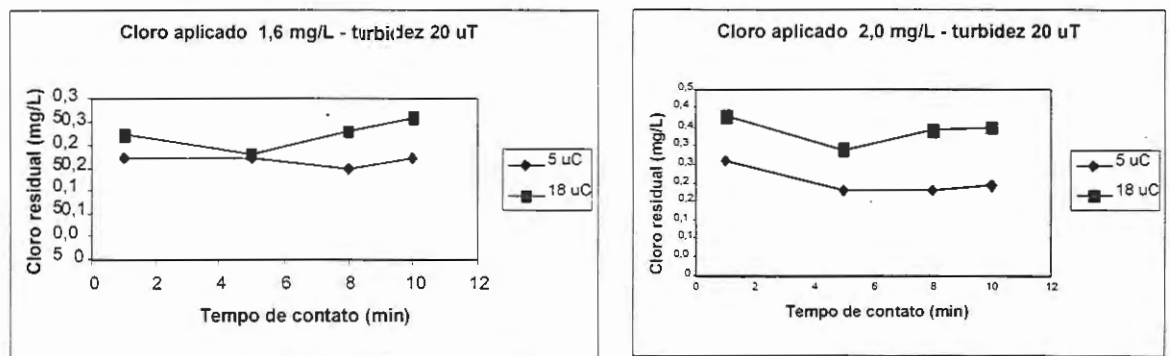
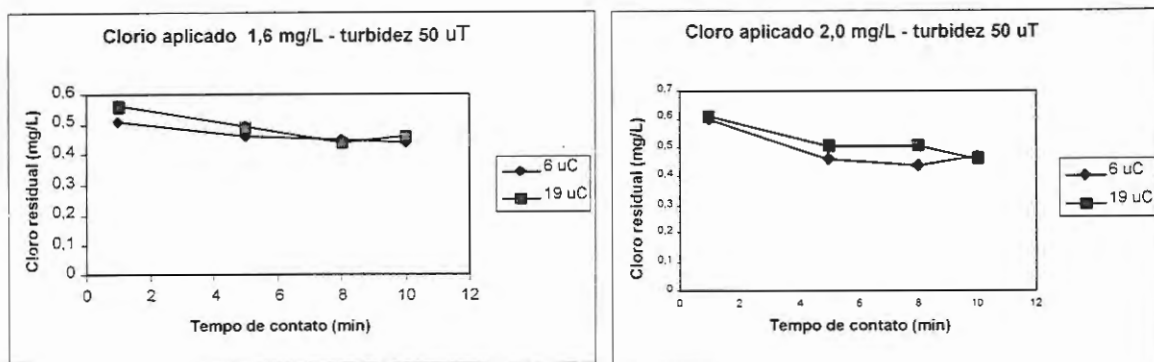


FIGURA 5.14 – Variação de cloro residual livre com a cor para água com turbidez 20 uT.

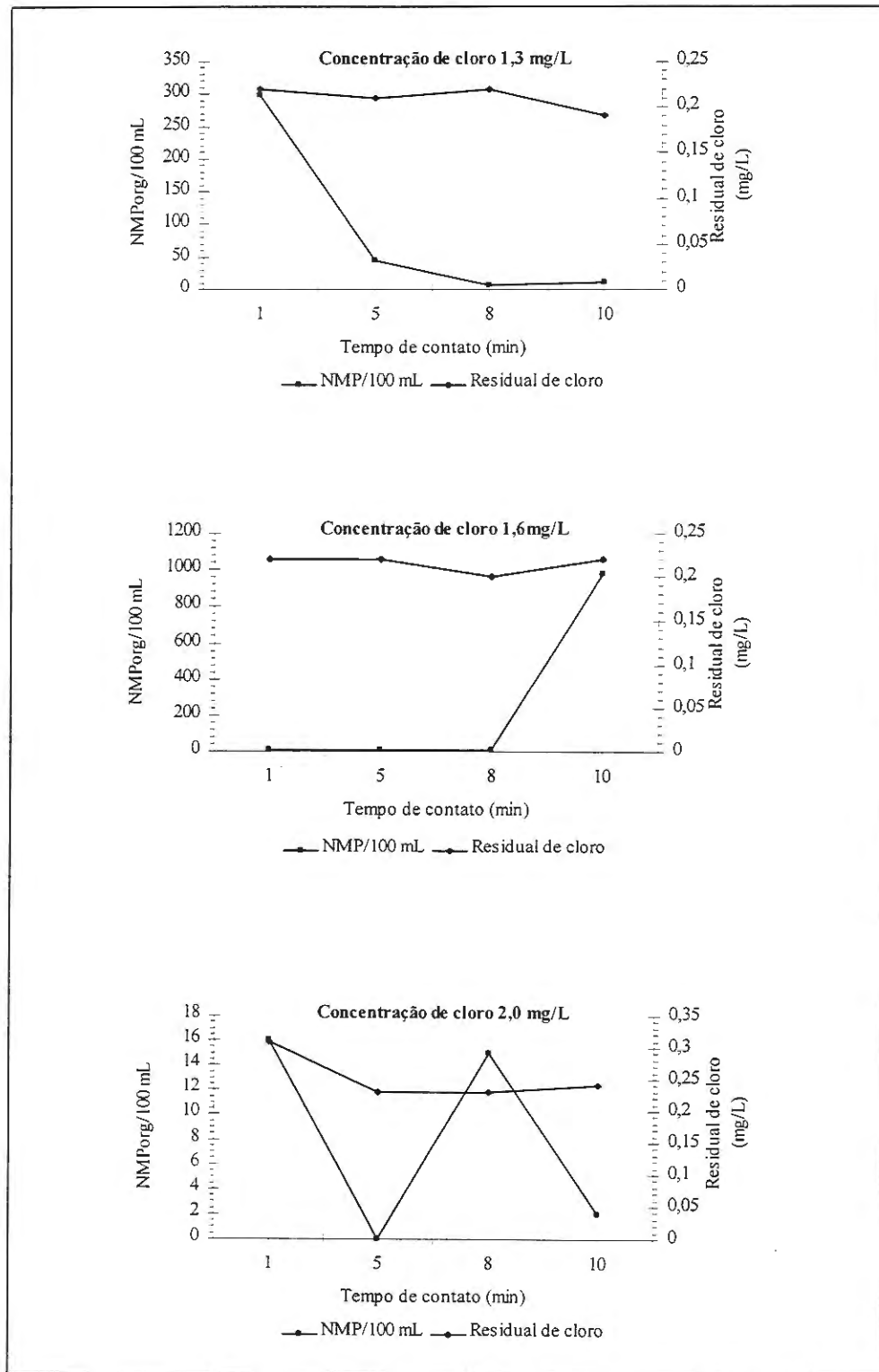


**FIGURA 5.15** – Variação de cloro residual livre com a cor para água com turbidez 50 uT.

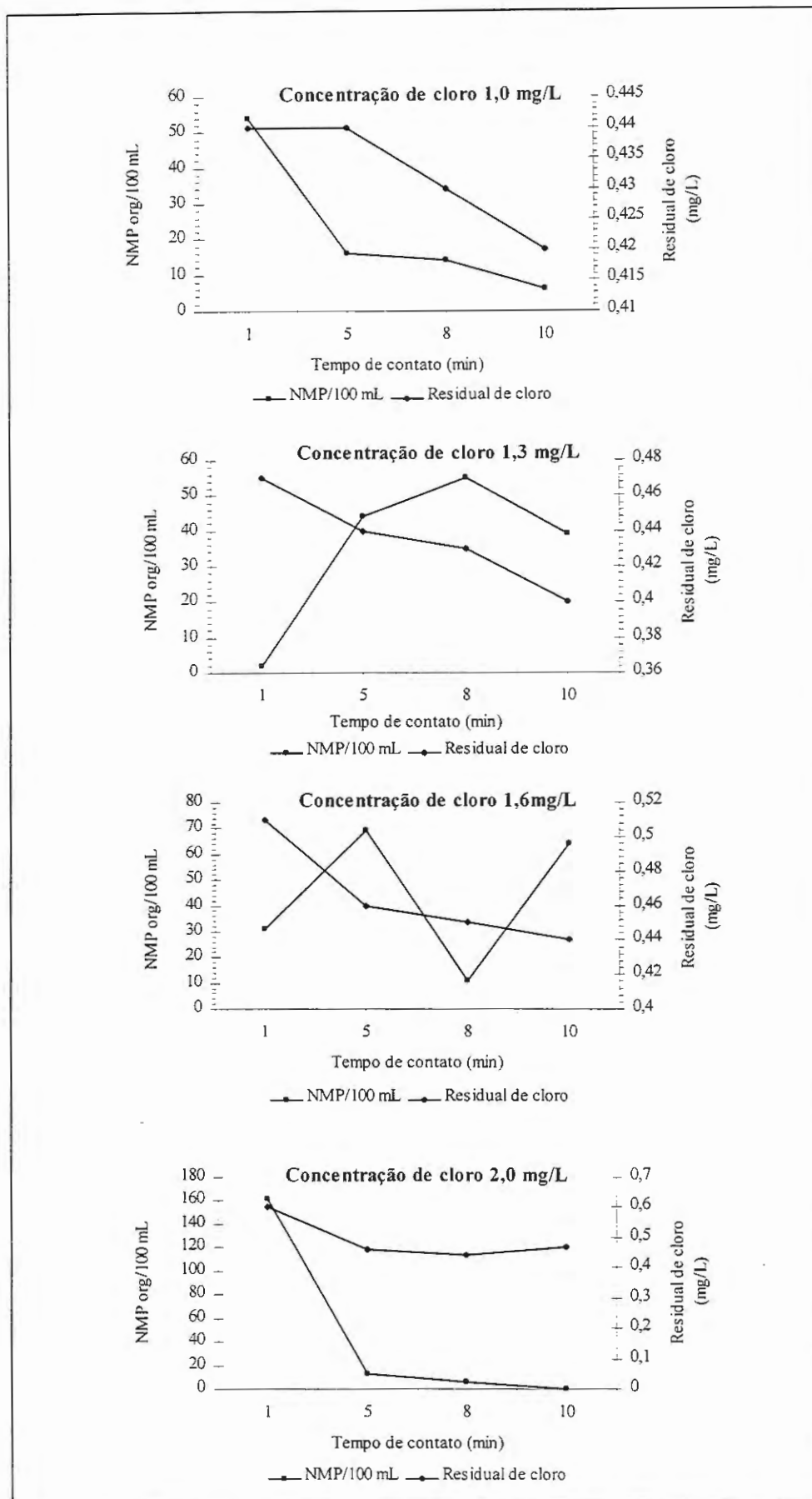
Verificou-se pouca influência da cor na variação da concentração de cloro residual livre. Possivelmente a demanda de cloro tenha sido exercida pela matéria orgânica do meio de cultura adicionado à água sintética para contaminá-la com *E. coli*.

### 5.2.2 - Influência da cor e da turbidez na eficiência de desinfecção

As FIGURAS 5.16 a 5.20 apresentam a variação de concentração de *E. coli* com o tempo de contato e com o residual de cloro livre. Preferiu-se, nessa análise, apresentar os resultados em forma de número absoluto, para indicar que em alguns casos, sobretudo quando a dose de cloro foi maior, a inativação foi suficiente para reduzir a concentração de *E. coli* a valores inferiores ao limite de detecção do método usado para o exame (Colilert)



**FIGURA 5.16** – *E. coli* sobrevivente à desinfecção com cloro aplicado em dosagens de 1,3, 1,6 e 2,0 mg/L em água com cor 5 uC e turbidez 20 uT.



**FIGURA 5.17** – *E. coli* sobrevivente à desinfecção com cloro aplicado em dosagens de 1,0, 1,3, 1,6 e 2,0 mg/L em água com cor 5 uC e turbidez 50 uT

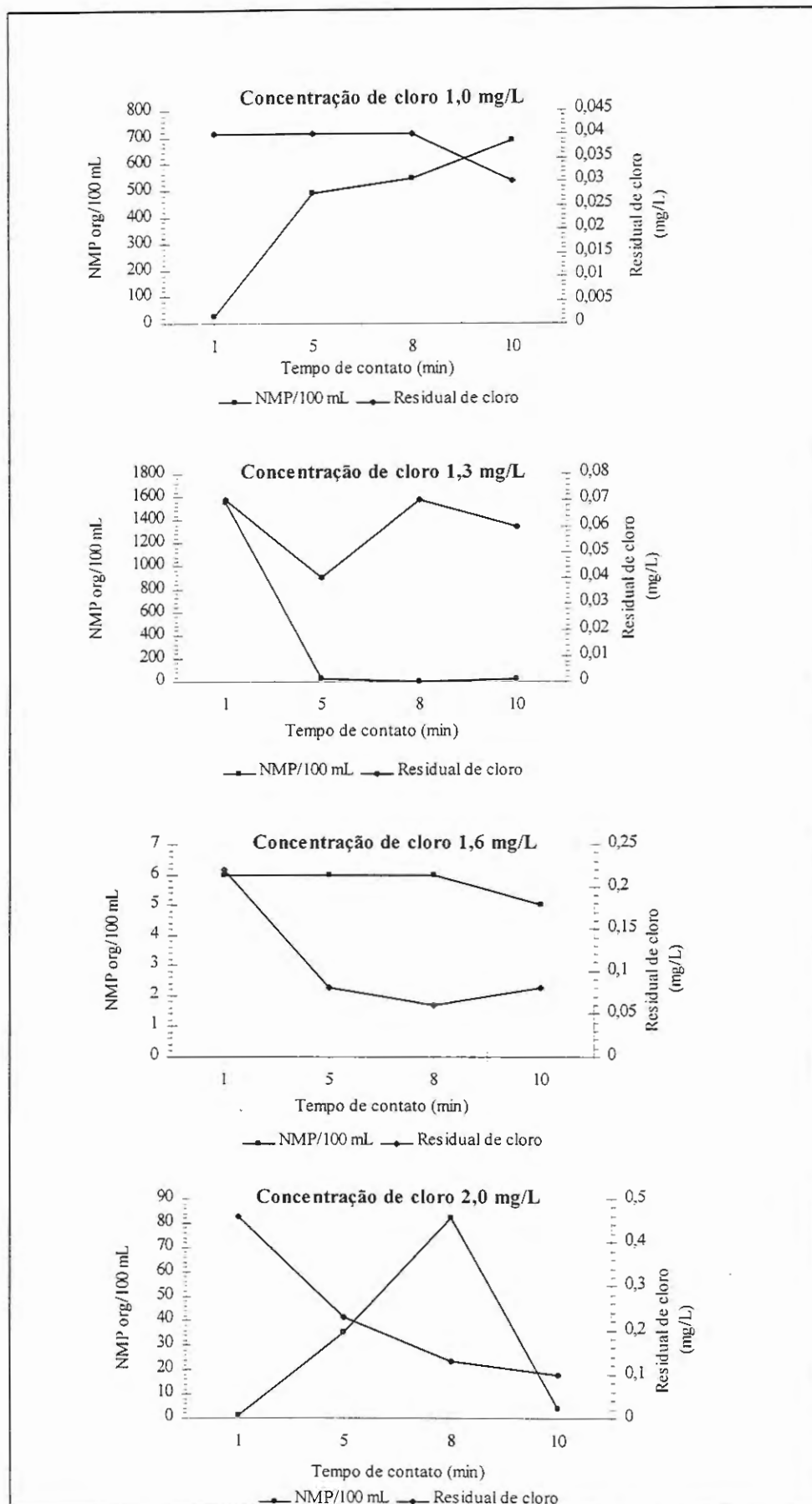
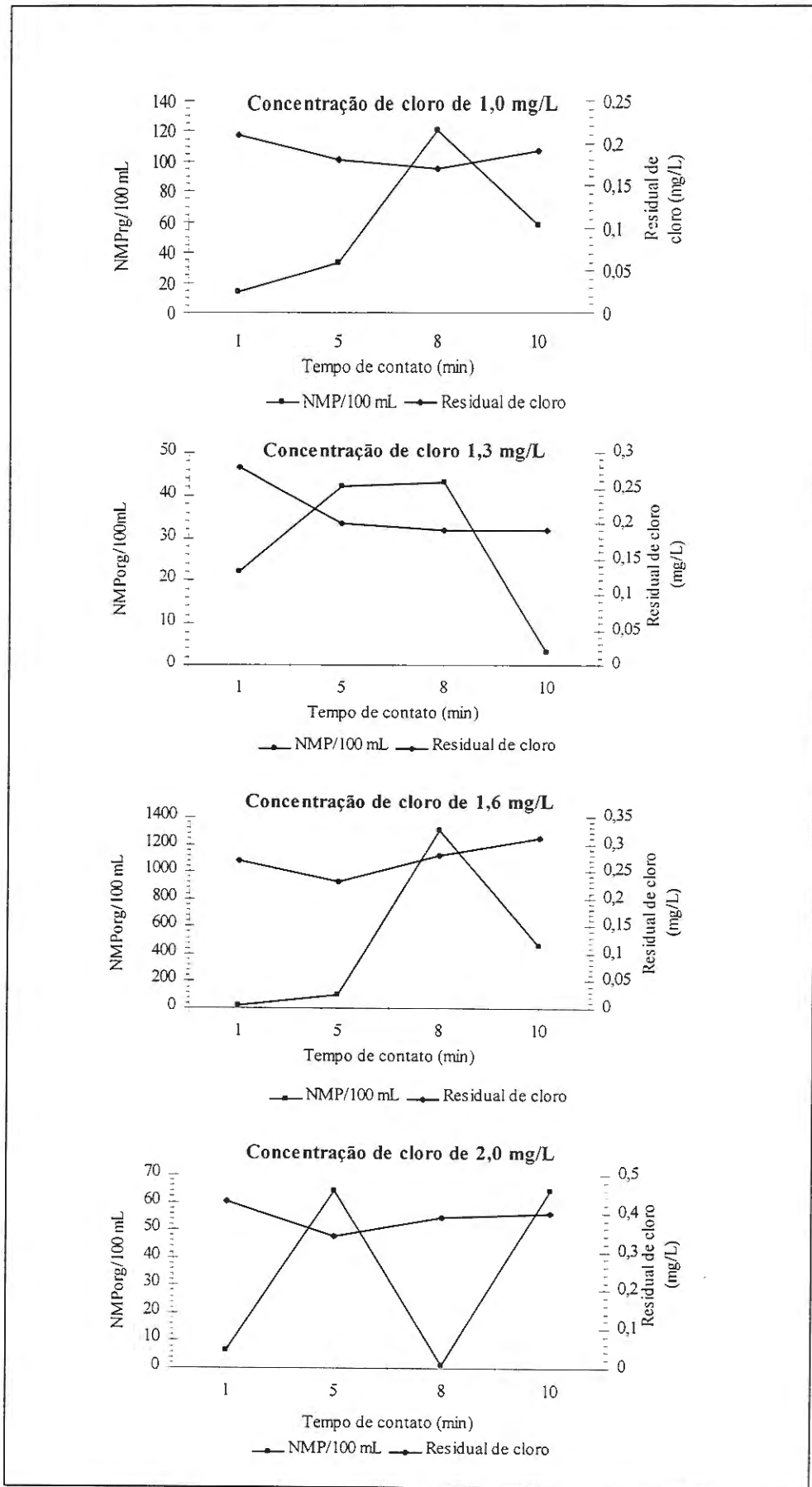
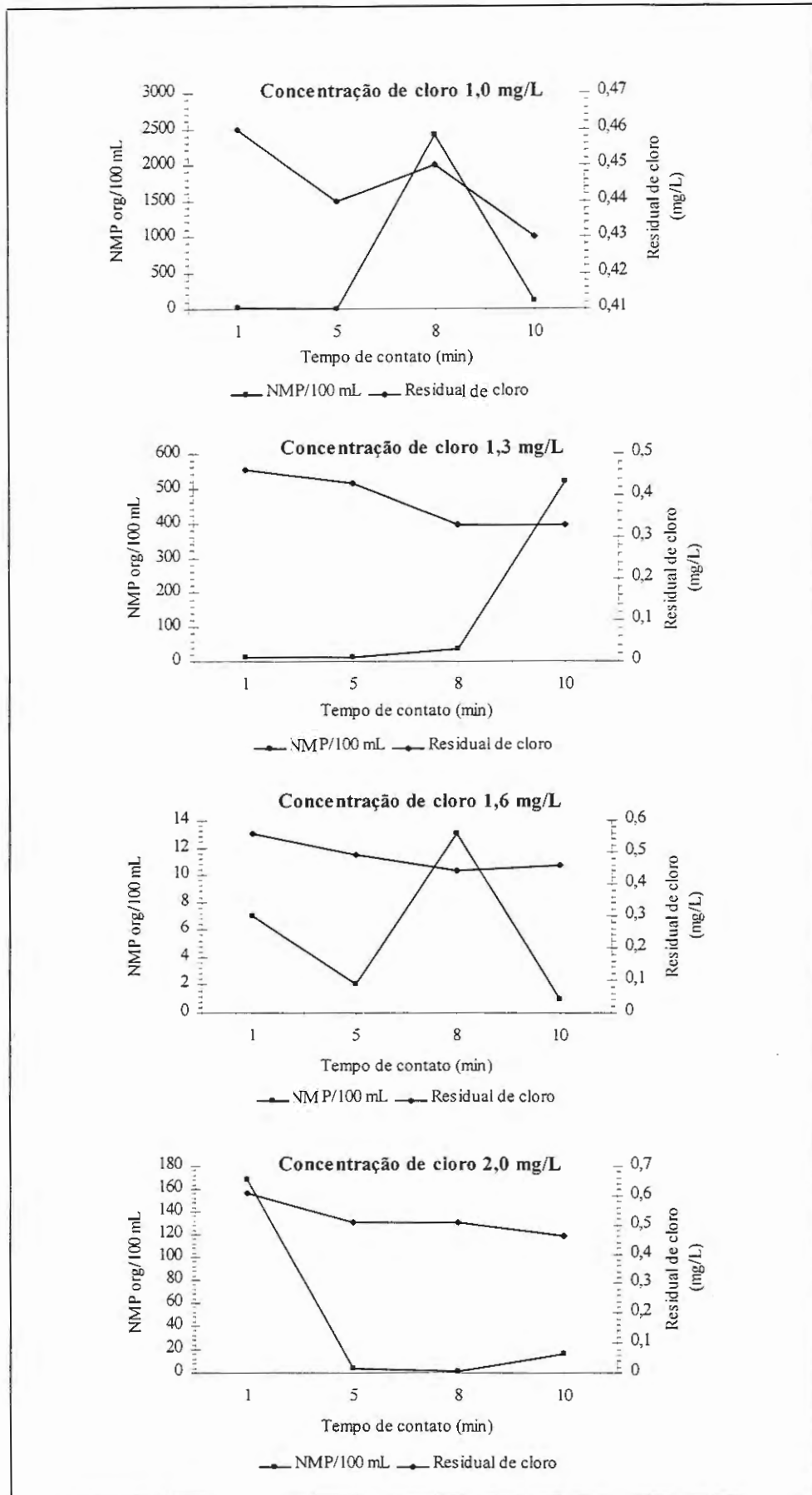


