

# USP

## Campus de São Carlos

Inativação de microrganismos indicadores  
presentes em efluentes secundários de esgoto  
sanitário com radiação ultravioleta

Fábio José Coletti

### UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO



### ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

INATIVAÇÃO DE MICRORGANISMOS INDICADORES  
PRESENTES EM EFLUENTES SECUNDÁRIOS DE ESGOTO  
SANITÁRIO COM RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA

Serviço de Pós-Graduação EESC/USP  
EXEMPLAR REVISADO  
Data de entrada no Serviço: 15 107 1 03  
Ass.: *[Assinatura]*

FÁBIO JOSÉ COLETTI

Tese apresentada à Escola de Engenharia de  
São Carlos, da Universidade de São Paulo,  
como parte dos requisitos para obtenção do  
Título de Doutor em Hidráulica e Saneamento.



ORIENTADOR: Prof. Dr. LUIZ ANTONIO DANIEL



São Carlos  
2003

Class.	TESE-EESC
Cult.	4297
Tombo	T181/03
Sysno	1325297

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

C694i Coletti, Fábio José  
Inativação de microrganismos indicadores presentes em efluentes secundários de esgoto sanitário com radiação ultravioleta / Fábio José Coletti. -- São Carlos, 2003.

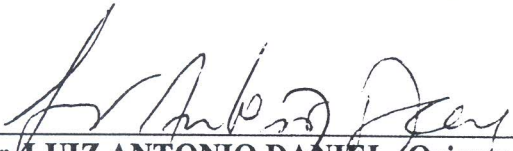
Tese (Doutorado) -- Escola de Engenharia de São Carlos-Universidade de São Paulo, 2003.  
Área: Hidráulica e Saneamento.  
Orientador: Prof. Dr. Luiz Antonio Daniel.

1. Actinometria. 2. Desinfecção. 3. Microrganismos indicadores. 4. Modelo de Hom. 5. Radiação ultravioleta. 6. Radiometria. I. Título.

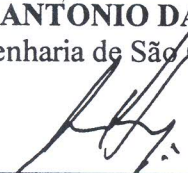
**FOLHA DE JULGAMENTO**

Candidato: Engenheiro **FÁBIO JOSÉ COLETTI**

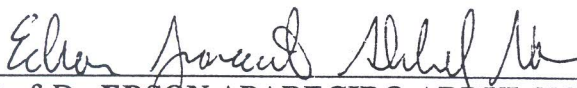
Tese defendida e julgada em 16-05-2003 perante a Comissão Julgadora:

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. **LUIZ ANTONIO DANIEL (Orientador)**  
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

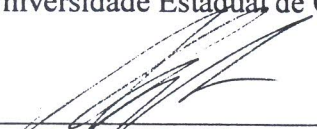
APROVADO

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Tit. **JURANDYR POVINELLI**  
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)


APROVADO

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. **EDSON APARECIDO ABDUL NOUR**  
(Universidade Estadual de Campinas/UNICAMP)

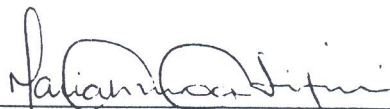
APROVADO

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. **ANTONIO EDUARDO GIANSAANTI**  
(Universidade Presbiteriana Mackenzie/SP)

APROVADO

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. **ROQUE PASSOS PIVELI**  
(Escola Politécnica/USP)

APROVADO

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Associada **MARIA DO CARMO CALIJURI**  
Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia (Hidráulica e Saneamento) e  
Presidente da Comissão de Pós-Graduação

*Dedico este trabalho a Deus,  
minha fonte de inspiração  
nos momentos mais difíceis;  
aos meus pais, José e Nair;  
ao meu irmão, Roberto.*

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Prof. Dr. Luiz Antônio Daniel pelo incentivo, dedicação e constante orientação em todas etapas deste trabalho.