FIGURA 5.18 – *E. coli* sobrevivente à desinfecção com cloro aplicado em dosagens de 1,0, 1,3, 1,6 e 2,0 mg/L em água com cor 20 uC e turbidez 2 uT.



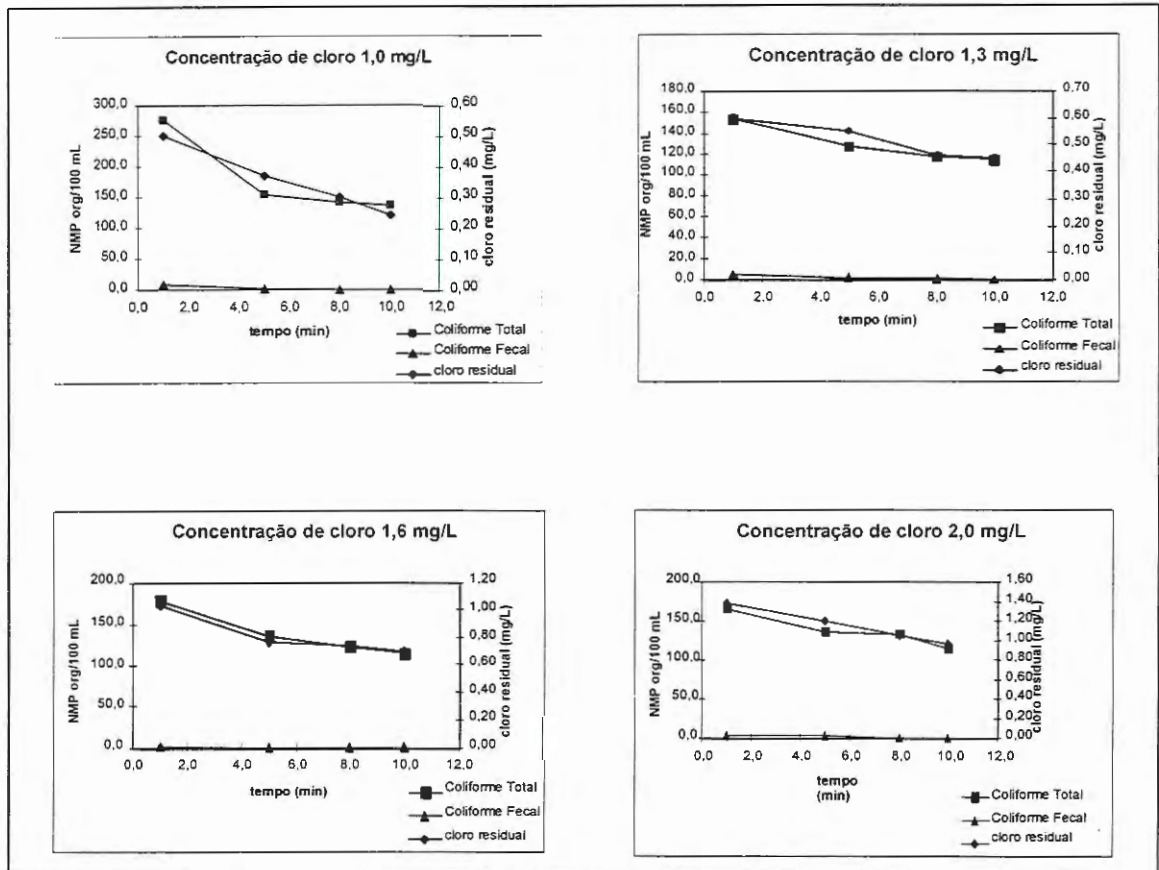


**FIGURA 5.19** – *E. coli* sobrevivente à desinfecção com cloro aplicado em dosagens de 1,0, 1,3, 1,6 e 2,0 mg/L em água com cor 20 uC e turbidez 20 uT



**FIGURA 5.20** – *E. coli* sobrevivente à desinfecção com cloro aplicado em dosagens de 1,0, 1,3, 1,6 e 2,0 mg/L em água com cor 20 uC e turbidez 50 uT

Para a água natural foi construída a FIGURA 5.21 utilizando os resultados obtidos. Os ensaios de desinfecção para a água natural, seguiram os mesmos procedimentos que os da água sintética.



**FIGURA 5.21** –Coliformes totais e fecais sobreviventes à desinfecção com cloro aplicado em dosagens de 1,0, 1,3, 1,6 e 2,0 mg/L em água natural.

Conforme já mencionado, foram realizados experimentos com seis tipos de água sintética e um com água natural.

Dos seis tipos de água sintética analisados para verificar a influência da cor e da turbidez na eficiência de desinfecção, dois merecem ser destacados pelas diferenças notadas nos resultados: a água com menor cor e menor turbidez (cor 5 uC e turbidez 2) e a água com maior cor e maior turbidez (cor 20 uC e turbidez 50).

Para a água com cor 5 uC e turbidez 2 uT, não foi possível construir os gráficos de inativação bacteriana, uma vez que, quase todos os resultados obtidos para as diferentes concentrações de cloro ao longo dos tempos de contato, o

NMP./100 mL final foi menor que 1, impossibilitando a plotagem de pontos para a curva.

No entanto, para a água com cor 20 uC e turbidez 50 uT em todos os resultados detectou-se pelo menos 1 NMP/100 mL para as diferentes concentrações e tempos de contato.

Fatos similares são encontrados na literatura. Correlações feitas entre turbidez e eficiência de desinfecção de coliformes verificando-se que a turbidez de 1,5 NTU permitiu 4 log de redução em coliformes em 1 hora de contato e 0,5 mg/L de cloro. Entretanto, turbidez de 13 NTU permitiu apenas 1 log de redução em coliformes para o mesmo tempo e 1,5 mg/L de cloro (Le CHEVALLIER et al, apud CAIRNS 1995).

Entre as considerações sobre os mecanismos de como as partículas que provocam a turbidez influenciam a desinfecção estão: a turbidez provocaria “barreiras” que ditariam em maior ou menor grau a taxa de entrada do desinfetante no interior dos microrganismos e ainda, reações do cloro com as partículas que causam a turbidez.

Apesar das diferentes qualidades da água sintética utilizadas, de maneira geral, em todos os ensaios houve decaimento do número de bactérias inicial ( $N_0$ ) da ordem de  $10^6$  para valores finais (N) da ordem de  $10^3$ ,  $10^2$  ou ainda menores, após a aplicação do cloro. Porém, nem sempre para as maiores concentrações de cloro aplicadas, e para os tempos de contato mais elevados obteve-se maior redução no número de microrganismos. Os valores dos números finais de bactérias (N) oscilaram muito, conforme pode-se observar nas tabelas e nas figuras apresentadas. Ao contrário do esperado, na maioria das vezes, não houve um decaimento bacteriano proporcional ao aumento das dosagens de cloro e ao longo do tempo.

Observando a literatura especializada sobre desinfecção com cloro, notou-se que o ocorrido nesta pesquisa não foi um caso isolado.

Segundo HOM (1972), ao contrário do esperado, algumas vezes a taxa de inativação bacteriana diminui com o tempo. Isto parece ser comum em ambientes naturais e durante a cloração. Em 1950 ELIASSEN e KRIEGER mostraram que um aumento no tempo de contato de 1 para 10 minutos diminuiu os coliformes por um fator de 100, mas todavia, o aumento do tempo de contato de 10 para 100 minutos

não teve grande efeito para a diminuição dos coliformes. Em 1951 POPP notou que as taxas de inativação ocorreram em duas etapas para a cloração, com a primeira etapa (os primeiros 12 segundos) marcadamente mais efetiva para a inativação bacteriana, quando a dosagem de cloro era relativamente alta para o número de organismos presentes. Tudo indica que o decréscimo estaria sendo causado por um declínio na concentração do desinfetante com o tempo de contato. Outros fatores interferentes tais como variação de resistência de células diferentes, também poderia contribuir para o decréscimo da inativação com o tempo.

Um fator muito questionado durante toda a pesquisa foi o trabalho com água preparada em laboratório, em que se buscava simular um ambiente natural, contaminando a água com bactérias *E. coli* proveniente de uma cepa de linhagem pura, na tentativa de obter água contaminada por coliformes fecais.

A primeira dificuldade foi conseguir adicionar um número pré-determinado relativamente próximo de bactérias (da mesma ordem de grandeza) para todas as águas preparadas, de forma que os ensaios fossem comparados ao final da desinfecção. Superada essa dificuldade, um outro fator marcante, que parece ter influenciado todo o experimento foi a homogeneização da água, que deveria ser a mais "ideal" possível para que os resultados fossem mais representativos, uma vez que o método Colilert utilizado para avaliação do número de coliformes detecta inclusive 1 organismo em 100 mL de amostra. Apesar de a água ter ficado em constante agitação durante todo o experimento, acredita-se que não houve uma distribuição uniforme das colônias de bactérias na água, quando a mesma era separada nos béqueres para os ensaios de desinfecção.

Sabe-se que a cinética de desinfecção com o cloro depende de vários fatores, entre os quais pode-se citar: o tempo de reação, a concentração residual de cloro, o número de organismos sobreviventes, a qualidade físico-química da água estudada, o funcionamento hidráulico do reator empregado, as reações do cloro com os componentes presentes na água e fatores específicos da cinética de inativação bacteriana.

Assim, muitas vezes os resultados variáveis apresentados, podem estar relacionados a alguns desses fatores, em maior ou menor grau de importância. Por

exemplo, detectou-se principalmente, como já foi mencionado, a interferência da turbidez e possíveis falhas no sistema de mistura para a homogeneização da água.

Relacionando as medidas de cloro residual com os resultados de inativação bacteriana, por diversas vezes não foi possível obter uma correlação entre essas duas variáveis. Observando porém a passagem de um artigo de HOM (1972), encontra-se a seguinte citação:

*Na avaliação do efeito dos compostos de cloro para a desinfecção, é um tanto convencional correlacionar inativação bacteriana com concentração de cloro remanescente depois de um tempo de contato especificado. O termo demanda de cloro é usado para descrever a diferença entre a quantidade de cloro aplicado e a concentração remanescente no final do período de contato. Na prática, o critério assumido é que a efetividade da ação bactericida é função do cloro remanescente, conseqüentemente a existência de cloro residual em concentração alta é evidência primordial de efetiva desinfecção. Entretanto, é importante reconhecer que não é sempre necessário ter um residual de cloro elevado para alcançar um alto nível de desinfecção. Durante a satisfação da demanda de cloro, muitas moléculas de cloro ou de hipoclorito poderiam já ter realizado o objetivo denominado morte ou inativação de patogênicos ou coliformes. Assim, não é surpreendente que dosagens de cloro insuficientes para produzir cloro residual poderiam ser extremamente efetivas na redução de organismos indicadores.*

Para o ensaio com água natural foram empregadas as mesmas concentrações de cloro e os mesmos tempos de contato dos ensaios com água sintética. A água natural (bruta) apresentou: cor verdadeira 36 uC, turbidez 10,4 uT, NMP de  $2,42 \times 10^4$  /100mL para coliformes totais, e NMP de  $9,80 \times 10^3$  /100mL para coliformes fecais.

Para as duas maiores concentrações de cloro aplicadas (1,6 e 2,0 mg/L) foram obtidas as maiores reduções nos números de bactérias totais e fecais, para os mesmos tempos de contato, observando-se assim um decaimento geral na quantidade de organismos, proporcional ao aumento do cloro aplicado ao longo do tempo. Tal fato pode ser explicado provavelmente, pelos fatores anteriormente citados.

### 5.3 – Etapa três - Ensaios de desinfecção com radiação ultravioleta

A desinfecção com radiação ultravioleta foi feita utilizando-se água sintética e água natural, coletada no córrego Espreado, em São Carlos.

Para avaliar a interferência da cor e da turbidez na eficiência de desinfecção, esses parâmetros foram variados na água sintética adicionando-se substância húmica e argila montmorilonita em quantidades que produziram pares cor-turbidez próximas a 5-2, 5-20, 5-50, 20-2, 20-20 e 20-50.

Os resultados das análises físico-químicas para os seis tipos de água sintética e para a água natural estão apresentados nas TABELAS A.08 a A.17 (anexo).

Foi observado através das análises físico-químicas que os parâmetros: pH, alcalinidade, COT, e a absorvância a 254 nm das amostras filtradas variaram muito pouco para os diferentes tipos de água sintética e ao longo dos tempos de exposição. Tal fato era previsível uma vez que a desinfecção por radiação ultravioleta é um processo físico, onde nenhum produto químico é adicionados à água. Esses parâmetros foram analisados em todos os ensaios com a finalidade de monitoramento de cada água de estudo.

Em virtude das diferentes características das águas de estudo, os ensaios de desinfecção com radiação ultravioleta foram realizados com 1 lâmpada ligada, e os tempos de exposição: 5, 10, 20 30 e 40 segundos para água com turbidez baixa e com 3 lâmpadas ligadas e os tempos de exposição: 40, 60, 80 100 e 120 segundos, para águas com turbidez elevadas. Assim, os resultados de intensidade de radiação na superfície da lâmina líquida, intensidade média, dose e coeficientes de extinção foram variáveis para cada tipo de água ensaiada, e estão apresentados nas TABELA A.24 a A.29 (anexo).

A intensidade de radiação ultravioleta foi medida por actinometria. Os resultados dos ensaios de actinometria para os ensaios de desinfecção com 1 e 3 lâmpadas ligadas e tempo de irradiação de: 5 minutos estão apresentados nas tabelas 5.11 e 5.12.

**TABELA 5.11** – Ensaio de actinometria para 3 lâmpadas ligadas e 5 minutos de irradiação ultravioleta.

	Abs a 510 nm	Concentração de Fe <sup>2+</sup>
Antes	0,528	2,774
Depois	0,756	3,987

**TABELA 5.12** – Ensaio de actinometria para 1 lâmpada ligada e 5 minutos de irradiação ultravioleta.

	Abs a 510 nm	Concentração de Fe <sup>2+</sup>
Antes	0,239	1,241
Depois	0,370	1,935

Com os resultados das concentrações de Fe<sup>2+</sup> antes e depois de irradiada a solução actinométrica de ferrioxalato de potássio e seguindo a metodologia descrita por HATCHARD & PARKER (1953) e utilizada por DANIEL (1993), obteve-se a intensidade de radiação ultravioleta para 1 e 3 lâmpadas utilizadas.

### 5.3.1 – Estudo da cinética de desinfecção

Os resultados da cinética de desinfecção com radiação ultravioleta estão apresentados na TABELA 5.13 e nas FIGURAS 5.22 a 5.30.

O ajuste dos resultados de desinfecção da água sintética foi feito considerando o modelo cinético empírico proposto por HOM (1972), adaptando-o à equação originalmente desenvolvida para desinfetantes químicos à radiação ultravioleta:

$$\frac{dN}{dT} = -kI^m t^n N \quad (5.1)$$

Integrando para os limites  $t=0$  e  $t$ ;  $N$  e  $N_0$ :



$$\int_{N_0}^N \frac{dN}{N} = -kI^m \int_0^t t dt \quad (5.2)$$

$$\ln \frac{N}{N_0} = -\frac{k}{n+1} I^m t^{n+1} \quad (5.3)$$

No: concentração de microrganismos antes da desinfecção (NMP/100 mL)

N: concentração de microrganismos depois da desinfecção (NMP/100 mL)

I: intensidade média de radiação ultravioleta (254 nm) na lâmina de água (mW/cm<sup>2</sup>)

t: tempo de exposição (s).

A intensidade média foi calculada pela lei de Beer-Lambert:

$$I = \frac{I_0}{L} \int_0^L e^{-ax} dx \quad (5.4)$$

I<sub>0</sub>: intensidade de radiação ultravioleta na superfície da água (mW/cm<sup>2</sup>)

I: intensidade média de radiação ultravioleta na lâmina de água de espessura L (mW/cm<sup>2</sup>)

L: espessura da lâmina de água (cm)

a: coeficiente de extinção (cm<sup>-1</sup>)

O coeficiente de extinção foi obtido experimentalmente a partir da absorvância da água, medida em espectrofotômetro em cubeta de 1 cm e comprimento de onda de 254 nm. A intensidade na superfície foi obtida experimentalmente empregando-se ferrioxalato de potássio.

Os coeficientes k, m e n foram obtidos por regressão múltipla a partir da transformação da equação (5.3) em polinômio:

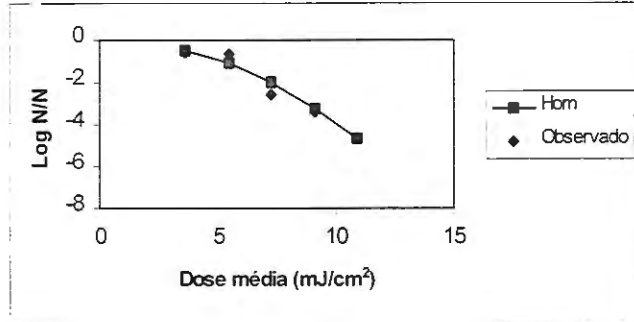
$$\ln \left( -\ln \frac{N}{N_0} \right) = \ln \frac{k}{n+1} + m \ln I + (n+1) \ln t \quad (5.5)$$

A regressão foi feita em separado para cada par cor-turbidez, pois era esperado que a maior turbidez reduziria a eficiência de desinfecção devido à maior absorção de radiação.

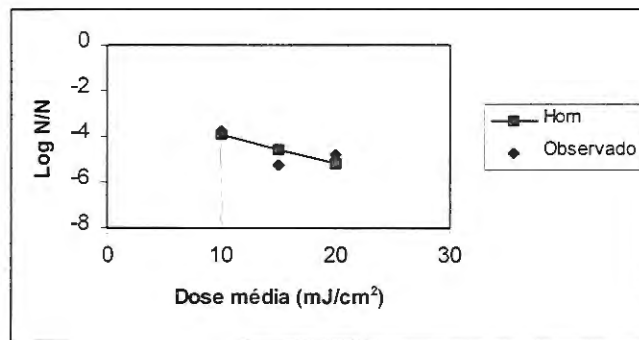
Posteriormente, as águas com mesma turbidez foram avaliadas em conjunto, obtendo-se outras equações.

**TABELA 5.13** - Equações empíricas obtidas para a desinfecção de *Escherichia coli* ATCC 25922 com radiação ultravioleta – Modelo de HOM (1972).

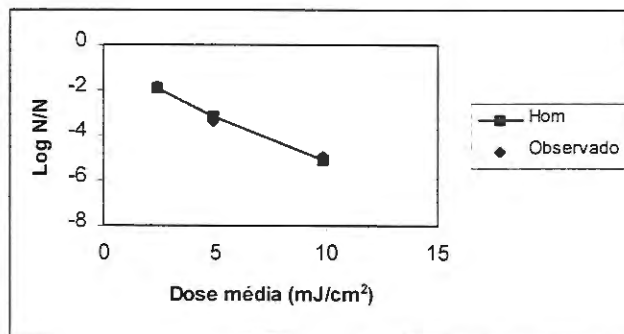
COR-TURBIDEZ	EQUAÇÃO	COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO (r <sup>2</sup> )
5-50	$\frac{N}{No} = \exp(-0,000655I^{0,125}t^{2,0913})$	0,8990
5-20	$\frac{N}{No} = \exp(-1,154I^{-0,333}t^{0,6983})$	0,5870
5-2	$\frac{N}{No} = \exp(-5,069I^{0,6094}t^{0,3882})$	0,9852
20-50	$\frac{N}{No} = \exp(-0,0000317I^{-0,9375}t^{2,1807})$	0,8802
20-20	$\frac{N}{No} = \exp(-0,2408I^{-0,513}t^{0,7062})$	0,8616
20-2	$\frac{N}{No} = \exp(-0,4035I^{9,0}t^{0,6095})$	0,9709
5 e 20-50	$\frac{N}{No} = \exp(-0,0115I^{1,402}t^{2,136})$	0,9197
5 e 20-20	$\frac{N}{No} = \exp(-2,491I^{0,562}t^{0,5472})$	0,7324
5 e 20-5	$\frac{N}{No} = \exp(-1,60I^{-0,09074}t^{0,63186})$	0,9734



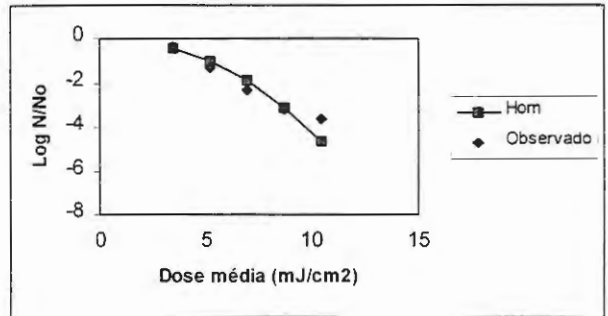
**FIGURA 5.22** – Desinfeção de água sintética com radiação ultravioleta – cor 5 uC e turbidez 50 uT.



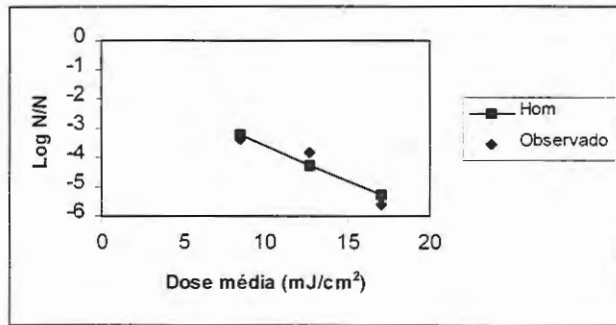
**FIGURA 5.23** – Desinfeção de água sintética com radiação ultravioleta – cor 5 uC e turbidez 20 uT.



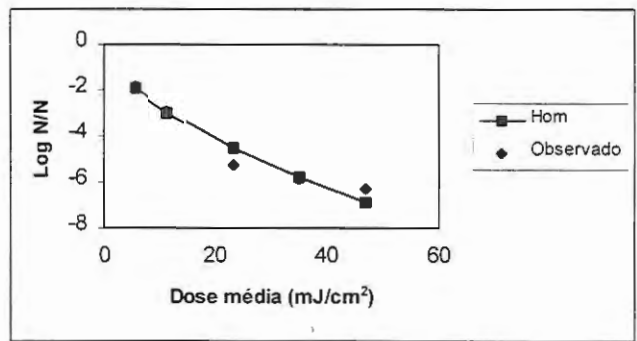
**FIGURA 5.24** – Desinfeção de água sintética com radiação ultravioleta – cor 5 uC e turbidez 2 uT.



**FIGURA 5.25** – Desinfecção de água sintética com radiação ultravioleta – cor 20 uC e turbidez 50 uT.



**FIGURA 5.26** – Desinfecção de água sintética com radiação ultravioleta – cor 20 uC e turbidez 20 uT.



**FIGURA 5.27** – Desinfecção de água sintética com radiação ultravioleta – cor 20 uC e turbidez 2 uT.



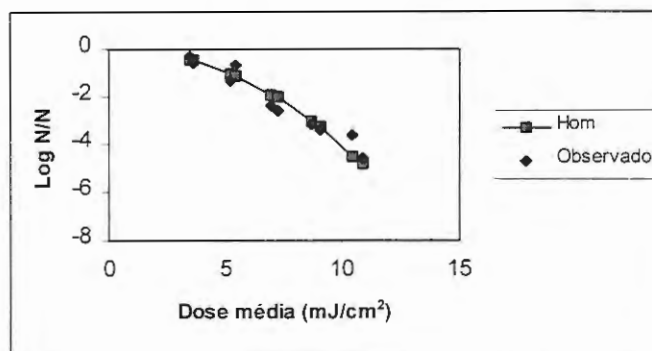


FIGURA 5.28– Desinfecção de água sintética com radiação ultravioleta – cor 5 e 20 uC e turbidez 50 uT.

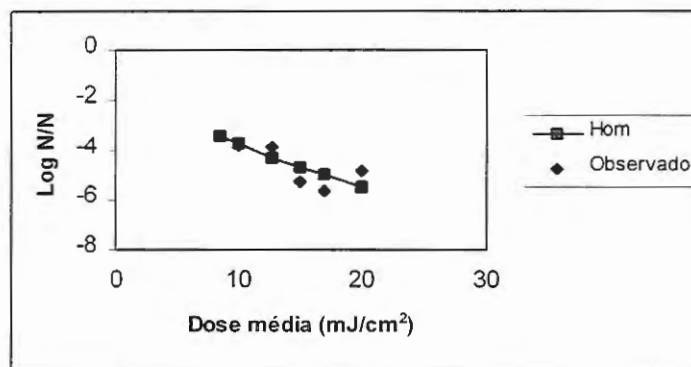


FIGURA 5.29 – Desinfecção de água sintética com radiação ultravioleta – cor 5 e 20 uC e turbidez 20 uT.

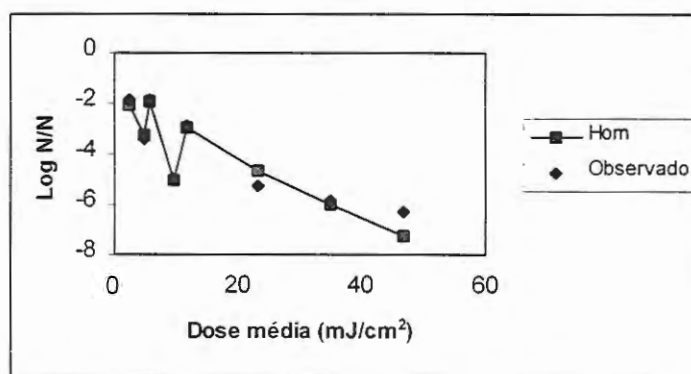
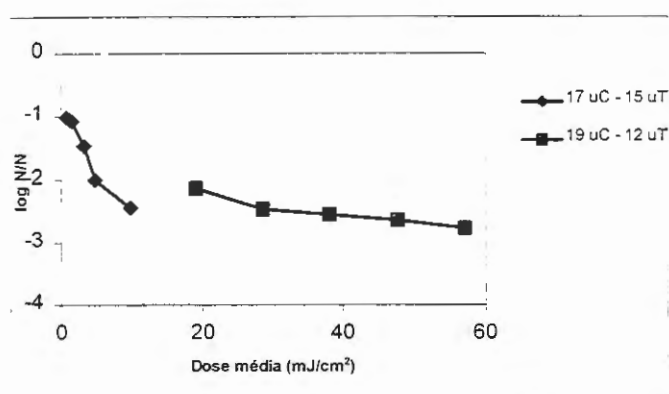


FIGURA 5.29 – Desinfecção de água sintética com radiação ultravioleta – cor 5 e 20 uC e turbidez 2 uT.



**FIGURA 5.30** - Desinfecção de água natural com radiação ultravioleta

A análise das FIGURAS 5.22 a 5.30 e da TABELA 5.13, que apresenta as equações obtidas e os coeficientes de correlação, permitem verificar que:

- ❖ de maneira geral o modelo de HOM ajustou-se bem aos resultados experimentais como pode ser observado;
- ❖ a importância da modelação cinética é que ela permite entender melhor o fenómeno estudado, sendo possível prevenir, antecipar, especular e fazer simulações a respeito do mesmo, sendo também essencial quando se deseja fazer ampliação de escala;
- ❖ como esperado, a turbidez interferiu na desinfecção.

A constante de decaimento é intrínseca de cada microrganismo, dependendo da dose de radiação recebida e das características do meio que atuam conjuntamente com o desinfetante. É conveniente que nos estudos para obtenção de parâmetros cinéticos a água seja isenta de material particulado ou os contenha em pequena quantidade e mesmo assim com distribuição de tamanhos com diâmetro menor que os microrganismos, objeto de desinfecção.

### 5.3.2 - Influência da cor e da turbidez na eficiência de desinfecção com radiação ultravioleta.

De maneira semelhante à análise feita para o cloro, procurou-se relacionar a influência da turbidez na desinfecção com radiação ultravioleta. Sendo assim, agrupou-se os resultados das águas com mesma cor e com turbidez diferentes, de modo a salientar o efeito redutor da inativação causado pela turbidez.

A partir dessas conclusões foram construídas as figuras 5.31 e 5.32.

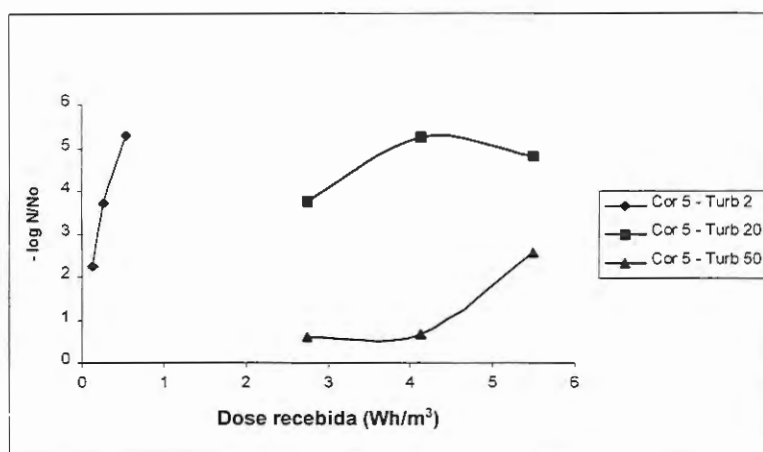


FIGURA 5.31– Inativação bacteriana em relação à dose de radiação ultravioleta recebida pela água com cor 5 uC e turbidez variáveis.

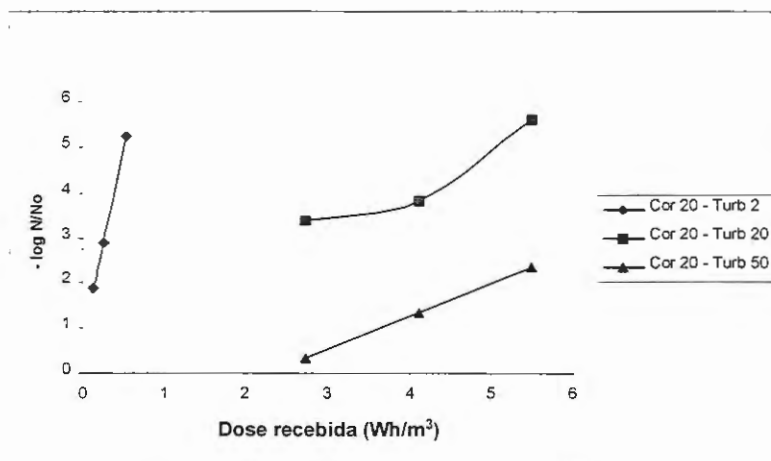


FIGURA 5.32– Inativação bacteriana em relação à dose de radiação ultravioleta recebida pela água com cor 20 uC e turbidez variáveis.

A análise das FIGURAS 5.31 e 5.32 permite observar que a turbidez interfere na eficiência de desinfecção com radiação ultravioleta:

- ❖ para a água de estudo com turbidez baixa (2 uT) a inativação bacteriana foi mais elevada com uma menor dose recebida, por exemplo, remoções maiores do que 5 log foram alcançadas para essa turbidez;
- ❖ para a água com turbidez 20 uT tais remoções também foram alcançadas, no entanto a dose recebida foi muito mais elevada, em virtude do número de lâmpadas ligadas (1 lâmpada para a água de estudo com turbidez 2 uT e 3 lâmpadas para a água de estudo com turbidez 20 e 50 uT);
- ❖ para a água de estudo com a turbidez mais elevada (50 uT), a eficiência de remoção bacteriana foi a mais baixa, especialmente quando comparada com a água de turbidez 20 uT, que teve a mesma faixa de dose de radiação recebida.

Ao contrário da turbidez, a cor teve pouca influência na eficiência de inativação bacteriana, uma vez que tanto para a água de estudo com cor 5 uC ou 20 uC, as curvas tiveram comportamento semelhante. Talvez a variação de 5 uC para 20 uC não tenha sido suficiente para avaliar a interferência da cor na eficiência de desinfecção com radiação ultravioleta.

A desinfecção com radiação ultravioleta é afetada principalmente pela presença de partículas ou substâncias químicas (compostos orgânicos e inorgânicos dissolvidos) que interferem na transmissão da luz ultravioleta.

Provavelmente essas partículas dificultam a incidência da radiação UV nos microrganismos. Isso pode ser explicado pelo fato de que essas partículas e substâncias se encontram muitas vezes entre a fonte de emissão de radiação e as bactérias, ou ainda agregadas às mesmas, formando uma espécie de “barreira” que diminui a eficiência da desinfecção.

Sabe-se que a cor e a turbidez interferem na leitura de absorvância, e como a dose é um parâmetro inversamente proporcional à absorvância da amostra, conclui-se que absorvâncias menores apresentadas em amostras com cor e turbidez menores resultarão em doses médias maiores, para um mesmo tempo de exposição.

Assim, dependendo das características da água de estudo, pode-se conseguir maior ou menor eficácia antimicrobiana, uma vez que a dose de radiação ultravioleta ditará a quantidade de dano microbiano. Pode-se observar pelas tabelas



anteriormente apresentadas que para a água cor 5,0 e turbidez 2,0 obteve-se concentração final de *E. coli* (N) menor que um para os tempos de exposição 30 e 40 segundos, tal fato não ocorreu para a água cor 20 e turbidez 50 quando não houve inativação total das bactérias, mesmo para 120 segundos de tempo de exposição.

A análise das FIGURAS 5.31 e 5.32 permite observar ainda que:

- ❖ os parâmetros dose recebida e inativação bacteriana relacionados de acordo com as diferentes características de cor e turbidez da água sintética, são importantes para fins de projeto;
- ❖ em geral, as Estações de Tratamento de Água tem um histórico das características das águas captadas para tratamento e dentre elas as características de cor e turbidez. Assim, de posse desses dados e de gráficos similares às figuras apresentadas, pode-se prever o intervalo de dose de radiação ultravioleta que satisfaça determinada eficiência de desinfecção
- ❖ prever as situações nas quais o sistema de desinfecção deve operar na sua capacidade máxima ou mínima, acarretando tal fato numa séria de indícios para uma análise econômica do sistema de desinfecção;
- ❖ dentre as análises econômicas citadas, pode ser previsto por exemplo: o número de lâmpadas ligadas, o tempo de exposição à radiação UV, a potência elétrica consumida, dentre outros, uma vez que esses parâmetros estão relacionados com a dose recebida.
- ❖ em épocas de grandes oscilações das características de turbidez da água, pode-se analisar a melhor situação na qual o sistema de desinfecção deve ser operado, variando o número de lâmpadas, o tempo de exposição ou a altura da lâmina de água no reator.

#### 5.4 - Etapa quatro – Ensaios de desinfecção com ácido peracético

Os resultados das análises físico-químicas referentes aos ensaios de desinfecção com ácido peracético estão apresentados nas TABELAS A.17 a A.23 (em anexo).

Através das análises realizadas para os seis tipos de água sintética e para a água natural, antes e após a aplicação do ácido peracético, verificou-se:

- ❖ pequena variação nos valores medidos dos seguintes parâmetros: pH, alcalinidade, temperatura, absorvância à 254 nm e carbono orgânico total (COT);
- ❖ nenhuma evidência de degradação da matéria orgânica pôde ser observada através da análise dos parâmetros COT e abs (254 nm), que foram monitorados em todos os ensaios com o objetivo de se verificar a provável influência do ácido peracético sobre a matéria orgânica presente na água de estudo, que no caso da água sintética era proveniente da substância húmica e do meio de cultura bacteriano adicionados;
- ❖ O pH é relatado na literatura especializada como um forte fator de interferência à desinfecção, sendo a efetividade do ácido peracético melhorada em condições neutras a medianamente ácidas. Entretanto, na presente pesquisa tal fato não pôde ser observado uma vez que o pH variou muito pouco (6,0 - 6,5) em todos os ensaios;
- ❖ também a temperatura, que é um parâmetro de controle na desinfecção, variou pouco, entre 22 a 25°C tanto para os ensaios com água sintética como para água natural;
- ❖ a cor e a turbidez foram variadas de acordo com as características pré-estabelecidas da água sintética para verificar a interferência desses parâmetros na desinfecção. Na água natural, a cor variou de 8 a 17 uC e a turbidez variou de 9,19 a 24,9 uT;
- ❖ O NMP inicial ( $N_0$ ) de *E. coli* para a água sintética, foi da ordem de grandeza de  $10^5$  org/100 mL. Para a água natural,  $N_0 = 3,9 \times 10^4$  org/100 mL de coliformes totais e  $N_0 = 2,0 \times 10^3$  org/100 mL de coliformes fecais;

- ❖ O NMP final (N) variou de > 2419,2 org/100 mL a < 1 org/100 mL, conforme a qualidade da água estudada, a concentração de ácido peracético aplicada e o tempo de contato.