Agradecimento especial ao Prof. Tit. Jurandyr Povinelli pela orientação em grande parte desta pesquisa, sugestões valiosas apresentadas e ajuda.

Ao CNPq pela bolsa de doutorado concedida.

À FAPESP pelo auxílio financeiro fornecido para montagem das unidades experimentais, aquisição de equipamentos e produtos químicos.

Ao técnico Francisco Carlos Bergamin pela montagem das unidades experimentais.

Aos colegas Cilmar Donizeti Baságua, Luci Sartori e Romeu Francisco Gadotti pela ajuda prestada no decorrer da pesquisa.

Aos técnicos do Laboratório de Saneamento Paulo Fragiácomo, Júlio César Trofino e Maria Aparecida Peres Viudes.

Aos funcionários das ETEs de Araraquara e de Lins.

Aos professores e funcionários do Departamento de Hidráulica e Saneamento que contribuíram na realização deste trabalho.

A minha mãe, que sempre esteve presente nos momentos em que mais precisei.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	viii
LISTA DE TABELAS .....	xvii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS .....	xxvi
LISTA DE SÍMBOLOS .....	xxvii
RESUMO .....	xxxí
<i>ABSTRACT</i> .....	xxxii
1 - INTRODUÇÃO .....	1
2 - OBJETIVOS .....	4
3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	5
3.1 - Desinfecção de esgoto sanitário .....	5
3.1.1 - Introdução .....	5
3.1.2 - Técnicas mais usuais para desinfecção .....	7
3.1.2.1 - Cloro .....	7
3.1.2.2 - Dióxido de cloro .....	9
3.1.2.3 - Ozônio .....	11
3.1.2.4 - Radiação ultravioleta .....	12
3.1.2.4.1 - Generalidades .....	12
3.1.2.4.2 - Vantagens e desvantagens da radiação ultravioleta .	13
3.1.2.4.3 - Fatores interferentes do processo de desinfecção com radiação ultravioleta .....	15
3.1.2.4.4 - Fontes de emissão de radiação ultravioleta .....	20
3.1.2.4.5 - Mecanismo de inativação dos microrganismos com radiação ultravioleta .....	22
3.1.2.4.6 - Doses de radiação ultravioleta .....	24

3.1.2.4.7 - Cinética da inativação dos microrganismos .....	27
3.1.2.4.8 - Exemplos de aplicação de radiação ultravioleta .....	29
3.2 - Microrganismos indicadores .....	33
3.2.1 - Uso da bactéria como indicador fecal .....	34
3.2.2 - Microrganismos indicadores alternativos .....	36
3.3 - Comparação da sensibilidade de diferentes microrganismos à ação dos desinfetantes .....	41
3.4 - Conseqüências da radiação ultravioleta na água residuária desinfetada .....	50
4 – MATERIAL E MÉTODOS .....	54
4.1 - Generalidades .....	54
4.2 - Caracterização das águas residuárias .....	54
4.3 - Ensaio em batelada .....	56
4.3.1 - Descrição das unidades experimentais .....	56
4.3.2 - Análises e exames .....	62
4.3.3 - Determinação da intensidade média de radiação ultravioleta incidente .....	62
4.3.3.1 - Radiometria .....	63
4.3.3.2 - Actinometria .....	64
4.3.4 - Ensaio de desinfecção .....	71
4.4 - Ensaio em sistema contínuo .....	74
4.4.1 - Descrição da unidade experimental .....	74
4.4.2 - Operação e controle .....	75
4.4.3 - Análises e exames .....	76
5 - RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	77
5.1 - Ensaio em batelada .....	77
5.1.1 - Ensaio para determinação da intensidade média de radiação ultravioleta incidente .....	77
5.1.1.1 - Radiometria .....	77
5.1.1.2 - Actinometria .....	79
5.1.2 - Ensaio de desinfecção .....	89
5.2 - Ensaio em sistema contínuo .....	116



6 - CONCLUSÕES .....	121
7 - RECOMENDAÇÕES .....	124
8 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	126
ANEXO A .....	137
ANEXO B .....	204
ANEXO C .....	236

## LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 -	Espectro eletromagnético (DANIEL, 2001).....	13
Figura 4.1 -	Fluxogramas das ETEs de Araraquara e de Lins.....	55
Figura 4.2 -	Instalação em batelada utilizada para monitoramento da potência radiante da lâmpada de baixa pressão de vapor de mercúrio durante sua vida útil.....	57
Figura 4.3 -	Esquema da instalação em batelada utilizada para monitoramento da potência radiante da lâmpada de baixa pressão de vapor de mercúrio durante sua vida útil.....	58
Figura 4.4 -	Unidade experimental utilizada durante os ensaios em batelada com radiação ultravioleta.....	59
Figura 4.5 -	Esquema da unidade experimental utilizada durante os ensaios em batelada com radiação ultravioleta.....	60
Figura 4.6 -	Refletor removível de alumínio com as seis lâmpadas de baixa pressão de vapor de mercúrio.....	61
Figura 4.7 -	Distribuição dos 25 pontos no reator I que foram utilizados para leitura da intensidade pontual de radiação ultravioleta nos ensaios com radiômetro.....	64
Figura 4.8 -	Instalação de desinfecção com radiação ultravioleta de alta intensidade que foi utilizada para os ensaios em sistema contínuo na ETE de Lins (Fotografia autorizada pela Germetec).....	75
Figura 4.9 -	Esquema da instalação de desinfecção com radiação ultravioleta de alta intensidade que foi utilizada para os ensaios em sistema contínuo na ETE de Lins (Catálogo Germetec).....	76
Figura 5.1 -	Potência radiante emitida pela lâmpada de baixa pressão de vapor de mercúrio em 254 nm nas primeiras 120 horas de funcionamento.....	81
Figura 5.2 -	Potência radiante emitida pela lâmpada de baixa pressão de vapor de mercúrio em 254 nm durante a vida útil.....	81

Figura 5.3 -	SST em membranas com poros de vários diâmetros (a – não seqüencial) e com a passagem do mesmo volume de amostra na membrana com poros de maior diâmetro até a de menor diâmetro (b – seqüencial), obtidos com efluentes da ETE de Araraquara usados nos ensaios de desinfecção 3, 4 e 5.....	96
Figura 5.4 -	SST em membranas com poros de vários diâmetros (a – não seqüencial) e com a passagem do mesmo volume de amostra na membrana com poros de maior diâmetro até a de menor diâmetro (b – seqüencial), obtidos com efluentes da ETE de Araraquara utilizados nos ensaios de desinfecção 6 e 7.....	96
Figura 5.5 -	SST em membranas com poros de vários diâmetros (a – não seqüencial) e com a passagem do mesmo volume de amostra na membrana com poros de maior diâmetro até a de menor diâmetro (b – seqüencial), obtidos com efluentes da ETE de Araraquara utilizados nos ensaios de desinfecção 8 e 9.....	97
Figura 5.6 -	SST em membranas com poros de vários diâmetros (a – não seqüencial) e com a passagem do mesmo volume de amostra na membrana com poros de maior diâmetro até a de menor diâmetro (b – seqüencial), obtidos com efluentes da ETE de Lins utilizados nos ensaios de desinfecção III e IV.....	97
Figura 5.7 -	SST em membranas com poros de vários diâmetros (a – não seqüencial) e com a passagem do mesmo volume de amostra na membrana com poros de maior diâmetro até a de menor diâmetro (b – seqüencial), obtidos com efluentes da ETE de Lins utilizados nos ensaios de desinfecção V, VI e VII.....	98
Figura 5.8 -	Resultados da inativação de coliformes totais, <i>E. coli</i> e <i>C. perfringens</i> obtidos nos ensaios de desinfecção 2, 3, 4 e 5 realizados com efluentes da ETE de Araraquara (L = 4 cm).....	107
Figura 5.9 -	Resultados da inativação de coliformes totais e <i>E. coli</i> obtidos nos ensaios de desinfecção 6, 7, 8 e 9 realizados com efluentes da ETE de Araraquara (L = 8 cm).....	108
Figura 5.10 -	Resultados da inativação de coliformes totais, <i>E. coli</i> e <i>C. perfringens</i> obtidos nos ensaios de desinfecção IV, V, VI e VII realizados com efluentes da ETE de Lins (L = 2 cm).....	109
Figura 5.11 -	Relação entre dose aplicada e recebida por volume em função da	

	absorvância obtida nos ensaios de desinfecção 2, 3, 4 e 5 realizados com efluentes da ETE de Araraquara (L = 4 cm).....	110
Figura 5.12 -	Relação entre dose aplicada e recebida por volume em função da absorvância obtida nos ensaios de desinfecção 6, 7, 8 e 9 realizados com efluentes da ETE de Araraquara (L = 8 cm).....	110
Figura 5.13 -	Relação entre dose aplicada e recebida por volume em função da absorvância obtida nos ensaios de desinfecção IV, V, VI e VII realizados com efluentes da ETE de Lins (L = 2 cm).....	111
Figura 5.14 -	Influência da espessura da lâmina líquida na inativação de coliformes totais e <i>E. coli</i> obtida nos ensaios realizados com efluentes da ETE de Araraquara (L = 4 cm - ensaios 2 a 5 e L = 8 cm - ensaios 6 a 9).....	112
Figura 5.15 -	SST em membranas com poros de vários diâmetros equivalentes (a - não seqüencial) e com a passagem do mesmo volume de amostra na membrana com poros de maior diâmetro até a de menor diâmetro (b - seqüencial), obtidos para o efluente da ETE de Lins utilizado no ensaio contínuo C.....	118
Figura A.1 -	Superfície de resposta fornecida pelo Programa STATISTICA utilizando-se os dados de radiometria obtidos com a lâmpada 1 ligada.....	186
Figura A.2 -	Superfície de resposta fornecida pelo Programa STATISTICA utilizando-se os dados de radiometria obtidos com a lâmpada 2 ligada.....	186
Figura A.3 -	Superfície de resposta fornecida pelo Programa STATISTICA utilizando-se os dados de radiometria obtidos com a lâmpada 3 ligada.....	187
Figura A.4 -	Superfície de resposta fornecida pelo Programa STATISTICA utilizando-se os dados de radiometria obtidos com as lâmpadas 1 e 2 ligadas.....	187
Figura A.5 -	Superfície de resposta fornecida pelo Programa STATISTICA utilizando-se os dados de radiometria obtidos com as lâmpadas 1 e 3 ligadas.....	188
Figura A.6 -	Superfície de resposta fornecida pelo Programa STATISTICA utilizando-se os dados de radiometria obtidos com as lâmpadas 1 e 4 ligadas.....	188