#### 5.4.1 - Eficiência de desinfecção com ácido peracético

Os resultados dos ensaios de desinfecção com ácido peracético demonstrando a eficácia do desinfetante sobre a inativação bacteriana estão apresentados nas TABELAS 5.14 a 5.21 e nas FIGURAS 5.33 a 5.38

**TABELA 5.14** - Resultados de inativação bacteriana após desinfecção com ácido peracético. Características da água sintética: cor 5 uC, turb. 2 uT e  $N_0 = 10^5$  org/100mL.

Tempo (min)	Dose = 2,0 mg/L		Dose = 2,5 mg/L		Dose = 3,0 mg/L		Dose = 3,5 mg/L	
	NMP/100 mL (final)	Unid. log de remoção	NMP/ 100 mL (final)	Unid. log de remoção	NMP/100 mL (final)	Unid. log de remoção	NMP/100 mL (final)	Unid. log de remoção
5	>2419	<1,62	190,4	2,72	80,5	3,09	29	3,54
8	>2419	<1,62	34,5	3,46	29,2	3,53	<1	>5
10	1	5	5,2	4,28	22,6	3,65	<1	>5
15	<1	>5	3	4,52	4,1	4,39	<1	>5

**TABELA 5.15** - Resultados de inativação bacteriana após desinfecção com ácido peracético. Características da água sintética: cor 5 uC, turb. 20 uT e  $N_0 = 10^5$  org/100mL.

Tempo (min)	Dose = 2,0 mg/L		Dose = 2,5 mg/L		Dose = 3,0 mg/L		Dose = 3,5 mg/L	
	NMP/100 mL (final)	Unid. log de remoção	NMP/ 100 mL (final)	Unid. log de remoção	NMP/100 mL (final)	Unid. log de remoção	NMP/100 mL (final)	Unid. log de remoção
5	>2419	<1,62	579,4	2,24	29,2	3,53	3,1	4,51
8	231,1	2,64	33,6	3,47	2	4,70	<1	>5
10	1	5	31,8	3,50	2	4,70	<1	>5
15	<1	>5	20,3	3,69	1	5	<1	>5

**TABELA 5.16** - Resultados de inativação bacteriana após desinfecção com ácido peracético. Características da água sintética: cor 5 uC, turb. 50 uT e  $No = 10^5$  org/100mL.

Tempo (min)	Dose = 2,0 mg/L		Dose = 2,5 mg/L		Dose = 3,0 mg/L		Dose = 3,5 mg/L	
	NMP/100 mL (final)	Unid. log de remoção	NMP/ 100 mL (final)	Unid. log de remoção	NMP/100 mL (final)	Unid. log de remoção	NMP/100 mL (final)	Unid. log de remoção
5	20,9	3,68	8,4	4,08	8,4	4,08	<1	>5
8	8,3	4,08	4,1	4,39	<1	>5	<1	>5
10	<1	>5	<1	>5	<1	>5	<1	>5
15	<1	>5	<1	>5	<1	>5	<1	>5

**TABELA 5.17** - Resultados de inativação bacteriana após desinfecção com ácido peracético. Características da água sintética: cor 20 uC, turb. 2 uT e  $No = 10^5$  org/100mL.

Tempo (min)	Dose = 2,0 mg/L		Dose = 2,5 mg/L		Dose = 3,0 mg/L		Dose = 3,5 mg/L	
	NMP/100 mL (final)	Unid. log de remoção	NMP/ 100 mL (final)	Unid. log de remoção	NMP/100 mL (final)	Unid. log de remoção	NMP/100 mL (final)	Unid. log de remoção
5	2419	1,62	1732,9	1,76	1553,1	1,81	1119,9	1,95
8	488,4	2,31	123,3	2,91	8,5	4,07	8,5	4,07
10	30,1	3,52	25,3	3,60	1	5	1	5
15	9,7	4,01	2	4,70	<1	>5	<1	>5

**TABELA 5.18** - Resultados de inativação bacteriana após desinfecção com ácido peracético. Características da água sintética: cor 20 uC, turb. 20 uT e  $No = 10^5$  org/100mL.

Tempo (min)	Dose = 2,0 mg/L		Dose = 2,5 mg/L		Dose = 3,0 mg/L		Dose = 3,5 mg/L	
	NMP/100 mL (final)	Unid. log de remoção	NMP/ 100 mL (final)	Unid. log de remoção	NMP/100 mL (final)	Unid. log de remoção	NMP/100 mL (final)	Unid. log de remoção
5	2419	1,62	2419	1,62	1732,9	1,76	36,9	3,43
8	547,5	2,26	233,4	2,63	166,4	2,78	5,2	4,28
10	6,3	4,20	14,3	3,84	1	5	<1	>5
15	1	5	<1	>5	<1	>5	<1	>5

**TABELA 5.19** - Resultados de inativação bacteriana após desinfecção com ácido peracético. Características da água sintética: cor 20 uC, turb. 50 uT e  $No = 10^5$  org/100mL.

Tempo (min)	Dose = 2,0 mg/L		Dose = 2,5 mg/L		Dose = 3,0 mg/L		Dose = 3,5 mg/L	
	NMP/100 mL (final)	Unid. log de remoção	NMP/ 100 mL (final)	Unid. log de remoção	NMP/100 mL (final)	Unid. log de remoção	NMP/100 mL (final)	Unid. log de remoção
5	2419	1,62	579,4	2,24	456,9	2,34	<1	>5
8	86,5	3,06	17,7	3,75	8,2	4,09	<1	>5
10	3	4,52	<1	>5	<1	>5	<1	>5
15	<1	>5	<1	>5	<1	>5	<1	>5

**TABELA 5.20** - Resultados da inativação de coliformes totais após desinfecção com ácido peracético para a água natural,  $No = 10^4$  org/100 mL.

Tempo (min)	Dose = 2,0 mg/L		Dose = 2,5 mg/L		Dose = 3,0 mg/L		Dose = 3,5 mg/L	
	NMP/100 mL (final)	Unid. log de remoção	NMP/ 100 mL (final)	Unid. log de remoção	NMP/100 mL (final)	Unid. log de remoção	NMP/100 mL (final)	Unid. log de remoção
5	>2419,2	<0,62	>2419	<0,62	>2419	<0,62	>2419	<0,62
8	>2419,2	<0,62	>2419	<0,62	1732,9	0,76	920,8	1,04
10	2419,2	0,62	1553,1	0,81	1413,6	0,85	686,7	1,16
15	1986,3	0,70	579,4	1,24	1299,7	0,89	436,0	1,36

**TABELA 5.21** - Resultados da inativação de coliformes fecais após desinfecção com ácido peracético para a água natural,  $No = 10^3$  org/100 mL.

Tempo (min)	Dose = 2,0 mg/L		Dose = 2,5 mg/L		Dose = 3,0 mg/L		Dose = 3,5 mg/L	
	NMP/100 mL (final)	Unid. log de remoção	NMP/ 100 mL (final)	Unid. log de remoção	NMP/100 mL (final)	Unid. log de remoção	NMP/100 mL (final)	Unid. log de remoção
5	3,0	2,52	3,0	2,52	<1	>3	1,0	3,0
>3	2,0	2,70	1,0	3,0	<1	>3	<1	>3
10	<1	>3	<1	>3	<1	>3	<1	>3
15	<1	>3	<1	>3	<1	>3	<1	>3

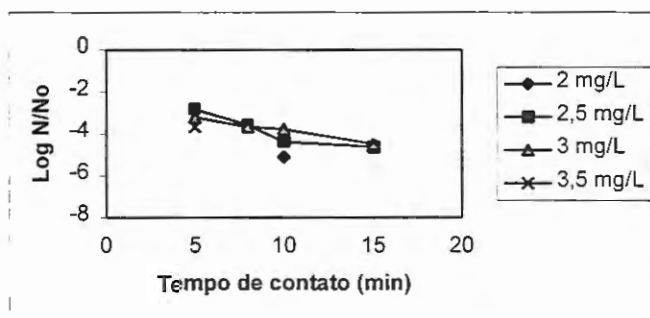


FIGURA 5.33 – Desinfeção de água sintética com ácido peracético para as dosagens indicadas – cor 5 uC e turbidez 2 uT.

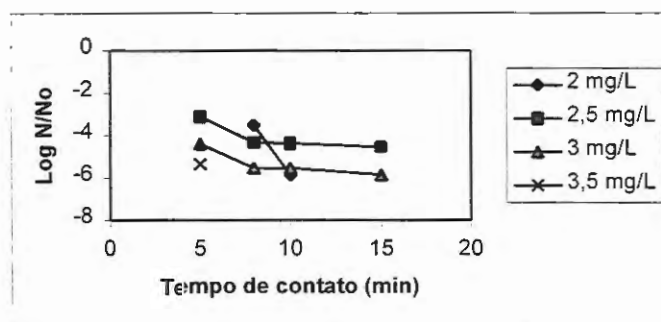


FIGURA 5.34 – Desinfeção de água sintética com ácido peracético para as dosagens indicadas – cor 5 uC e turbidez 20 uT.

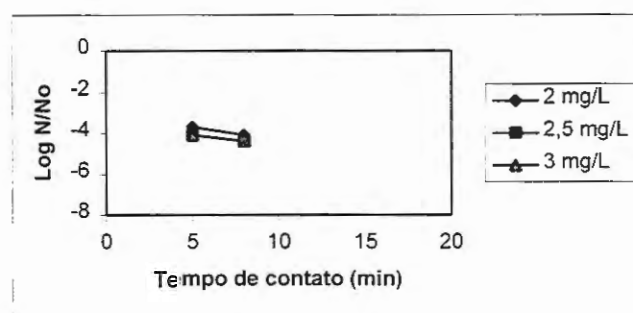


FIGURA 5.35 – Desinfeção de água sintética com ácido peracético para as dosagens indicadas – cor 5 uC e turbidez 50 uT.

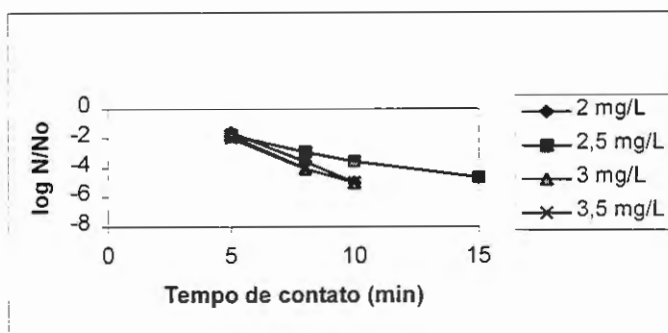


FIGURA 5.36 – Desinfecção de água sintética com ácido peracético para as dosagens indicadas – cor 20 uC e turbidez 2 uT.

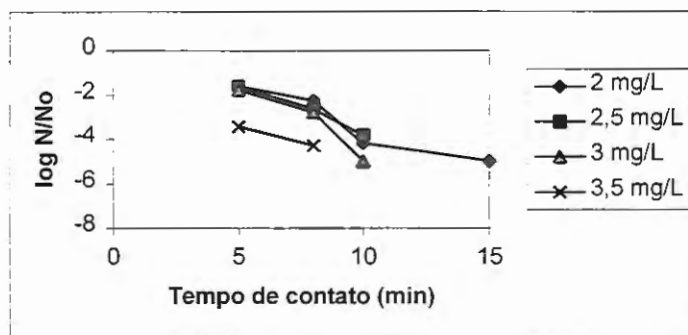


FIGURA 5.37 – Desinfecção de água sintética com ácido peracético para as dosagens indicadas – cor 20 uC e turbidez 20 uT.

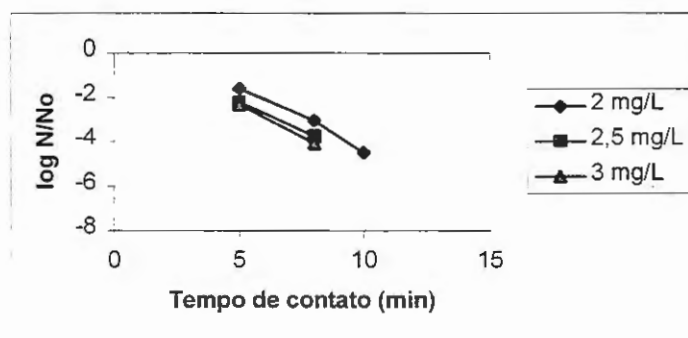


FIGURA 5.38 – Desinfecção de água sintética com ácido peracético para as dosagens indicadas – cor 20 uC e turbidez 50 uT.

Os resultados apresentados nas FIGURAS 5.33 a 5.38 e nas TABELAS 5.14 a 5.21 demonstraram que:

- ❖ houve correlação entre a remoção de *E. coli*, a dose aplicada e o tempo de contato;
- ❖ as dosagens mais elevadas de ácido peracético aplicadas, resultaram em melhoria significativa na eficiência de remoção de *E. coli*, sendo mais evidentes esses resultados para os tempos de contato de 10 e 15 minutos;
- ❖ os primeiros 5 minutos de tempo de contato, para todas as dosagens aplicadas não foram muito eficientes para a desinfecção, independente da qualidade da água de estudo utilizada (cor baixa, turbidez baixa e cor alta, turbidez alta), em especial para a dosagem de 2,0 mg/L que foi a menor aplicada, o NMP final foi > 2419,2 org/100 mL;
- ❖ para a concentração aplicada de 3,5 mg/L e 15 minutos de tempo de contato, a redução de *E. coli* foi maior do que 5 log (99,999%) para todos os ensaios, independente das características da água sintética;
- ❖ com o objetivo de verificar a influência da cor e da turbidez nos ensaios de desinfecção, foram estabelecidas águas de estudo com valores baixos e elevados desses dois parâmetros. Assim, como nos ensaios com cloro e radiação ultravioleta, esperava-se que os valores principalmente de turbidez elevadas (20 e 50 uT) provocassem um efeito de barreira para a desinfecção. No entanto, para os ensaios de desinfecção com ácido peracético a turbidez elevada parece não ter sido fator limitante, assim como foi para os outros dois desinfetantes empregados;
- ❖ para a água natural, o ácido peracético rapidamente inativou os coliformes fecais presentes na água, mesmo para a menor concentração (2,0 mg/L) e o menor tempo de contato (5 minutos) obteve-se 3 log de redução;
- ❖ para a concentração aplicada de 3,0 e 3,5 mg/L de ácido peracético, o NMP final de coliformes fecais foi < 1 org/ 100 mL, ocorrendo apenas uma exceção para a concentração de 3,5 mg/l e 5 minutos de tempo de contato, em que foi detectado 1 org/100 mL de amostra. A inativação de



coliformes totais foi muito baixa, a maior redução foi de 1,36 log, para a concentração de 3,5 mg/L e 15 minutos de tempo de contato.

Os resultados demonstraram que o ácido peracético foi um efetivo desinfetante de bactérias *E. coli*, mesmo na presença de cor e turbidez elevadas. Obtendo as melhores respostas de inativação bacteriana, para as dosagens aplicadas de 3,0 e 3,5 mg/L e para os tempos de contato de 10 e 15 minutos.

Em virtude do prazo, limitado para conclusão do mestrado não foram realizados os ensaios de desinfecção com ácido peracético empregando colifagos como microrganismos indicadores.

Na água coletada no córrego do Espraiado (água natural), não foram detectados colifagos.

### 5.5 – Inativação de colifagos pela ação de cloro e radiação ultravioleta

As águas sintéticas preparadas para os ensaios de inativação de colifagos apresentaram cor e turbidez que ficaram próximas dos valores esperados, conforme apresentado na TABELA 5.22.

**TABELA 5.22** – Cor e turbidez da água sintética utilizada nos ensaios de inativação de colifagos

VALOR ESPERADO		VALOR MEDIDO	
COR (uC)	TURBIDEZ (uT)	COR (uC)	TURBIDEZ (uT)
Desinfecção com cloro			
5	2	6	3,6
20	50	20	53
Desinfecção com radiação ultravioleta			
5	2	7	4
20	50	23	57

Os resultados de desinfecção obtidos, para as duas águas sintéticas, estão apresentados nas TABELAS 5.23 e 5.24, relativos à desinfecção com cloro, e nas TABELAS 5.25 e 5.26, relativos à desinfecção com radiação ultravioleta. As FIGURAS 5.39 e 5.40 representam o decaimento dos colifagos submetidos à desinfecção com radiação ultravioleta. O tempo de contato utilizado nos ensaios de desinfecção utilizando colifagos foi de 5 minutos.

**TABELA 5.23** – Inativação de colifagos com cloro – água sintética com cor 6 uC e turbidez 3,6 uT.

CONCENTRAÇÃO DE CLORO APLICADA (mg/L)	NUMERO INICIAL DE COLIFAGOS (UFC/100 mL)	NUMERO DE COLIFAGOS APOS DESINFECÇÃO (UFC/100 mL)
1,0	$25 \times 10^3$	< 1
1,6	$16 \times 10^4$	< 1
2,0	$11 \times 10^4$	< 1

**TABELA 5.24** – Inativação de colifagos com cloro – água sintética com cor 20 uC e turbidez 53 uT.

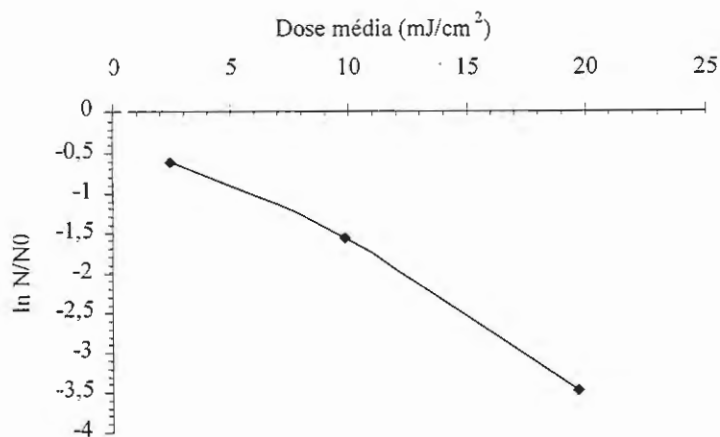
CONCENTRAÇÃO DE CLORO APLICADA (mg/L)	CONCENTRAÇÃO INICIAL DE COLIFAGOS (UFC/100 mL)	CONCENTRAÇÃO FINAL COLIFAGOS (UFC/100 mL)
1,0	$94 \times 10^3$	< 1
1,6	$11 \times 10^4$	< 1
2,0	$35 \times 10^3$	< 1

**TABELA 5.25** – Inativação de colifagos com radiação ultravioleta – água sintética com cor 7 uC e turbidez 4 uT.

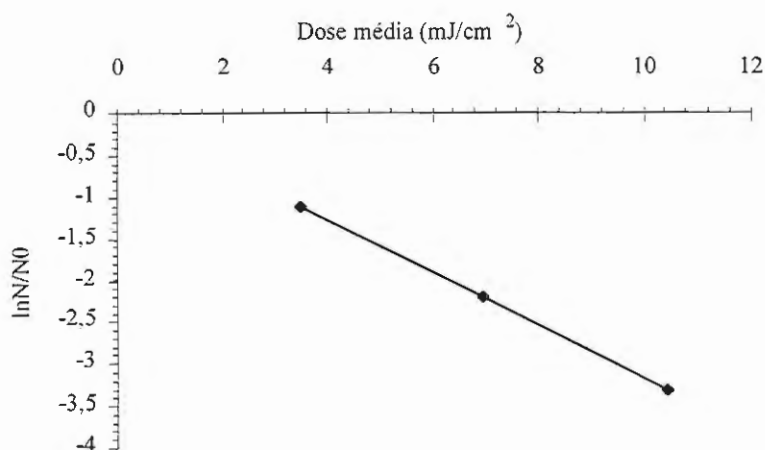
TEMPO DE EXPOSIÇÃO (s)	DOSE MÉDIA (mJ/cm <sup>2</sup> )	CONCENTRAÇÃO INICIAL DE COLIFAGOS (UFC/100 mL)	CONCENTRAÇÃO FINAL DE COLIFAGOS (UFC/100 mL)	LOG N/N0
5	2,46	$7 \times 10^4$	$17 \times 10^3$	-0,61
20	9,84	$7 \times 10^4$	$19 \times 10^2$	-1,57
40	19,68	$7 \times 10^4$	25	-3,45

**TABELA 5.26** – Inativação de colifagos com radiação ultravioleta – água sintética com cor 23 uC e turbidez 57 uT.

TEMPO DE EXPOSIÇÃO (s)	DOSE MÉDIA (mJ/cm <sup>2</sup> )	CONCENTRAÇÃO INICIAL DE COLIFAGOS (UFC/100 mL)	CONCENTRAÇÃO FINAL DE COLIFAGOS (UFC/100 mL)	LOG N/N0
40	3,48	$2 \times 10^4$	$15 \times 10^2$	-1,12
80	6,96	$2 \times 10^4$	130	-2,19
120	10,44	$2 \times 10^4$	10	-3,30



**FIGURA 5.39** – Inativação de colifagos com radiação ultravioleta - água sintética com cor verdadeira 7 uC e turbidez 4uT.