Figura A.7 -	Superfície de resposta fornecida pelo Programa STATISTICA utilizando-se os dados de radiometria obtidos com as lâmpadas 1 e 5 ligadas.....	189
Figura A.8 -	Superfície de resposta fornecida pelo Programa STATISTICA utilizando-se os dados de radiometria obtidos com as lâmpadas 1 e 6 ligadas.....	189
Figura A.9 -	Superfície de resposta fornecida pelo Programa STATISTICA utilizando-se os dados de radiometria obtidos com as lâmpadas 2 e 3 ligadas.....	190
Figura A.10 -	Superfície de resposta fornecida pelo Programa STATISTICA utilizando-se os dados de radiometria obtidos com as lâmpadas 2 e 4 ligadas.....	190
Figura A.11 -	Superfície de resposta fornecida pelo Programa STATISTICA utilizando-se os dados de radiometria obtidos com as lâmpadas 2 e 5 ligadas.....	191
Figura A.12 -	Superfície de resposta fornecida pelo Programa STATISTICA utilizando-se os dados de radiometria obtidos com as lâmpadas 3 e 4 ligadas.....	191
Figura A.13 -	Superfície de resposta fornecida pelo Programa STATISTICA utilizando-se os dados de radiometria obtidos com as lâmpadas 1, 2 e 3 ligadas.....	192
Figura A.14 -	Superfície de resposta fornecida pelo Programa STATISTICA utilizando-se os dados de radiometria obtidos com as lâmpadas 1, 2 e 4 ligadas.....	192
Figura A.15 -	Superfície de resposta fornecida pelo Programa STATISTICA utilizando-se os dados de radiometria obtidos com as lâmpadas 1, 2 e 5 ligadas.....	193
Figura A.16 -	Superfície de resposta fornecida pelo Programa STATISTICA utilizando-se os dados de radiometria obtidos com as lâmpadas 1, 2 e 6 ligadas.....	193
Figura A.17 -	Superfície de resposta fornecida pelo Programa STATISTICA utilizando-se os dados de radiometria obtidos com as lâmpadas 1, 3 e 4 ligadas.....	194
Figura A.18 -	Superfície de resposta fornecida pelo Programa STATISTICA utilizando-se os dados de radiometria obtidos com as lâmpadas 1, 3 e	

	5 ligadas.....	194
Figura A.19 -	Superfície de resposta fornecida pelo Programa STATISTICA utilizando-se os dados de radiometria obtidos com as lâmpadas 1, 3 e 6 ligadas.....	195
Figura A.20 -	Superfície de resposta fornecida pelo Programa STATISTICA utilizando-se os dados de radiometria obtidos com as lâmpadas 1, 4 e 5 ligadas.....	195
Figura A.21 -	Superfície de resposta fornecida pelo Programa STATISTICA utilizando-se os dados de radiometria obtidos com as lâmpadas 2, 3 e 4 ligadas.....	196
Figura A.22 -	Superfície de resposta fornecida pelo Programa STATISTICA utilizando-se os dados de radiometria obtidos com as lâmpadas 2, 3 e 5 ligadas.....	196
Figura A.23 -	Superfície de resposta fornecida pelo Programa STATISTICA utilizando-se os dados de radiometria obtidos com as lâmpadas 1, 2, 3 e 4 ligadas.....	197
Figura A.24 -	Superfície de resposta fornecida pelo Programa STATISTICA utilizando-se os dados de radiometria obtidos com as lâmpadas 1, 2, 3 e 5 ligadas.....	197
Figura A.25 -	Superfície de resposta fornecida pelo Programa STATISTICA utilizando-se os dados de radiometria obtidos com as lâmpadas 1, 2, 3 e 6 ligadas.....	198
Figura A.26 -	Superfície de resposta fornecida pelo Programa STATISTICA utilizando-se os dados de radiometria obtidos com as lâmpadas 1, 2, 4 e 5 ligadas.....	198
Figura A.27 -	Superfície de resposta fornecida pelo Programa STATISTICA utilizando-se os dados de radiometria obtidos com as lâmpadas 1, 2, 4 e 6 ligadas.....	199
Figura A.28 -	Superfície de resposta fornecida pelo Programa STATISTICA utilizando-se os dados de radiometria obtidos com as lâmpadas 1, 2, 5 e 6 ligadas.....	199
Figura A.29 -	Superfície de resposta fornecida pelo Programa STATISTICA utilizando-se os dados de radiometria obtidos com as lâmpadas 1, 3, 4 e 5 ligadas.....	200
Figura A.30 -	Superfície de resposta fornecida pelo Programa STATISTICA	