**FIGURA 5.40** – Inativação de colifagos com radiação ultravioleta - água sintética com cor verdadeira 23 uC e turbidez 57uT.

De maneira geral, os colifagos apresentaram menor resistência em relação ao cloro do que à radiação ultravioleta.

Não foi possível avaliar a interferência da cor e da turbidez, para os valores estudados, na ação desinfetante do cloro, pois obteve-se para todas as doses aplicadas e para todos os tempos de contato, inativação total dos colifagos.

Entretanto, para a radiação ultravioleta os colifagos não foram inativados por completo, mantendo sempre fração sobrevivente. Os resultados obtidos não

possibilitaram concluir sobre a interferência da cor e da turbidez na eficiência de desinfecção, pelo menos para os valores estudados.

Os ensaios de desinfecção empregando colifagos foram realizados com o objetivo de verificar a inativação de vírus, uma vez que esses organismos podem ser usados como indicadores, embora alguns autores citados em MORIÑIGO et al. (1991) questionem tal representatividade argumentando, por exemplo:

- ❖ que vírus patogênicos entéricos tem sido detectados na ausência de colifagos;
- ❖ colifagos podem se multiplicar em água natural sob certas condições;
- ❖ colifagos foram detectados em águas não poluídas.

Não era objetivo da presente pesquisa verificar se esses organismos eram bons indicadores da qualidade microbiológica de águas.

De qualquer maneira não foi possível obter informações precisas sobre a eficiência de desinfecção com esses microrganismos, uma vez que os mesmos foram facilmente inativados com as mesmas doses de desinfetante aplicadas para os ensaios em que se utilizou a bactéria *E. coli*. Tal resultado não era esperado, visto que a literatura se refere aos vírus em geral como microrganismos com maior dificuldade de inativação em relação às bactérias entéricas, como por exemplo a *E. coli*.

Talvez a explicação resida no fato de que a cepa de colifagos, proveniente de uma linhagem pura, utilizada nos ensaios, tenha sido mais sensível à desinfecção do que os organismos normalmente encontrados nos ambientes naturais.

## 6 – CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Para as condições físico-químicas e de densidade de microrganismos utilizadas na pesquisa concluiu-se que:

- ❖ Os três desinfetantes empregados: cloro, radiação ultravioleta e ácido peracético foram viáveis na inativação de bactérias *E.coli*.
- ❖ A qualidade da água empregada interferiu na eficácia de desinfecção. De maneira geral, foram obtidas menores porcentagens de remoção bacteriana para as águas de estudo com a cor e especialmente com a turbidez elevadas, provavelmente devido às partículas de argila em suspensão atuarem como barreira à ação dos desinfetantes.
- ❖ Para as condições físico-químicas e de densidade de *E.coli* semelhantes, variando as características de cor e turbidez da água de estudo, obteve-se como principais resultados para os três agentes desinfetantes empregados:

### *Desinfecção com cloro*

- ❖ Para a água de estudo com cor 5 uC e turbidez 2 uT, não foi possível construir os gráficos de inativação bacteriana, uma vez que, quase todos os resultados obtidos para as diferentes concentrações de cloro aplicadas ao longo dos tempos de contato, o NMP org/100 mL final foi menor que um, impossibilitando a plotagem de pontos para a curva.
- ❖ No entanto, para a água com cor 20 uC e turbidez. 50 uT em todos os resultados detectou-se pelo menos 1 org/100 mL para as diferentes concentrações e tempos de contato.
- ❖ A verificação foi de que a turbidez especialmente, interferiu nos ensaios de desinfecção com cloro: quanto maior a turbidez, menor a porcentagem de inativação de microrganismos

### *Desinfecção com radiação ultravioleta*

- ❖ Para a água de estudo com turbidez baixa (2 uT), remoções maiores do que 5 log foram alcançadas, obtendo-se a mais elevada porcentagem de inativação bacteriana, para uma menor intensidade de radiação ultravioleta aplicada (ensaios de desinfecção com 1 lâmpada).
- ❖ Para a água com turbidez 20 uT tais remoções também foram alcançadas, no entanto a intensidade de radiação ultravioleta aplicada foi mais elevada (os ensaios de desinfecção para a água de estudo com turbidez 20 e 50 uT foram realizados com 3 lâmpadas).
- ❖ Para a água de estudo com a turbidez mais elevada (50 uT), a eficiência de remoção bacteriana foi a mais baixa, especialmente quando comparada com a água de turbidez 20 uT, que recebeu a mesma intensidade de radiação ultravioleta.

### *Desinfecção com radiação ultravioleta*

- ❖ As dosagens aplicadas de ácido peracético mais elevadas (3,0 e 3,5 mg/L), resultaram em melhoria significativa na eficiência de remoção de *E. coli* (99,999%), sendo mais evidentes esses resultados para os tempos de contato de 10 e 15 minutos.
- ❖ Os primeiros 5 minutos de tempo de contato, para todas as dosagens aplicadas não foram muito eficientes para a desinfecção, independente da qualidade da água de estudo utilizada.
- ❖ Ao que parece a turbidez elevada não foi fator limitante nos ensaios de desinfecção com ácido peracético assim como aconteceu com o cloro e a radiação ultravioleta.

### *Conclusões gerais*

- ❖ Para os ensaios de desinfecção com água natural, de maneira geral, a eficiência de desinfecção foi mais baixa do que para a água sintética, com os três agentes desinfetantes, levando em conta que o NMP/100 mL inicial de microrganismos foi sempre superior em ordem de grandeza para a água sintética.
- ❖ A cepa de bactérias *E.coli* que foi adicionada à água sintética, foi mais sensível à desinfecção com os três agentes desinfetantes do que os coliformes presentes na água natural.
- ❖ Os parâmetros COT e Abs 254 nm foram medidos com o objetivo de tentar verificar a influência dos agentes desinfetantes sobre a matéria orgânica. No entanto, essa influência não pôde ser verificada através da análise desses dois parâmetros, uma vez que os mesmos variaram aleatoriamente para os diferentes tipos de águas sintética e natural.
- ❖ Nos ensaios realizados com colifagos, de maneira geral, observou-se que eles apresentaram menor resistência em relação ao cloro do que à radiação ultravioleta.
- ❖ Para os valores estudados, não foi possível avaliar a interferência da cor e da turbidez na ação desinfetante do cloro sobre os colifagos, pois obteve-se para todas as doses aplicadas e todos os tempos de contato, inativação total dos colifagos.
- ❖ Entretanto, para a desinfecção com radiação ultravioleta os colifagos não foram inativados por completo, mantendo sempre fração sobrevivente. Para os valores estudados, os resultados obtidos não possibilitaram concluir sobre a interferência da cor e da turbidez na eficiência de desinfecção.
- ❖ Os ensaios de desinfecção empregando colifagos foram realizados com o objetivo de verificar a inativação de vírus. Entretanto não foi possível obter informações precisas sobre a eficiência de desinfecção com esses



microrganismos, uma vez que os mesmos foram facilmente inativados com as mesmas doses desinfetantes aplicadas para os ensaios em que se utilizou a bactéria *E. coli*.

### Sugestões

- ❖ Finalização da presente pesquisa, que foi componente do projeto Métodos Alternativos para Desinfecção de Água, com a realização dos ensaios de desinfecção com cloro, radiação ultravioleta e ácido peracético, empregando o microrganismo *Clostridium perfringens*, que apresenta grande resistência aos desinfetantes e às condições desfavoráveis do meio ambiente, podendo ser utilizado como indicador de protozoários.
- ❖ Realizar ensaios de desinfecção com cloro, radiação UV e ácido peracético em água natural coletada em diferentes locais com diversas características de qualidade físico-químicas e microbiológicas.
- ❖ Buscar metodologias diferentes da utilizada nesta pesquisa (COT), para avaliar as modificações ocorridas na matéria orgânica após a desinfecção.
- ❖ Pesquisar metodologia para medição e quantificação de concentração residual de ácido peracético abaixo de 5 mg/L.

# ANEXOS

**TABELA A. 01**– Características da água sintética bruta e das amostras após a desinfecção com cloro (cor 5,0 uC e turbidez 2,0 uT).

Parâmetros	Água de estudo			
pH	6,2			
Alcalinidade (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	235			
Temperatura (°C)	25			
Abs (254 nm)	0,029			
COT (mg/L)	19,41			
Cor verdadeira (uC)	3,0			
Turbidez (uT)	5,8			
Residual de Cloro (mg/L)	-			
NMP org/100 mL	2,0x10 <sup>6</sup>			
<b>Concentração de cloro de 1,0 mg/L</b>				
<b>Tempo de contato (min)</b>				
Parâmetros	5,0	8,0	10,0	15,0
pH	6,1	6,1	6,1	6,1
Alcalinidade (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	255	245	250	250
Temperatura (°C)	25	25	25	25
Abs (254 nm)	0,096	0,078	0,086	0,083
COT (mg/L)	12,92	15,60	16,88	15,72
Cor verdadeira (uC)	9	9	9	9
Turbidez (uT)	5,25	5,20	5,15	5,10
Residual de Cloro (mg/L)	0,06	0,06	0,04	0,05
NMP org/100 mL	>2419,2	<1	<1	<1
<b>Concentração de cloro 1,3 (mg/L)</b>				
<b>Tempo de contato (min)</b>				
Parâmetros	5,0	8,0	10,0	15,0
pH	6,1	6,1	6,1	6,1
Alcalinidade (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	245	250	245	240
Temperatura (°C)	25	25	25	25
Abs (254 nm)	0,094	0,081	0,097	0,106
COT (mg/L)	15,45	15,16	16,42	15,24
Cor verdadeira (uC)	5	8	3	4
Turbidez (uT)	6,30	5,56	5,75	5,08
Residual de Cloro (mg/L)	0,011	0,05	0,05	0,05
NMP org/100 mL	<1	<1	<1	58,5
<b>Concentração de cloro de 1,6 mg/L</b>				
<b>Tempo de contato (min)</b>				
Parâmetros	5,0	8,0	10,0	15,0
pH	6,1	6,2	6,1	6,1
Alcalinidade (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	245	245	250	245
Temperatura (°C)	25	25	25	25
Abs (254 nm)	0,095	0,151	0,103	0,078
COT (mg/L)	16,28	19,88	14,89	17,93
Cor verdadeira (uC)	20	20	22	8
Turbidez (uT)	5,04	6,93	5,40	5,31
Residual de Cloro (mg/L)	0,26	0,19	0,17	0,13
NMP org/100 mL	228	<1	10	<1
<b>Concentração de cloro 2,0 (mg/L)</b>				
<b>Tempo de contato (min)</b>				
Parâmetros	5,0	8,0	10,0	15,0
pH	6,2	6,1	6,2	6,1
Alcalinidade (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	245	245	245	245
Temperatura (°C)	25	25	25	25
Abs (254 nm)	0,074	0,083	0,105	0,088
COT (mg/L)	10,29	18,16	13,58	16,69
Cor verdadeira (uC)	9	5	20	9
Turbidez (uT)	5,13	5,28	5,13	4,80
Residual de Cloro (mg/L)	0,39	0,16	0,15	0,38
NMP org/100 mL	6	<1	<1	272

**TABELA A. 02** – Características da água sintética bruta e das amostras após a desinfecção com cloro (cor 5,0 uC e turbidez 20,0 uT).

Parâmetros	Água de estudo			
pH	6,0			
Alcalinidade (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	235			
Temperatura (°C)	25			
Abs (254 nm)	0,072			
COT (mg/L)	13,64			
Cor verdadeira (uC)	5			
Turbidez (uT)	20			
Residual de Cloro (mg/L)	-			
NMP org/100 mL	1x10 <sup>6</sup>			
<b>Concentração de cloro de 1,0 mg/L</b>				
<b>Tempo de contato (min)</b>				
Parâmetros	5,0	8,0	10,0	15,0
pH	6,0	6,0	6,0	6,0
Alcalinidade (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	235	235	235	230
Temperatura (°C)	25	25	25	25
Abs (254 nm)	0,079	0,090	0,082	0,106
COT (mg/L)	17,81	16,74	16,81	16,27
Cor verdadeira (uC)	9	10	6	19
Turbidez (uT)	26,7	26,6	26,4	26,2
Residual de Cloro (mg/L)	0,21	0,21	0,21	0,23
NMP org/100 mL	45	>2419,2	>2419,2	>2419,2
<b>Concentração de cloro 1,3 (mg/L)</b>				
<b>Tempo de contato (min)</b>				
Parâmetros	5,0	8,0	10,0	15,0
pH	6,0	6,0	6,0	6,0
Alcalinidade (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	235	225	215	215
Temperatura (°C)	25	25	25	25
Abs (254 nm)	0,104	0,097	0,110	0,104
COT (mg/L)	13,94	14,67	11,35	0,807
Cor verdadeira (uC)	3	3	5	6
Turbidez (uT)	27,0	27,0	26,6	26,8
Residual de Cloro (mg/L)	0,22	0,21	0,22	0,19
NMP org/100 mL	298	45	6	11
<b>Concentração de cloro de 1,6 mg/L</b>				
<b>Tempo de contato (min)</b>				
Parâmetros	5,0	8,0	10,0	15,0
pH	6,0	6,0	6,0	6,0
Alcalinidade (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	215	215	220	225
Temperatura (°C)	25	25	25	25
Abs (254 nm)	0,157	0,103	0,102	0,114
COT (mg/L)	10,05	14,41	5,19	2,67
Cor verdadeira (uC)	39	9	9	10
Turbidez (uT)	27	27	26	26,5
Residual de Cloro (mg/L)	0,22	0,22	0,20	0,22
NMP org/100 mL	5	7	11	980
<b>Concentração de cloro 2,0 (mg/L)</b>				
<b>Tempo de contato (min)</b>				
Parâmetros	5,0	8,0	10,0	15,0
pH	6,0	6,0	6,0	6,0
Alcalinidade (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	220	215	220	225
Temperatura (°C)	25	25	25	25
Abs (254 nm)	0,115	0,108	0,277	0,134
COT (mg/L)	14,24	15,88	16,33	12,14
Cor verdadeira (uC)	8	10	17	5
Turbidez (uT)	27	27	28	27
Residual de Cloro (mg/L)	0,31	0,23	0,23	0,24
NMP org/100 mL	16	<1	15	2

**TABELA A. 03** – Características da água sintética bruta e das amostras após a desinfecção com cloro (cor 5,0 uC e turbidez 50,0 uT).

Parâmetros	Água de estudo			
pH	6,1			
Alcalinidade (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	220			
Temperatura (°C)	25			
Abs (254 nm)	0,211			
COT (mg/L)	14,20			
Cor verdadeira (uC)	6			
Turbidez (uT)	56,0			
Residual de Cloro (mg/L)	-			
NMP org/100 mL	6,5x10 <sup>3</sup>			
<b>Concentração de cloro de 1,0 mg/L</b>				
<b>Tempo de contato (min)</b>				
Parâmetros	5,0	8,0	10,0	15,0
pH	6,1	6,1	6,1	6,2
Alcalinidade (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	210	215	215	215
Temperatura (°C)	25	25	25	25
Abs (254 nm)	0,103	0,115	0,134	0,129
COT (mg/L)	17,35	17,78	15,07	16,07
Cor verdadeira (uC)	14	40	10	7
Turbidez (uT)	55	55,2	54,8	55,2
Residual de Cloro (mg/L)	0,44	0,44	0,43	0,42
NMP org/100 mL	54	16	14	6
<b>Concentração de cloro 1,3 (mg/L)</b>				
<b>Tempo de contato (min)</b>				
Parâmetros	5,0	8,0	10,0	15,0
pH	6,1	6,1	6,1	6,1
Alcalinidade (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	220	215	220	210
Temperatura (°C)	25	25	25	25
Abs (254 nm)	0,131	0,262	0,134	0,127
COT (mg/L)	17,79	12,69	18,64	14,05
Cor verdadeira (uC)	12	10,6	9	8
Turbidez (uT)	55,1	55,1	54,9	55,1
Residual de Cloro (mg/L)	0,47	0,44	0,43	0,40
NMP org/100 mL	2	43	55	39
<b>Concentração de cloro de 1,6 mg/L</b>				
<b>Tempo de contato (min)</b>				
Parâmetros	5,0	8,0	10,0	15,0
pH	6,0	6,1	6,0	6,1
Alcalinidade (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	200	210	205	210
Temperatura (°C)	25	25	25	25
Abs (254 nm)	0,126	0,115	0,195	0,140
COT (mg/L)	16,32	17,72	13,26	6,82
Cor verdadeira (uC)	10	11	5,2	12
Turbidez (uT)	55,1	55,3	55,3	54,6
Residual de Cloro (mg/L)	0,51	0,46	0,45	0,44
NMP org/100 mL	31	69	11	64
<b>Concentração de cloro 2,0 (mg/L)</b>				
<b>Tempo de contato (min)</b>				
Parâmetros	5,0	8,0	10,0	15,0
pH	6,0	6,0	6,0	6,0
Alcalinidade (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	210	210	215	215
Temperatura (°C)	25	25	25	25
Abs (254 nm)	0,137	0,131	0,161	0,135
COT (mg/L)	13,30	14,39	13,35	12,75
Cor verdadeira (uC)	7	0	1	7
Turbidez (uT)	55,6	55,1	55,4	55,7
Residual de Cloro (mg/L)	0,60	0,46	0,44	0,47
NMP org/100 mL	162	13	6	<1

**TABELA A. 04**– Características da água sintética bruta e das amostras após a desinfecção com cloro (cor 20,0 uC e turbidez 2,0 uT).

Parâmetros	Água de estudo			
pH	6,3			
Alcalinidade (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	210			
Temperatura (°C)	24			
Abs (254 nm)	0,056			
COT (mg/L)	20,91			
Cor verdadeira (uC)	21			
Turbidez (uT)	3,7			
Residual de Cloro (mg/L)	-			
NMP org/100 mL	10 <sup>b</sup>			
<b>Concentração de cloro de 1,0 mg/L</b>				
<b>Tempo de contato (min)</b>				
Parâmetros	5,0	8,0	10,0	15,0
pH	6,3	6,3	6,2	6,3
Alcalinidade (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	215	200	210	220
Temperatura (°C)	24	24	24	24
Abs (254 nm)	0,093	0,100	0,125	0,112
COT (mg/L)	20,39	21,06	19,38	18,39
Cor verdadeira (uC)	21	22	29	22
Turbidez (uT)	4,1	4,1	4,0	4,1
Residual de Cloro (mg/L)	0,04	0,04	0,04	0,03
NMP org/100 mL	23,5	488	547	687
<b>Concentração de cloro 1,3 (mg/L)</b>				
<b>Tempo de contato (min)</b>				
Parâmetros	5,0	8,0	10,0	15,0
pH	6,2	6,3	6,2	6,3
Alcalinidade (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	220	225	215	215
Temperatura (°C)	24	24	24	24
Abs (254 nm)	0,105	0,100	0,112	0,117
COT (mg/L)	20,42	18,80	19,05	18,70
Cor verdadeira (uC)	26	20	21	22
Turbidez (uT)	4,7	4,3	4,2	4,3
Residual de Cloro (mg/L)	0,07	0,04	0,07	0,06
NMP org/100 mL	1553	25	2	19
<b>Concentração de cloro de 1,6 mg/L</b>				
<b>Tempo de contato (min)</b>				
Parâmetros	5,0	8,0	10,0	15,0
pH	6,2	6,3	6,3	6,3
Alcalinidade (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	220	220	220	230
Temperatura (°C)	24	24	24	24
Abs (254 nm)	0,108	0,120	0,125	0,126
COT (mg/L)	20,8	16,3	16,6	18,4
Cor verdadeira (uC)	23	34	20	21
Turbidez (uT)	4,25	4,39	4,97	4,39
Residual de Cloro (mg/L)	0,22	0,08	0,06	0,08
NMP org/100 mL	6	6	6	5
<b>Concentração de cloro 2,0 (mg/L)</b>				
<b>Tempo de contato (min)</b>				
Parâmetros	5,0	8,0	10,0	15,0
pH	6,3	6,3	6,3	6,3
Alcalinidade (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	225	220	225	225
Temperatura (°C)	24	24	24	24
Abs (254 nm)	0,112	0,113	0,103	0,104
COT (mg/L)	17,3	19,6	17,0	20,2
Cor verdadeira (uC)	23	20	20	22
Turbidez (uT)	4,51	4,39	4,23	4,26
Residual de Cloro (mg/L)	0,46	0,23	0,13	0,10
NMP org/100 mL	1	35	82	4

**TABELA A. 05** – Características da água sintética bruta e das amostras após a desinfecção com cloro (cor 20,0 uC e turbidez 20,0 uT).

Parâmetros		Água de estudo			
pH		6,1			
Alcalinidade (mg/L CaCO <sub>3</sub> )		200			
Temperatura (°C)		25			
Abs (254 nm)		0,326			
COT (mg/L)		21,9			
Cor verdadeira (uC)		18			
Turbidez (uT)		22,6			
Residual de Cloro (mg/L)		-			
NMP org/100 mL		10 <sup>6</sup>			
<b>Concentração de cloro de 1,0 mg/L</b>					
<b>Tempo de contato (min)</b>					
<b>Parâmetros</b>	<b>5,0</b>	<b>8,0</b>	<b>10,0</b>	<b>15,0</b>	
pH	6,1	6,1	6,1	6,1	
Alcalinidade (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	190	180	190	190	
Temperatura (°C)	25	25	25	25	
Abs (254 nm)	0,496	0,321	0,275	0,611	
COT (mg/L)	21,9	20,7	11,8	0,29	
Cor verdadeira (uC)	23	25	25	26	
Turbidez (uT)	23	23,5	23	23	
Residual de Cloro (mg/L)	0,21	0,18	0,17	0,19	
NMP org/100 mL	14	32	1230	58	
<b>Concentração de cloro 1,3 (mg/L)</b>					
<b>Tempo de contato (min)</b>					
<b>Parâmetros</b>	<b>5,0</b>	<b>8,0</b>	<b>10,0</b>	<b>15,0</b>	
pH	6,1	6,1	6,1	6,1	
Alcalinidade (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	190	185	187	190	
Temperatura (°C)	25	25	25	25	
Abs (254 nm)	0,580	0,468	0,241	0,239	
COT (mg/L)	17,6	21,3	7,9	23,1	
Cor verdadeira (uC)	24	23	24	21	
Turbidez (uT)	22,6	21,2	22,6	22	
Residual de Cloro (mg/L)	0,28	0,20	0,19	0,19	
NMP org/100 mL	22	42	43	3	
<b>Concentração de cloro de 1,6 mg/L</b>					
<b>Tempo de contato (min)</b>					
<b>Parâmetros</b>	<b>5,0</b>	<b>8,0</b>	<b>10,0</b>	<b>15,0</b>	
pH	6,1	6,1	6,1	6,1	
Alcalinidade (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	205	178	185	180	
Temperatura (°C)	25	25	25	25	
Abs (254 nm)	0,236	0,216	0,405	0,259	
COT (mg/L)	20,4	2,207	20,4	16,2	
Cor verdadeira (uC)	26	24	29	29	
Turbidez (uT)	21	22	15	20	
Residual de Cloro (mg/L)	0,27	0,23	0,28	0,31	
NMP org/100 mL	17	93	1299	460	
<b>Concentração de cloro 2,0 (mg/L)</b>					
<b>Tempo de contato (min)</b>					
<b>Parâmetros</b>	<b>5,0</b>	<b>8,0</b>	<b>10,0</b>	<b>15,0</b>	
pH	6,1	6,1	6,1	6,1	
Alcalinidade (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	185	185	183	183	
Temperatura (°C)	25	25	25	25	
Abs (254 nm)	0,578	0,257	0,284	0,509	
COT (mg/L)	20,25	20,1	20,2	16,1	
Cor verdadeira (uC)	21	23	23	24	
Turbidez (uT)	22	22	22,5	22,5	
Residual de Cloro (mg/L)	0,43	0,34	0,39	0,40	
NMP org/100 mL	6	65	1	65	

**TABELA A. 06** – Características da água sintética bruta e das amostras após a desinfecção com cloro (cor 20,0 uC e turbidez 50,0 uT).

Parâmetros	Água de estudo			
pH	6,2			
Alcalinidade (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	235			
Temperatura (°C)	23			
Abs (254 nm)	0,068			
COT (mg/L)	11,8			
Cor verdadeira (uC)	19			
Turbidez (uT)	57			
Residual de Cloro (mg/L)	-			
NMP org/100 mL	10'			
<b>Concentração de cloro de 1,0 mg/L</b>				
<b>Tempo de contato (min)</b>				
Parâmetros	5,0	8,0	10,0	15,0
pH	6,1	6,2	6,2	6,1
Alcalinidade (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	205	200	195	195
Temperatura (°C)	23	23	23	23
Abs (254 nm)	0,112	0,111	0,093	0,113
COT (mg/L)	10,33	16,55	9,908	12,37
Cor verdadeira (uC)	19	16	13	25
Turbidez (uT)	57	58	56	57
Residual de Cloro (mg/L)	0,46	0,44	0,45	0,43
NMP org/100 mL	17	2	2419	114
<b>Concentração de cloro 1,3 (mg/L)</b>				
<b>Tempo de contato (min)</b>				
Parâmetros	5,0	8,0	10,0	15,0
pH	6,1	6,2	6,2	6,1
Alcalinidade (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	195	190	195	195
Temperatura (°C)	23	23	23	23
Abs (254 nm)	0,113	0,116	0,113	0,043
COT (mg/L)	13,36	15,07	13,70	5,75
Cor verdadeira (uC)	20	21	17	19
Turbidez (uT)	56	58	57	57
Residual de Cloro (mg/L)	0,46	0,43	0,33	0,33
NMP org/100 mL	10	12	33	517
<b>Concentração de cloro de 1,6 mg/L</b>				
<b>Tempo de contato (min)</b>				
Parâmetros	5,0	8,0	10,0	15,0
pH	6,2	6,2	6,2	6,2
Alcalinidade (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	205	200	195	200
Temperatura (°C)	23	23	23	23
Abs (254 nm)	0,111	0,102	0,099	0,095
COT (mg/L)	7,106	8,823	9,236	3,656
Cor verdadeira (uC)	32	22	19	20
Turbidez (uT)	56	57	57	56
Residual de Cloro (mg/L)	0,56	0,49	0,44	0,46
NMP org/100 mL	7,2	2,0	13	1
<b>Concentração de cloro 2,0 (mg/L)</b>				
<b>Tempo de contato (min)</b>				
Parâmetros	5,0	8,0	10,0	15,0
pH	6,2	6,2	6,1	6,2
Alcalinidade (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	195	190	195	195
Temperatura (°C)	23	23	23	23
Abs (254 nm)	0,138	0,117	0,130	0,130
COT (mg/L)	3,033	13,25	14,28	4,486
Cor verdadeira (uC)	20	17	25	20
Turbidez (uT)	57	57	58	56
Residual de Cloro (mg/L)	0,61	0,51	0,51	0,46
NMP org/100 mL	168	3	1	17



**TABELA A. 07** – Características da água natural e das amostras após a desinfecção com cloro.

Parâmetros		Água de estudo			
pH		6,38			
Alcalinidade (mg/L CaCO <sub>3</sub> )		17			
Temperatura (°C)		22,4			
Abs (254 nm)		0,067			
COT (mg/L)		2,167			
Cor verdadeira (uC)		17,0			
Turbidez (uT)		10,4			
Col.Total (NMP org/100 mL)		2,419x10 <sup>4</sup>			
Col.Fecal (NMP org/100 mL)		9,8x10 <sup>7</sup>			
<b>Concentração de cloro 1,0 (mg/L)</b>					
<b>Tempo de contato (min)</b>					
	<b>Parâmetros</b>	<b>5,0</b>	<b>8,0</b>	<b>10,0</b>	<b>15,0</b>
pH		6,51	6,43	6,48	6,45
Alcalinidade (mg/L CaCO <sub>3</sub> )		15	16	13	14
Temperatura (°C)		22,6	23,6	24,1	24,0
Abs (254 nm)		0,079	0,079	0,069	0,104
COT (mg/L)		2,238	2,254	2,137	2,443
Cor verdadeira (uC)		14	17	17	17
Turbidez (uT)		10,3	10,4	10,0	10,5
Residual de Cloro (mg/L)		0,50	0,37	0,30	0,24
Col.Total (NMP org/100 mL)		275,5	153,9	140,8	135,5
Col.Fecal (NMP org/100 mL)		9,4	1,0	<1	<1
<b>Concentração de cloro 1,3 (mg/L)</b>					
<b>Tempo de contato (min)</b>					
	<b>Parâmetros</b>	<b>5,0</b>	<b>8,0</b>	<b>10,0</b>	<b>15,0</b>
pH		6,26	6,30	6,62	6,50
Alcalinidade (mg/L CaCO <sub>3</sub> )		13	13	12	14
Temperatura (°C)		24,6	24,4	23,7	24,9
Abs (254 nm)		0,067	0,094	0,100	0,089
COT (mg/L)		2,645	3,019	2,327	2,374
Cor verdadeira (uC)		18	24	17	13
Turbidez (uT)		11,5	10,8	12,3	11,3
Residual de Cloro (mg/L)		0,60	0,55	0,46	0,45
Col.Total (NMP org/100 mL)		153,9	126,6	117,2	114,3
Col.Fecal (NMP org/100 mL)		5,2	2,0	1,0	<1
<b>Concentração de cloro 1,6 (mg/L)</b>					
<b>Tempo de contato (min)</b>					
	<b>Parâmetros</b>	<b>5,0</b>	<b>8,0</b>	<b>10,0</b>	<b>15,0</b>
pH		6,30	6,40	6,42	6,66
Alcalinidade (mg/L CaCO <sub>3</sub> )		14	13	15	15
Temperatura (°C)		24,6	24,4	24,6	24,9
Abs (254 nm)		0,086	0,089	0,084	0,114
COT (mg/L)		3,115	3,144	3,110	3,077
Cor verdadeira (uC)		18	21	18	18
Turbidez (uT)		10,8	10,5	10,4	11,4
Residual de Cloro (mg/L)		1,04	0,77	0,74	0,70
Col.Total (NMP org/100 mL)		178,9	135,5	122,4	114,3
Col.Fecal (NMP org/100 mL)		2,0	<1	<1	<1
<b>Concentração de cloro 2,0 (mg/L)</b>					
<b>Tempo de contato (min)</b>					
	<b>Parâmetros</b>	<b>5,0</b>	<b>8,0</b>	<b>10,0</b>	<b>15,0</b>
pH		6,48	6,50	6,48	6,45
Alcalinidade (mg/L CaCO <sub>3</sub> )		11	14	14	13
Temperatura (°C)		24,2	24,0	24,1	23,9
Abs (254 nm)		0,103	0,106	0,094	0,087
COT (mg/L)		2,749	2,616	2,598	2,741
Cor verdadeira (uC)		25	26	24	17
Turbidez (uT)		11,0	11,1	11,1	11,0
Residual de Cloro (mg/L)		1,38	1,20	1,05	0,96
Col.Total (NMP org/100 mL)		165,8	135,5	133,1	114,3
Col.Fecal (NMP org/100 mL)		3,0	3,0	<1	<1

**TABELA A. 08** – Características da água sintética bruta e das amostras após a desinfecção com radiação ultravioleta (cor 5,0 uC e turbidez 2,0 uT).

Parâmetro	Água de estudo				
pH	6,30				
Alcalinidade (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	238				
Temperatura (°C)	25,0				
Abs (254 nm)	0,053				
COT (mg/L)	15,10				
Cor verdadeira (uC)	5,0				
Turbidez (uT)	3,60				
NMP org/100 mL	4,10x10 <sup>3</sup>				
	Ensaio com 1 lâmpada				
	Tempo de exposição(s)				
Parâmetros	5	10	20	30	40
pH	6,28	6,28	6,28	6,29	6,28
Alcalinidade (mg/LCaCO <sub>3</sub> )	241	238	238	244	240
Temperatura (°C)	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0
Abs (254 nm)	0,010	0,010	0,010	0,012	0,028
COT (mg/L)	15,67	15,05	16,19	15,92	15,97
Cor verdadeira (uC)	5,0	4,0	4,0	6,0	6,0
Turbidez (uT)	3,83	3,82	3,83	3,71	3,66
NMP org/100 mL	2419	75,2	2,0	<1	<1

**TABELA A. 09**– Características da água sintética bruta e das amostras após a desinfecção com radiação ultravioleta (cor 5,0 uC e turbidez 2,0 uT).

Parâmetro	Água de estudo				
pH	6,20				
Alcalinidade (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	240				
Temperatura (°C)	23,4				
Abs (254 nm)	0,053				
COT (mg/L)	18,02				
Cor verdadeira (uC)	5,0				
Turbidez (uT)	3,0				
NMP org/100 mL	6,13x10 <sup>3</sup>				
	Ensaio com 3 lâmpadas				
	Tempo de exposição(s)				
Parâmetros	40	60	80	100	120
pH	6,20	6,20	6,20	6,20	6,20
Alcalinidade (mg/LCaCO <sub>3</sub> )	240	230	230	240	230
Temperatura (°C)	23,0	23,0	24,0	23,0	24,0
Abs (254 nm)	0,049	0,040	0,045	0,031	0,044
COT (mg/L)	17,80	21,24	23,45	16,50	15,67
Cor verdadeira (uC)	1,0	3,0	2,0	4,0	5,0
Turbidez (uT)	3,26	4,14	3,62	3,13	3,35
NMP org/100 mL	<1	<1	<1	<1	<1

**TABELA A. 10** – Características da água sintética bruta e das amostras após a desinfecção com radiação ultravioleta (cor 5,0 uC e turbidez 20,0 uT).

Parâmetro	Água de estudo				
pH	6,20				
Alcalinidade (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	220				
Temperatura (°C)	23,3				
Abs (254 nm)	0,431				
COT (mg/L)	19,66				
Cor verdadeira (uC)	10,0				
Turbidez (uT)	28,3				
NMP org/100 mL	1,87x10 <sup>3</sup>				
	Ensaio com 3 lâmpadas				
	Tempo de exposição(s)				
Parâmetros	40	60	80	100	120
pH	6,20	6,20	6,20	6,20	6,20
Alcalinidade (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	220	220	230	220	220
Temperatura (°C)	23,3	23,3	23,4	23,4	23,5
Abs (254 nm)	0,060	0,044	0,086	0,043	0,035
COT (mg/L)	14,87	28,34	15,32	16,57	16,18
Cor verdadeira (uC)	5,0	10,0	6,0	7,0	1,0
Turbidez (uT)	29,0	28,9	29,2	28,6	28,6
NMP org/100 mL	33,6	1,0	3,0	<1	<1

**TABELA A. 11** – Características da água sintética bruta e das amostras após a desinfecção com radiação ultravioleta (cor 5,0 uC e turbidez 50,0 uT).

Parâmetro	Água de estudo				
pH	6,20				
Alcalinidade (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	220				
Temperatura (°C)	23,2				
Abs (254 nm)	1,181				
COT (mg/L)	15,48				
Cor verdadeira (uC)	9,0				
Turbidez (uT)	57,0				
NMP org/100 mL	4,61x10 <sup>3</sup>				
	Ensaio com 3 lâmpadas				
	Tempo de exposição(s)				
Parâmetros	40	60	80	100	120
pH	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2
Alcalinidade (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	220	230	225	230	210
Temperatura (°C)	23,2	23,2	23,3	23,3	23,3
Abs (254 nm)	0,016	0,080	0,019	0,010	0,014
COT (mg/L)	16,66	20,51	16,74	16,73	17,20
Cor verdadeira (uC)	7,0	7,0	5,0	10,0	5,0
Turbidez (uT)	54,9	53,8	54,6	43,9	26,4
NMP org/100 mL	119000	100000	1230	186	10,9

**TABELA A. 12** – Características da água sintética bruta e das amostras após a desinfecção com radiação ultravioleta (cor 20,0 uC e turbidez 2,0 uT).

Parâmetro	Água de estudo				
pH	6,38				
Alcalinidade (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	213				
Temperatura (°C)	25,0				
Abs (254 nm)	0,063				
COT (mg/L)	9,773				
Cor verdadeira (uC)	23,0				
Turbidez (uT)	4,63				
NMP org/100 mL	7,63x10 <sup>9</sup>				
	Ensaio com 1 lâmpada				
	Tempo de exposição(s)				
Parâmetros	5	10	20	30	40
pH	6,39	6,37	6,37	6,37	6,39
Alcalinidade (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	225	224	220	221	222
Temperatura (°C)	25,2	25,1	25,4	25,5	25,6
Abs (254 nm)	0,024	0,025	0,025	0,021	0,023
COT (mg/L)	10,04	11,47	10,84	11,36	10,25
Cor verdadeira (uC)	8,0	9,0	9,0	9,0	9,0
Turbidez (uT)	3,89	4,39	3,93	4,05	4,47
NMP org/100 mL	100000	10000	45,7	10,9	4,1

**TABELA A. 13** – Características da água sintética bruta e das amostras após a desinfecção com radiação ultravioleta (cor 20,0 uC e turbidez 20,0 uT).

Parâmetro	Água de estudo				
pH	6,13				
Alcalinidade (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	223				
Temperatura (°C)	23,3				
Abs (254 nm)	0,505				
COT (mg/L)	13,80				
Cor verdadeira (uC)	16,0				
Turbidez (uT)	21,5				
NMP org/100 mL	4,10x10 <sup>9</sup>				
	Ensaio com 3 lâmpadas				
	Tempo de exposição(s)				
Parâmetros	40	60	80	100	120
pH	6,13	6,11	6,10	6,11	6,12
Alcalinidade (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	233	227	224	226	229
Temperatura (°C)	23,3	23,8	23,8	23,9	24,5
Abs (254 nm)	0,020	0,019	0,010	0,090	0,080
COT (mg/L)	13,32	12,60	12,66	14,35	13,40
Cor verdadeira (uC)	14,0	13,	19,0	13,0	14,0
Turbidez (uT)	20,7	19,3	20,8	21,4	21,0
NMP org/100 mL	173	60,9	1,0	<1	<1

**TABELA A. 14** – Características da água sintética bruta e das amostras após a desinfecção com radiação ultravioleta (cor 20,0 uC e turbidez 50,0 uT).