	utilizando-se os dados de radiometria obtidos com as lâmpadas 1, 3, 4 e 6 ligadas.....	200
Figura A.31 -	Superfície de resposta fornecida pelo Programa STATISTICA utilizando-se os dados de radiometria obtidos com as lâmpadas 2, 3, 4 e 5 ligadas.....	201
Figura A.32 -	Superfície de resposta fornecida pelo Programa STATISTICA utilizando-se os dados de radiometria obtidos com as lâmpadas 1, 2, 3, 4 e 5 ligadas.....	201
Figura A.33 -	Superfície de resposta fornecida pelo Programa STATISTICA utilizando-se os dados de radiometria obtidos com as lâmpadas 1, 2, 3, 4 e 6 ligadas.....	202
Figura A.34 -	Superfície de resposta fornecida pelo Programa STATISTICA utilizando-se os dados de radiometria obtidos com as lâmpadas 1, 2, 3, 5 e 6 ligadas.....	202
Figura A.35 -	Superfície de resposta fornecida pelo Programa STATISTICA utilizando-se os dados de radiometria obtidos com as lâmpadas 1, 2, 3, 4, 5 e 6 ligadas.....	203
Figura B.1 -	Comportamento da absorvância de 200 a 400 nm para amostra bruta e filtrada do efluente da ETE de Araraquara utilizado no ensaio 5 de desinfecção em batelada.....	217
Figura B.2 -	Comportamento da absorvância de 200 a 400 nm para amostra bruta e filtrada do efluente da ETE de Araraquara utilizado no ensaio 6 de desinfecção em batelada.....	217
Figura B.3 -	Comportamento da absorvância de 200 a 400 nm para amostra bruta e filtrada do efluente da ETE de Araraquara utilizado no ensaio 7 de desinfecção em batelada.....	218
Figura B.4 -	Comportamento da absorvância de 200 a 400 nm para amostra bruta e filtrada do efluente da ETE de Araraquara utilizado no ensaio 8 de desinfecção em batelada.....	218
Figura B.5 -	Comportamento da absorvância de 200 a 400 nm para amostra bruta e filtrada do efluente da ETE de Lins utilizado no ensaio V de desinfecção em batelada.....	219
Figura B.6 -	Comportamento da absorvância de 200 a 400 nm para amostra bruta e filtrada do efluente da ETE de Lins utilizado no ensaio VI de desinfecção em batelada.....	219

Figura B.7 -	Comportamento da absorvância de 200 a 400 nm para amostra bruta e filtrada do efluente da ETE de Lins utilizado no ensaio VII de desinfecção em batelada.....	220
Figura B.8 -	Relação dos SST na inativação de coliformes totais, <i>E. coli</i> e <i>C. perfringens</i> obtida nos ensaios de desinfecção 2, 3, 4 e 5 realizados com efluentes da ETE de Araraquara (L = 4 cm).....	220
Figura B.9 -	Relação da DQO <sub>bruta</sub> na inativação de coliformes totais, <i>E. coli</i> e <i>C. perfringens</i> obtida nos ensaios de desinfecção 2, 3, 4 e 5 realizados com efluentes da ETE de Araraquara (L = 4 cm).....	221
Figura B.10 -	Relação da A <sub>bruta</sub> na inativação de coliformes totais, <i>E. coli</i> e <i>C. perfringens</i> obtida nos ensaios de desinfecção 2, 3, 4 e 5 realizados com efluentes da ETE de Araraquara (L = 4 cm).....	221
Figura B.11 -	Relação dos SST na inativação de coliformes totais e <i>E. coli</i> obtida nos ensaios de desinfecção 6, 7, 8 e 9 realizados com efluentes da ETE de Araraquara (L = 8 cm).....	222
Figura B.12 -	Relação da DQO <sub>bruta</sub> na inativação de coliformes totais e <i>E. coli</i> obtida nos ensaios de desinfecção 6, 7, 8 e 9 realizados com efluentes da ETE de Araraquara (L = 8 cm).....	222
Figura B.13 -	Relação da A <sub>bruta</sub> na inativação de coliformes totais e <i>E. coli</i> obtida nos ensaios de desinfecção 6, 7, 8 e 9 realizados com efluentes da ETE de Araraquara (L = 8 cm).....	223
Figura B.14 -	Relação dos SST na inativação de coliformes totais, <i>E. coli</i> e <i>C. perfringens</i> obtida nos ensaios de desinfecção IV, V, VI e VII realizados com efluentes da ETE de Lins (L = 2 cm).....	223
Figura B.15 -	Relação da DQO <sub>bruta</sub> na inativação de coliformes totais, <i>E. coli</i> e <i>C. perfringens</i> obtida nos ensaios de desinfecção IV, V, VI e VII realizados com efluentes da ETE de Lins (L = 2 cm).....	224
Figura B.16 -	Relação da A <sub>bruta</sub> na inativação de coliformes totais, <i>E. coli</i> e <i>C. perfringens</i> obtida nos ensaios de desinfecção IV, V, VI e VII realizados com efluentes da ETE de Lins (L = 2 cm).....	224
Figura B.17 -	Fração sobrevivente de coliformes totais e <i>E. coli</i> obtida no ensaio 1 de desinfecção realizado com efluente da ETE de Araraquara.....	225
Figura B.18 -	Fração sobrevivente de coliformes totais, <i>E. coli</i> e <i>C. perfringens</i> obtida nos ensaios de desinfecção II e III realizados com efluentes da ETE de Lins.....	225