Parâmetro	Água de estudo				
pH	6,10				
Alcalinidade (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	220				
Temperatura (°C)	22,8				
Abs (254 nm)	1,230				
COT (mg/L)	14,80				
Cor verdadeira (uC)	17,0				
Turbidez (uT)	47,0				
NMP org/100 mL	2,14x10 <sup>7</sup>				
	Ensaio com 3 lâmpadas				
	Tempo de exposição(s)				
Parâmetros	40	60	80	100	120
pH	6,10	6,10	6,11	6,10	6,11
Alcalinidade (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	235	220	230	220	220
Temperatura (°C)	23,2	23,2	23,0	23,2	23,0
Abs (254 nm)	0,016	0,020	0,021	0,016	0,014
COT (mg/L)	16,11	15,92	16,80	15,36	15,08
Cor verdadeira (uC)	13,0	8,0	9,0	7,0	2,0
Turbidez (uT)	47,0	47,60	47,50	46,50	47,30
NMP org/100 mL	100000	10000	980,4	145,5	48,7

**TABELA A. 15** – Características da água natural e das amostras após a desinfecção com radiação ultravioleta (1 lâmpada).

Parâmetro	Água de estudo				
pH	6,25				
Alcalinidade (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	15				
Temperatura (°C)	21,4				
Abs (254 nm)	0,253				
COT (mg/L)	3,524				
Cor verdadeira (uC)	17,0				
Turbidez (uT)	15,4				
Col Total (NMP org/100 mL)	1,119 x10 <sup>4</sup>				
Col Fecal (NMP org/100 mL)	2,419x10 <sup>4</sup>				
	Ensaio com 1 lâmpadas				
	Tempo de exposição(s)				
Parâmetros	5	10	20	30	40
pH	6,23	6,25	6,25	6,26	6,27
Alcalinidade (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	15	14	14	13	12
Temperatura (°C)	21,8	21,7	22,0	21,1	21,1
Abs (254 nm)	0,082	0,067	0,079	0,082	0,014
COT (mg/L)	3,303	2,482	2,383	2,443	2,451
Cor verdadeira (uC)	20	17	20	24	28
Turbidez (uT)	20,5	17,5	17,8	17,6	15,9
Col Total (NMP org/100 mL)	>2419,2	>2419,2	>2419	1413,6	436,6
Col fecal (NMP org/100 mL)	2382	1986,3	816,4	238,4	86,5

**TABELA A. 16** – Características da água natural e das amostras após a desinfecção com radiação ultravioleta (3 lâmpadas).

Parâmetro	Água de estudo				
pH	6,37				
Alcalinidade (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	13				
Temperatura (°C)	22,6				
Abs (254 nm)	0,253				
COT (mg/L)	4,280				
Cor verdadeira (uC)	19				
Turbidez (uT)	11,7				
Col Total (NMP org/100 mL)	1,98 x10 <sup>4</sup>				
Col Fecal (NMP org/100 mL)	1,08x10 <sup>3</sup>				
	Ensaio com 3 lâmpadas				
	Tempo de exposição(s)				
Parâmetros	40	60	80	100	120
pH	6,28	6,28	6,33	6,32	6,31
Alcalinidade (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	14	13	13	12	12
Temperatura (°C)	22,8	22,8	22,6	22,8	22,8
Abs (254 nm)	0,069	0,072	0,065	0,079	0,074
COT (mg/L)	3,399	2,825	2,876	3,096	2,518
Cor verdadeira (uC)	19	20	14	21	20
Turbidez (uT)	12,0	11,9	11,9	17,6	13,0
Col Total (NMP org/100 mL)	207,5	148,3	65,7	54,4	53,5
Col fecal (NMP org/100 mL)	13,1	6,3	5,1	4,1	3,0

**TABELA A. 17** – Características da água sintética bruta e das amostras após a desinfecção com ácido peracético (cor 5,0 uC e turbidez 2,0 uT).

Parâmetros	Água de estudo			
pH	6,33			
Alcalinidade (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	205			
Temperatura (°C)	25			
Abs (254 nm)	0,020			
COT (mg/L)	6,524			
Cor verdadeira (uC)	4,0			
Turbidez (uT)	2,4			
NMP org/100 mL	1,35x10 <sup>3</sup>			
<b>Concentração de ácido peracético de 2,0 mg/L</b>				
<b>Tempo de contato (min)</b>				
Parâmetros	5,0	8,0	10,0	15,0
pH	6,32	6,33	6,33	6,33
Alcalinidade (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	208	206	207	209
Temperatura (°C)	25	25	25	25
Abs (254 nm)	0,062	0,062	0,061	0,081
COT (mg/L)	9,912	9,622	10,15	9,667
Cor verdadeira (uC)	3,0	3,0	5,0	4,0
Turbidez (uT)	2,71	2,38	2,77	3,73
NMP org/100 mL	>2419,2	>2419,2	1,0	<1
<b>Concentração de ácido peracético de 2,5 mg/L</b>				
<b>Tempo de contato (min)</b>				
Parâmetros	5,0	8,0	10,0	15,0
pH	6,31	6,33	6,32	6,34
Alcalinidade (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	209	209	206	212
Temperatura (°C)	25	25	25	25
Abs (254 nm)	0,069	0,066	0,065	0,110
COT (mg/L)	8,304	10,32	10,19	10,07
Cor verdadeira (uC)	5,0	5,0	8,0	5,0
Turbidez (uT)	4,10	2,86	2,61	3,67
NMP org/100 mL	190,4	34,5	5,2	3,0
<b>Concentração de ácido peracético de 3,0 mg/L</b>				
<b>Tempo de contato (min)</b>				
Parâmetros	5,0	8,0	10,0	15,0
pH	6,33	6,34	6,30	6,32
Alcalinidade (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	208	208	209	210
Temperatura (°C)	25	25	25	25
Abs (254 nm)	0,060	0,061	0,052	0,062
COT (mg/L)	8,990	8,713	8,176	10,42
Cor verdadeira (uC)	5,0	4,0	3,0	3,0
Turbidez (uT)	2,91	3,20	2,88	3,04
NMP org/100 mL	80,5	29,2	22,6	4,1
<b>Concentração de ácido peracético de 3,5 mg/L</b>				
<b>Tempo de contato (min)</b>				
Parâmetros	5,0	8,0	10,0	15,0
pH	6,32	6,31	6,35	6,33
Alcalinidade (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	204	209	208	208
Temperatura (°C)	25	25	25	25
Abs (254 nm)	0,054	0,049	0,052	0,050
COT (mg/L)	8,692	10,91	8,262	8,776
Cor verdadeira (uC)	4,0	2,0	4,0	4,0
Turbidez (uT)	2,75	2,78	2,82	2,85
NMP org/100 mL	29,9	<1	<1	<1

**TABELA A. 18** – Características da água sintética bruta e das amostras após a desinfecção com ácido peracético (cor 5,0 uC e turbidez 20,0 uT).

Parâmetros	Água de estudo			
pH	6,22			
Alcalinidade (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	214			
Temperatura (°C)	23,0			
Abs (254 nm)	0,045			
COT (mg/L)	5,343			
Cor verdadeira (uC)	5,0			
Turbidez (uT)	22,9			
NMP org/100 mL	7,4x10 <sup>3</sup>			
<b>Concentração de ácido peracético de 2,0 mg/L</b>				
<b>Tempo de contato (min)</b>				
Parâmetros	5,0	8,0	10,0	15,0
pH	6,21	6,20	6,20	6,22
Alcalinidade (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	213	213	213	211
Temperatura (°C)	23,4	23,8	23,6	23,8
Abs (254 nm)	0,064	0,064	0,065	0,067
COT (mg/L)	1,236	7,369	4,448	7,767
Cor verdadeira (uC)	3,0	1,0	3,0	3,0
Turbidez (uT)	22,0	21,9	21,3	22,2
NMP org/100 mL	>2419,2	231,6	1,0	<1
<b>Concentração de ácido peracético de 2,5 mg/L</b>				
<b>Tempo de contato (min)</b>				
Parâmetros	5,0	8,0	10,0	15,0
pH	6,23	6,20	6,21	6,23
Alcalinidade (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	212	211	214	212
Temperatura (°C)	23,9	23,8	23,8	23,8
Abs (254 nm)	0,079	0,068	0,070	0,071
COT (mg/L)	7,823	9,138	7,781	8,356
Cor verdadeira (uC)	12	6	2	12
Turbidez (uT)	21,4	22,3	22,4	22,6
NMP org/100 mL	579,4	33,6	31,8	20,3
<b>Concentração de ácido peracético de 3,0 mg/L</b>				
<b>Tempo de contato (min)</b>				
Parâmetros	5,0	8,0	10,0	15,0
pH	6,22	6,22	6,21	6,21
Alcalinidade (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	215	212	211	212
Temperatura (°C)	23,3	23,5	23,4	23,5
Abs (254 nm)	0,075	0,077	0,085	0,072
COT (mg/L)	9,532	10,59	8,390	7,175
Cor verdadeira (uC)	3	3	12	4
Turbidez (uT)	22,3	22,3	22,3	22,5
NMP org/100 mL	29,2	2,0	2,0	1,0
<b>Concentração de ácido peracético de 3,5 mg/L</b>				
<b>Tempo de contato (min)</b>				
Parâmetros	5,0	8,0	10,0	15,0
pH	6,21	6,21	6,22	6,20
Alcalinidade (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	211	221	210	213
Temperatura (°C)	23,5	23,5	23,6	23,5
Abs (254 nm)	0,071	0,114	0,078	0,160
COT (mg/L)	7,717	8,740	7,122	8,617
Cor verdadeira (uC)	4	33	11	49
Turbidez (uT)	26,1	23,1	21,2	23,4
NMP org/100 mL	3,1	<1	<1	<1



**TABELA A. 19** – Características da água sintética bruta e das amostras após a desinfecção com ácido peracético (cor 5,0 uC e turbidez 50,0 uT).

Parâmetros	Água de estudo			
pH	6,27			
Alcalinidade (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	215			
Temperatura (°C)	23,4			
Abs (254 nm)	0,033			
COT (mg/L)	6,238			
Cor verdadeira (uC)	6			
Turbidez (uT)	47			
NMP org/100 mL	1,0x10 <sup>5</sup>			
<b>Concentração de ácido peracético de 2,0 mg/L</b>				
<b>Tempo de contato (min)</b>				
Parâmetros	5,0	8,0	10,0	15,0
pH	6,26	6,27	6,27	6,27
Alcalinidade (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	213	212	214	213
Temperatura (°C)	23,4	23,2	23,2	23,3
Abs (254 nm)	0,073	0,079	0,074	0,069
COT (mg/L)	3,170	6,673	6,614	7,199
Cor verdadeira (uC)	7	7	7	6
Turbidez (uT)	47,8	48,5	48,1	47,9
NMP org/100 mL	20,9	8,3	<1	<1
<b>Concentração de ácido peracético de 2,5 mg/L</b>				
<b>Tempo de contato (min)</b>				
Parâmetros	5,0	8,0	10,0	15,0
pH	6,22	6,22	6,22	6,22
Alcalinidade (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	214	215	213	212
Temperatura (°C)	23,2	23,1	23,0	23,1
Abs (254 nm)	0,079	0,071	0,074	0,078
COT (mg/L)	6,918	7,575	7,508	7,998
Cor verdadeira (uC)	7	7	9	9
Turbidez (uT)	50,2	47,2	48,0	46,1
NMP org/100 mL	8,4	4,1	<1	<1
<b>Concentração de ácido peracético de 3,0 mg/L</b>				
<b>Tempo de contato (min)</b>				
Parâmetros	5,0	8,0	10,0	15,0
pH	6,21	6,22	6,24	6,23
Alcalinidade (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	216	215	212	217
Temperatura (°C)	23,4	23,5	23,4	23,4
Abs (254 nm)	0,073	0,075	0,055	0,080
COT (mg/L)	9,245	8,227	7,088	5,336
Cor verdadeira (uC)	8	8	9	10
Turbidez (uT)	47,6	47,2	47,3	48,2
NMP org/100 mL	8,4	<1	<1	<1
<b>Concentração de ácido peracético de 3,5 mg/L</b>				
<b>Tempo de contato (min)</b>				
Parâmetros	5,0	8,0	10,0	15,0
pH	6,25	6,25	6,26	6,25
Alcalinidade (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	212	213	212	212
Temperatura (°C)	23,6	23,4	23,5	23,5
Abs (254 nm)	0,085	0,083	0,070	0,095
COT (mg/L)	7,898	6,664	3,559	2,30
Cor verdadeira (uC)	8	8	10	10
Turbidez (uT)	46,3	46,8	46,5	47,4
NMP org/100 mL	0	<1	<1	<1

**TABELA A. 20** – Características da água sintética bruta e das amostras após a desinfecção com ácido peracético (cor 20,0 uC e turbidez 2,0 uT).

Parâmetros	Água de estudo			
pH	6,27			
Alcalinidade (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	215			
Temperatura (°C)	24,6			
Abs (254 nm)	0,039			
COT (mg/L)	8,161			
Cor verdadeira (uC)	20			
Turbidez (uT)	2,55			
NMP org/100 mL	1,0x10 <sup>3</sup>			
<b>Concentração de ácido peracético de 2,0 mg/L</b>				
<b>Tempo de contato (min)</b>				
Parâmetros	5,0	8,0	10,0	15,0
pH	6,26	6,26	6,26	6,27
Alcalinidade (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	217	217	216	216
Temperatura (°C)	24,4	24,4	24,6	24,5
Abs (254 nm)	0,068	0,073	0,086	0,055
COT (mg/L)	9,893	10,819	9,037	8,296
Cor verdadeira (uC)	8	7	7	7
Turbidez (uT)	2,33	2,29	2,49	2,46
NMP org/100 mL	2419	488,4	30,1	9,7
<b>Concentração de ácido peracético de 2,5 mg/L</b>				
<b>Tempo de contato (min)</b>				
Parâmetros	5,0	8,0	10,0	15,0
pH	6,26	6,26	6,27	6,27
Alcalinidade (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	223	215	216	216
Temperatura (°C)	24,4	24,6	24,7	24,7
Abs (254 nm)	0,068	0,064	0,068	0,059
COT (mg/L)	8,642	8,921	8,774	9,435
Cor verdadeira (uC)	7	7	10	7
Turbidez (uT)	2,35	2,34	2,34	2,54
NMP org/100 mL	1732,9	123,3	25,3	2,0
<b>Concentração de ácido peracético de 3,0 mg/L</b>				
<b>Tempo de contato (min)</b>				
Parâmetros	5,0	8,0	10,0	15,0
pH	6,29	6,27	6,27	6,27
Alcalinidade (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	2,21	2,17	2,16	2,25
Temperatura (°C)	24,5	24,7	24,6	24,5
Abs (254 nm)	0,059	0,062	0,061	0,058
COT (mg/L)	8,140	8,857	10,08	10,89
Cor verdadeira (uC)	9	10	8	7
Turbidez (uT)	2,49	2,38	2,76	2,68
NMP org/100 mL	1553,1	8,5	1,0	<1
<b>Concentração de ácido peracético de 3,5 mg/L</b>				
<b>Tempo de contato (min)</b>				
Parâmetros	5,0	8,0	10,0	15,0
pH	6,27	6,27	6,27	6,27
Alcalinidade (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	216	219	212	218
Temperatura (°C)	23,7	23,7	23,4	23,6
Abs (254 nm)	0,066	0,065	0,062	0,063
COT (mg/L)	3,16	9,858	11,08	9,164
Cor verdadeira (uC)	7	9	7	7
Turbidez (uT)	3,29	2,76	2,70	2,68
NMP org/100 mL	1119,9	8,5	1,0	<1

**TABELA A. 21** – Características da água sintética bruta e das amostras após a desinfecção com ácido peracético (cor **20,0** uC e turbidez **20,0** uT).

Parâmetros	Água de estudo			
pH	6,28			
Alcalinidade (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	210			
Temperatura (°C)	24,8			
Abs (254 nm)	0,074			
COT (mg/L)	8,562			
Cor verdadeira (uC)	21			
Turbidez (uT)	22,0			
NMP org/100 mL	1,0x10 <sup>3</sup>			
<b>Concentração de ácido peracético de 2,0 mg/L</b>				
<b>Tempo de contato (min)</b>				
Parâmetros	5,0	8,0	10,0	15,0
pH	6,27	6,25	6,26	6,27
Alcalinidade (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	212	226	202	203
Temperatura (°C)	25,4	25,3	25,3	25,3
Abs (254 nm)	0,089	0,077	0,077	0,077
COT (mg/L)	8,522	8,665	7,872	8,372
Cor verdadeira (uC)	24	16	22	17
Turbidez (uT)	21,2	22,0	21,4	21,7
NMP org/100 mL	2419	547,5	6,3	1,0
<b>Concentração de ácido peracético de 2,5 mg/L</b>				
<b>Tempo de contato (min)</b>				
Parâmetros	5,0	8,0	10,0	15,0
pH	6,28	6,26	6,29	6,28
Alcalinidade (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	202	200	202	220
Temperatura (°C)	24,8	24,7	23,2	23,4
Abs (254 nm)	0,089	0,078	0,097	0,127
COT (mg/L)	8,033	9,488	10,65	10,55
Cor verdadeira (uC)	22	17	24	23
Turbidez (uT)	20,9	20,3	26,1	28,5
NMP org/100 mL	2419	233,4	14,3	<1
<b>Concentração de ácido peracético de 3,0 mg/L</b>				
<b>Tempo de contato (min)</b>				
Parâmetros	5,0	8,0	10,0	15,0
pH	6,30	6,29	6,28	6,30
Alcalinidade (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	203	201	203	200
Temperatura (°C)	23,7	23,5	23,4	23,4
Abs (254 nm)	0,083	0,088	0,083	0,099
COT (mg/L)	10,41	10,71	10,89	11,77
Cor verdadeira (uC)	17	16	17	17
Turbidez (uT)	34,0	27,0	25,6	21,3
NMP org/100 mL	1732,9	166,4	1,0	<1
<b>Concentração de ácido peracético de 3,5 mg/L</b>				
<b>Tempo de contato (min)</b>				
Parâmetros	5,0	8,0	10,0	15,0
pH	6,29	6,29	6,27	6,31
Alcalinidade (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	241	202	202	205
Temperatura (°C)	24,1	23,5	23,6	23,2
Abs (254 nm)	0,103	0,082	0,081	0,089
COT (mg/L)	10,30	9,793	9,421	10,11
Cor verdadeira (uC)	26	17	13	20
Turbidez (uT)	21,4	20,5	20,7	26,2
NMP org/100 mL	36,9	5,2	<1	<1

**TABELA A. 22** – Características da água sintética bruta e das amostras após a desinfecção com ácido peracético (cor 20,0 uC e turbidez 50,0 uT).

Parâmetros	Água de estudo			
pH	6,25			
Alcalinidade (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	190			
Temperatura (°C)	23,4			
Abs (254 nm)	0,029			
COT (mg/L)	1,621			
Cor verdadeira (uC)	21			
Turbidez (uT)	52,0			
NMP org/100 mL	1,0x10 <sup>3</sup>			
<b>Concentração de ácido peracético de 2,0 mg/L</b>				
<b>Tempo de contato (min)</b>				
Parâmetros	5,0	8,0	10,0	15,0
pH	6,25	6,27	6,25	6,25
Alcalinidade (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	190	193	193	192
Temperatura (°C)	23,4	23,3	23,4	23,2
Abs (254 nm)	0,103	0,124	0,117	0,112
COT (mg/L)	5,627	3,103	5,620	5,710
Cor verdadeira (uC)	11	20	16	10
Turbidez (uT)	51,1	52,5	51,5	51,2
NMP org/100 mL	2419	86,5	3,0	<1
<b>Concentração de ácido peracético de 2,5 mg/L</b>				
<b>Tempo de contato (min)</b>				
Parâmetros	5,0	8,0	10,0	15,0
pH	6,24	6,23	6,22	6,26
Alcalinidade (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	190	191	187	195
Temperatura (°C)	23,2	23,1	23,3	23,2
Abs (254 nm)	0,115	0,104	0,167	0,167
COT (mg/L)	5,620	3,828	6,849	6,954
Cor verdadeira (uC)	11	19	17	14
Turbidez (uT)	51,7	51,4	51,0	53,4
NMP org/100 mL	579,4	17,7	<1	<1
<b>Concentração de ácido peracético de 3,0 mg/L</b>				
<b>Tempo de contato (min)</b>				
Parâmetros	5,0	8,0	10,0	15,0
pH	6,22	6,23	6,22	6,23
Alcalinidade (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	185	190	188	186
Temperatura (°C)	23,5	23,5	23,4	23,5
Abs (254 nm)	0,088	0,090	0,100	0,091
COT (mg/L)	6,212	5,340	6,091	6,316
Cor verdadeira (uC)	15	12	14	20
Turbidez (uT)	51,1	51,3	50,9	50,5
NMP org/100 mL	456,9	8,2	<1	<1
<b>Concentração de ácido peracético de 3,5 mg/L</b>				
<b>Tempo de contato (min)</b>				
Parâmetros	5,0	8,0	10,0	15,0
pH	6,23	6,23	6,22	6,23
Alcalinidade (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	182	187	187	190
Temperatura (°C)	23,5	23,4	23,5	23,4
Abs (254 nm)	0,090	0,097	0,089	0,090
COT (mg/L)	6,114	8,043	6,973	3,348
Cor verdadeira (uC)	18	14	12	17
Turbidez (uT)	51,7	51,7	51,8	52,4
NMP org/100 mL	<1	<1	<1	<1

**TABELA A. 23** – Características da água natural e das amostras após a desinfecção com ácido peracético.

Parâmetros	Água de estudo			
pH	6,62			
Alcalinidade (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	10			
Temperatura (°C)	23,4			
Abs (254 nm)	0,033			
COT (mg/L)	1,978			
Cor verdadeira (uC)	8			
Turbidez (uT)	16,0			
Col.Total (NMP org/100 mL)	3,9x10 <sup>4</sup>			
Col.Fecal (NMP org/100 mL)	2,0x10 <sup>2</sup>			
<b>Concentração de ácido peracético de 2,0 mg/L</b>				
<b>Tempo de contato (min)</b>				
<b>Parâmetros</b>	<b>5,0</b>	<b>8,0</b>	<b>10,0</b>	<b>15,0</b>
pH	6,19	6,69	6,20	6,22
Alcalinidade (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	11	10	10	10
Temperatura (°C)	23,6	25,1	23,4	23,5
Abs (254 nm)	0,071	0,104	0,096	0,100
COT (mg/L)	3,610	3,591	3,144	3,819
Cor verdadeira (uC)	12	13	15	14
Turbidez (uT)	9,19	13,5	13,9	15,4
Col.Total (NMP org/100 mL)	>2419,2	>2419,2	>2419,2	1986,3
Col.Fecal (NMP org/100 mL)	3,0	2,0	<1	<1
<b>Concentração de ácido peracético de 2,5 mg/L</b>				
<b>Tempo de contato (min)</b>				
<b>Parâmetros</b>	<b>5,0</b>	<b>8,0</b>	<b>10,0</b>	<b>15,0</b>
pH	6,65	6,35	6,33	6,32
Alcalinidade (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	10	11	10	10
Temperatura (°C)	25,0	25,0	24,0	24,0
Abs (254 nm)	0,086	0,080	0,116	0,096
COT (mg/L)	4,645	3,603	3,671	4,140
Cor verdadeira (uC)	15	13	16	13
Turbidez (uT)	12,6	13,6	13,1	13,6
Col.Total (NMP org/100 mL)	>2419,2	>2419,2	1553,1	579,4
Col.Fecal (NMP org/100 mL)	3,0	1,0	<1	<1
<b>Concentração de ácido peracético de 3,0 mg/L</b>				
<b>Tempo de contato (min)</b>				
<b>Parâmetros</b>	<b>5,0</b>	<b>8,0</b>	<b>10,0</b>	<b>15,0</b>
pH	6,30	6,32	6,32	6,31
Alcalinidade (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	10	10	10	11
Temperatura (°C)	23,4	23,4	23,2	23,3
Abs (254 nm)	0,088	0,093	0,087	0,092
COT (mg/L)	4,142	4,060	4,257	4,048
Cor verdadeira (uC)	13	14	15	15
Turbidez (uT)	12,8	12,1	16,8	15,2
Col.Total (NMP org/100 mL)	>2419,2	1732,9	1413,6	1299,7
Col.Fecal (NMP org/100 mL)	<1	<1	<1	<1
<b>Concentração de ácido peracético de 3,5 mg/L</b>				
<b>Tempo de contato (min)</b>				
<b>Parâmetros</b>	<b>5,0</b>	<b>8,0</b>	<b>10,0</b>	<b>15,0</b>
pH	6,25	6,24	6,23	6,24
Alcalinidade (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	10	11	10	10
Temperatura (°C)	23,4	23,6	23,4	23,1
Abs (254 nm)	0,079	0,093	0,070	0,090
COT (mg/L)	3,654	7,404	6,113	6,115
Cor verdadeira (uC)	14	17	12	12
Turbidez (uT)	10,7	13,6	17,4	24,9
Col.Total (NMP org/100 mL)	>2419,2	920,8	686,7	436,0
Col.Fecal (NMP org/100 mL)	1,0	<1	<1	<1

**TABELA A. 24** – Parâmetros para a cinética de desinfecção com radiação ultravioleta para a água sintética com cor 5 e turbidez 2

Cor 5 - Turbidez 2					
Tempo (s)	5	10	20	30	40
Abs (254)	0,053	0,053	0,053	0,053	0,053
A	0,122	0,122	0,122	0,122	0,122
Im	0,491	0,491	0,491	0,491	0,491
Io	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77
I	0,290	0,290	0,290	0,290	0,290
No	187000	187000	187000	187000	187000
N	2419	75,2	2	<1	<1
dose mín	1,450	2,900	5,800	8,700	11,600
dose média	2,457	4,915	9,831	14,746	19,662
logN/No	-1,88821	-3,39562	-4,97081	-	-

**TABELA A. 25** – Parâmetros para a cinética de desinfecção com radiação ultravioleta para a água sintética com cor 5 e turbidez 20.

Cor 5 - Turbidez 20					
tempo (s)	40	60	80	100	120
Abs (254)	0,431	0,431	0,431	0,431	0,431
Io	1,98	1,98	1,98	1,98	1,98
A	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992
Im	0,249	0,249	0,249	0,249	0,249
I	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007
No	187000	187000	187000	187000	187000
N	33,6	1	3	<1	<1
dose mín	0,028	0,042	0,056	0,070	0,084
dose média	9,970	14,955	19,940	24,925	29,910
log N/No	-3,745	-5,271	-4,794	-	-

**TABELA A. 26** – Parâmetros para a cinética de desinfecção com radiação ultravioleta para a água sintética com cor 5 e turbidez 50.

Cor 5 - Turbidez 50					
tempo (s)	40	60	80	100	120
Abs (254)	1,181	1,181	1,181	1,181	1,181
Io	1,98	1,98	1,98	1,98	1,98
a	2,719	2,719	2,719	2,719	2,719
Im	0,091	0,091	0,091	0,091	0,091
I	7,0E-10	7,0E-10	7,0E-10	7,0E-10	7,01E-10
No	461000	461000	461000	461000	461000
N	119000	100000	1230	186	10,9
dose mín	2,81E-08	4,21E-08	5,62E-08	7,0E-08	8,43E-08
dose média	3,639	5,459	7,279	9,099	10,919
log N/No	-0,196	-0,271	-2,181	-3,002	-4,234

**TABELA A. 27** – Parâmetros para a cinética de desinfecção com radiação ultravioleta para a água sintética com cor 20 e turbidez 2.

Cor 20 - Turbidez 2					
tempo (s)	5	10	20	30	40
Abs (254)	0,063	0,063	0,063	0,063	0,063
Io	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77
a	0,145	0,145	0,145	0,145	0,145
Im	1,171	1,171	1,171	1,171	1,171
I	0,620	0,620	0,620	0,620	0,620
No	7630000	7630000	7630000	7630000	7630000
N	100000	10000	45,7	10,9	4,1
dose mín	3,101	6,202	12,405	18,607	24,810
dose média	5,857	11,714	23,429	35,144	46,858
log N/No	-0,612	-1,612	-3,952	-4,575	-5

**TABELA A. 28** – Parâmetros para a cinética de desinfecção com radiação ultravioleta para a água sintética com cor 20 e turbidez 20.

Cor 20 - turbidez 20					
tempo (s)	40	60	80	100	120
Abs(254)	0,505	0,505	0,505	0,505	0,505
Io	1,98	1,98	1,98	1,98	1,98
a	1,163	1,163	1,163	1,163	1,163
Im	0,212	0,212	0,212	0,212	0,212
I	0,00018	0,00018	0,00018	0,00018	0,00018
No	410000	410000	410000	410000	410000
N	173	60,9	1	<1	<1
dose mín	0,007	0,010	0,014	0,018	0,021
dose média	8,511	12,767	17,023	21,278	25,534
log N/No	-3,374	-3,828	-5,612	-	-

**TABELA A. 29** – Parâmetros para a cinética de desinfecção com radiação ultravioleta para a água sintética com cor 20 e turbidez 50.

Cor 20 - turbidez 50					
tempo (s)	40	60	80	100	120
Abs (254)	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23
Io	1,98	1,98	1,98	1,98	1,98
a	2,832	2,832	2,832	2,832	2,832
Im	0,087	0,087	0,087	0,087	0,087
I	2,8E-10	2,8E-10	2,8E-10	2,8E-10	2,8E-10
No	214000	214000	214000	214000	214000
N	100000	10000	980,4	145,5	48,7
dose mín	1,13E-08	1,70E-08	2,27E-08	2,8E-08	3,4E-08
dose média	3,494	5,242	6,989	8,737	10,484
log N/No	-0,330	-1,330	-2,339	-3,167	-3,642

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALASRI, A.; ROQUES, C.; MICHEL, G. (1992). Bactericidal properties of peracetic acid and hydrogen peroxide, alone and in combination, and formaldehyde against bacterial water strains. *Canadian Journal Microbiological*, v.38, p.635-41.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA. (1985). *Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater*, 16 ed., Washington.
- AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION – AWWA. (1998). *Using Reclaimed Water to Augment potable Water Resources*. New York.
- BAKER, K.H.; HEGART, J.P. (1997). Detection and occurrence of indicator organisms and pathogens. *Water Environment Research*, v.69, n.4, p.403-14.
- BALDRY, M.G.C.; FRENCH, M.S. (1989). Disinfection of sewage effluent with peracetic acid. *Water Science Technology*, v.21, n.3, p.203-6.
- BALDRY, M.G.C.; FRENCH, M.S. (1989). Activity of peracetic acid against sewage indicator organisms. *Water Science Technology*, v.21, n.6/8, p.1747-9.
- BALDRY, M.G.C. (1982). The bactericidal, fungicidal and sporicidal properties of hydrogen peroxide and peracetic acid. *Journal of Applied Bacteriology*, v.54, p.417-23.
- BALDRY, M.G.C.; CAVADORE, A.; FRENCH, M.S.; MASSA, G.; RODRIGUES, L.M.; SCHIRCH, P.F.T.; THREADGOLD, T.L. (1995). Effluent disinfection in warm climates with peracetic acid. *Water Science Technology*, v.31, n.5-6, p.161-4.
- BRANCO, S.M. (1978). *Hidrologia aplicada à engenharia sanitária*. 2.ed. São Paulo, CETESB.
- CAIRNS, W.L. (1995). UV technology for water supply treatment. *Water Supply*, v.13, n.3/4, p.211-4.



CAIRNS, W.L. (1995). *Comparing disinfection by ultraviolet light and chlorination – the implications of mechanism for practice*.  
[http://www.trojanuv.com/papers/COMP\\_UV\\_CHL.htm](http://www.trojanuv.com/papers/COMP_UV_CHL.htm).

CAMPOS, J. R. (1980). *Emprego do amido de batata como auxiliar de floculação de águas para abastecimento*. São Carlos. 179p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo.

CONDIE, L.W. (1986). Toxicological problems associated with Chlorine Dioxide. *Journal AWWA*, v.58, n.6, p.73-8.

DANIEL, L.A. (1989). *Desinfecção de Efluentes de Esgoto Sanitário Pré-Decantado Empregando Radiação Ultravioleta*. São Carlos. 124p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

DANIEL, L.A. (1993). *Desinfecção de Esgotos com Radiação Ultravioleta: Fotorreativação e Obtenção de Parâmetros Cinéticos*. São Carlos. 169p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo.

GADGIL, A. (1998). Drinking water in developing countries. *Annual Review of Energy Environmental*, v.23, p.253-86.

GASI, T.M.T.; SAMPAIO, A.O.; PACHECO, C.E.M.; CAMACHO, P.R.R.; ANDRADE, E.M. (1995). Aplicação de ácido peracético para desinfecção se efluentes de lodos ativados. CONGRESSO ABES (Salvador, 1995).

GRAVELAND, A. (1998). Particle and micro-organism removal in conventional and advanced treatment technology. *Water Science Technology*, v.37, n.10, p.125-34.

HASSEN, A.; HEYOUNI, A.; SHAYEB, H.; CHERIF, M.; BOUDABOUS, A. (2000). An Inactivation of indicator bacteria in wastewater by chlorine – a kinetics study. *Bioresource Technology*, v.72, n.85-93.

HELLER, L. (1997). *Saneamento e saúde*. Brasília, OPAS/OMS.

- HOM, L.W. (1972). Kinetics of chlorine disinfection in an ecosystem. *Journal of the Sanitary Engineering Division*, (SA1), p.183-95.
- HOWLETT, C.T. (1995). Chlorine: Basic Benefits, Universal Uses. /Apresentado ao Economic Commission for Europe, Geneva.
- HULL, R. N.; KLINE, L. B. (1960) The virucidal properties of peracetic acid. *American Journal of Clinical Pathology*, v.33, n.1, p.30-3.
- JOHNSON, P.; GRAHAM, M.A.; WILSON, M.(1997). Predictive Chlorine Dosing: A New Paradigm. *J.CIWEN*, v.11, p. 413-22.
- JOLLEY, R.L.; CONDIE, L.W.; JOHNSON, J.D.; KATZ, S.; MINEAR, R.A.; MATICE, J.S.; JACOBS, V.A. (1990). *Water chlorination Chemistry, environmental Impact and Health Effects*. V.6, Ed. Lewis Publishers.
- JOLIVERT-GOUGEON, A.; BRAUX, A.S.; SAVAUGER, F.; ARTURO-SCHAAN, M.; CORMIER, M. (1995). Influence of peracetic acid on *Escherichia coli* H10407 strain in laboratory microcosms. *Canadian Journal of Microbiological*, v.42, p.60-5.
- MANUAL of Practice FD-10 – Wastewater Disinfection. (1996). Alexandria (VA), Water Environment Federation.
- METCALF & EDDY (1991). *Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse*. 3<sup>th</sup> edition, McGraw-Hill, USA. 1334p.
- MORIÑIGO, M.A.; WHEELER, D.; BERRY, C; JONES, C.; MUÑOZ, M.A.; CORNAX, R.; BORREGO, J.J. (1991) Evaluation of different bacteriophage groups as faecal indicators in contaminated natural waters in southern England. *Water Research*, v.26, n.3, p.267-71.
- MUTTAMARA, S.; SALES, C.I.; GAZALI, Z. (1995). The formation of trihalomethane from chemical disinfectants and humic substances in drinking water. *Water Supply*, v.13, n.2, p.105-17.

PELCZAR, M.; REID, R.; CHAN, E.C.S. (1981). *Microbiologia*. São Paulo, Mac  
✍ Graw-Hill do Brasil.

PESSOA, S. (1978). *Ensaio médico-sociais*. 2.ed. São Paulo, CEBES-HUCITEC.

✍ PONTIUS, F.W. (1997). Drinking Water Disinfection with Chlorine: An effective  
public health practice. /Apresentado no American Waters Works Association,  
Colorado.

RAJALA-MUSTONEN, R. L.; TOIVOLA, P. S.; HEINONEN-TANSKI, H. (1997).  
Effects of peracetic acid and UV irradiation on the inactivation of coliphages in  
wastewater. *Water Science Technology*, v.35, n.11/12, p.237-41.

RATHBUN, R.E. (1996) Regression equations for disinfection by-products for the  
Mississippi, Ohio and Missouri rivers. *The Science of the Total Environment*,  
v.191, p.235-44.

RUSSEL, A.D.; MILLARD, J.Y.; BEGGS, T.S.; DAY, M.J.; HUDSON, R.A.  
(1994). Effect of Biocides on MS2 and K Coliphages. *Applied and  
Environmental Microbiology*, v.60, n.6, p.2205-6.

SAMPAIO, A. de O. (1985). Desinfecção de Esgotos Sanitários com Radiação  
Ultravioleta. São Carlos. 96p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de  
São Carlos, Universidade de São Paulo.

SANCHEZ-RUIZ, C.; ROYANO, M. S.; MONZÓN, I. T. (1995). An evaluation of  
the efficiency and impact of raw wastewater disinfection with peracetic acid  
prior to ocean discharge. *Water Science Technology*, v.32, n.7, p.159-66.

✍ SHABAN, A.M.; EL-TAWEEL, G.E.; ALI, G.H. (1997). UV ability to inactivate  
microorganisms combined with factors affecting radiation. *Water Science  
Technology*, v.35, n.11-12, p.107-12.

SINGER, P.C. (1999). *Humic substances as precursors for potentially harmful  
disinfection by-products*. *Water Science Technology*, v.40, n.9, p.25-30.

THOMPSON, G.P.; CHRISTMAN, R.F.; JOHNSON, J.D. (1990). Chlorination of Aquatic Fulvic Acid and Natural Waters: Additional By-products. In: JOLLEY, R.L.; CONDIE, L.W.; JOHNSON, J.D.; KATZ, S.; MINEAR, R.A.; MATICE, J.S.; JACOBS, V.A. (1990). *Water chlorination Chemistry, environmental Impact and Health Effects*. V.6, Ed. Lewis Publishers, Cap 14, p. 178.

TOSA, K.; HIRATA, T. (1999). Photoreactivation of enterohemorrhagic *escherichia coli* following UV disinfection. *Water Research*, v.33, n.2, p.361-6.

✓ TREE, J.A.; ADAMS, M.R.; LEES, D.N. (1997). Virus inactivation during disinfection of wastewater by chlorination and UV irradiation and the efficacy of F+ bacteriophage as a "viral indicator". *Water Science Technology*, v.35, n.11-12, p.227-32.

TRUSSELL, R.R. (1999). Safeguarding distribution system integrity. *Journal AWWA*, v.91, n.1, p.46-54.

USEPA (U.S. Environmental Protection Agency) Guidance Manual – Alternative Disinfectants and Oxidants. (1999). Washington, D.C. Report n.815-R-99-014.

USEPA (U.S. Environmental Protection Agency) Guidance Manual – Wastewater Technology Fact Sheet. (1999). Washington, D.C. Report n.832-F-99-064.