Figura B.19 -	Ajuste dos resultados da inativação de CT, EC e CP obtidos no ensaio 2 realizado com efluentes da ETE de Araraquara pelo modelo de Hom, em que se consideraram os ensaios 2 a 5.....	226
Figura B.20 -	Ajuste dos resultados da inativação de CT, EC e CP obtidos no ensaio 3 realizado com efluentes da ETE de Araraquara pelo modelo de Hom, em que se consideraram os ensaios 2 a 5.....	226
Figura B.21 -	Ajuste dos resultados da inativação de CT, EC e CP obtidos no ensaio 4 realizado com efluentes da ETE de Araraquara pelo modelo de Hom, em que se consideraram os ensaios 2 a 5.....	227
Figura B.22 -	Ajuste dos resultados da inativação de CT, EC e CP obtidos no ensaio 5 realizado com efluentes da ETE de Araraquara pelo modelo de Hom, em que se consideraram os ensaios 2 a 5.....	227
Figura B.23 -	Ajuste dos resultados da inativação de CT e EC obtidos no ensaio 6 realizado com efluentes da ETE de Araraquara pelo modelo de Hom, em que se consideraram os ensaios 6 a 9.....	228
Figura B.24 -	Ajuste dos resultados da inativação de CT e EC obtidos no ensaio 7 realizado com efluentes da ETE de Araraquara pelo modelo de Hom, em que se consideraram os ensaios 6 a 9.....	228
Figura B.25 -	Ajuste dos resultados da inativação de CT e EC obtidos no ensaio 8 realizado com efluentes da ETE de Araraquara pelo modelo de Hom, em que se consideraram os ensaios 6 a 9.....	229
Figura B.26 -	Ajuste dos resultados da inativação de CT e EC obtidos no ensaio 9 realizado com efluentes da ETE de Araraquara pelo modelo de Hom, em que se consideraram os ensaios 6 a 9.....	229
Figura B.27 -	Ajuste dos resultados da inativação de CT e EC obtidos no ensaio 2 realizado com efluentes da ETE de Araraquara pelo modelo de Hom, em que se consideraram os ensaios 2 a 9.....	230
Figura B.28 -	Ajuste dos resultados da inativação de CT e EC obtidos no ensaio 3 realizado com efluentes da ETE de Araraquara pelo modelo de Hom, em que se consideraram os ensaios 2 a 9.....	230
Figura B.29 -	Ajuste dos resultados da inativação de CT e EC obtidos no ensaio 4 realizado com efluentes da ETE de Araraquara pelo modelo de Hom, em que se consideraram os ensaios 2 a 9.....	231
Figura B.30 -	Ajuste dos resultados da inativação de CT e EC obtidos no ensaio 5 realizado com efluentes da ETE de Araraquara pelo modelo de Hom,	

	em que se consideraram os ensaios 2 a 9.....	231
Figura B.31 -	Ajuste dos resultados da inativação de CT e EC obtidos no ensaio 6 realizado com efluentes da ETE de Araraquara pelo modelo de Hom, em que se consideraram os ensaios 2 a 9.....	232
Figura B.32 -	Ajuste dos resultados da inativação de CT e EC obtidos no ensaio 7 realizado com efluentes da ETE de Araraquara pelo modelo de Hom, em que se consideraram os ensaios 2 a 9.....	232
Figura B.33 -	Ajuste dos resultados da inativação de CT e EC obtidos no ensaio 8 realizado com efluentes da ETE de Araraquara pelo modelo de Hom, em que se consideraram os ensaios 2 a 9.....	233
Figura B.34 -	Ajuste dos resultados da inativação de CT e EC obtidos no ensaio 9 realizado com efluentes da ETE de Araraquara pelo modelo de Hom, em que se consideraram os ensaios 2 a 9.....	233
Figura B.35 -	Ajuste dos resultados da inativação de CT, EC e CP obtidos no ensaio IV realizado com efluentes da ETE de Lins pelo modelo de Hom, em que se consideraram os ensaios IV a VII.....	234
Figura B.36 -	Ajuste dos resultados da inativação de CT, EC e CP obtidos no ensaio V realizado com efluentes da ETE de Lins pelo modelo de Hom, em que se consideraram os ensaios IV a VII.....	234
Figura B.37 -	Ajuste dos resultados da inativação de CT, EC e CP obtidos no ensaio VI realizado com efluentes da ETE de Lins pelo modelo de Hom, em que se consideraram os ensaios IV a VII.....	235
Figura B.38 -	Ajuste dos resultados da inativação de CT, EC e CP obtidos no ensaio VII realizado com efluentes da ETE de Lins pelo modelo de Hom, em que se consideraram os ensaios IV a VII.....	235
Figura C.1 -	Comportamento da absorvância de 200 a 400 nm para amostra bruta do efluente da ETE de Lins utilizado no ensaio contínuo C.....	239

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 -	Características das águas residuárias e seus efeitos na desinfecção com radiação ultravioleta.....	16
Tabela 3.2-	Microrganismos indicadores normalmente utilizados no monitoramento da qualidade da água para vários usos.....	38
Tabela 3.3 -	Principais microrganismos propostos para utilização como indicadores de patogênicos.....	39
Tabela 3.4 -	Tempo de sobrevivência de microrganismos indicadores de patogênicos e patogênicos excretados em água doce e esgoto à temperatura de 20 a 30 °C.....	40
Tabela 3.5 -	Valores do produto da concentração com o tempo de contato para inativação de vários microrganismos por cloro livre e cloraminas.....	42
Tabela 3.6 -	Valores do produto da concentração com o tempo (mg.min/L) para inativação de 99 % de alguns microrganismos por diferentes desinfetantes à temperatura de 5 °C.....	44
Tabela 3.7 -	Resultados do produto da concentração com o tempo para inativação de 99 % de vários microrganismos por ozônio.....	45
Tabela 3.8 -	Comparação da resistência de diferentes microrganismos pela inativação com ozônio (99 % de inativação).....	46
Tabela 3.9 -	Faixa de energia ultravioleta (254 nm) necessária para inativar vários microrganismos.....	47
Tabela 3.10 -	Resumo dos resultados de mutagenicidade (Teste de Ames), genotoxicidade (Teste de <i>Tradescantia</i> e <i>Allium cepa</i> ) e toxicidade (ensaio bioluminescente - fotobactéria <i>Vibrio fischeri</i> ) que foram obtidos para os efluentes tratados com lodos ativados antes e após os vários processos de desinfecção.....	53
Tabela 4.1 -	Coordenadas dos 25 pontos no reator I que foram utilizados para leitura da intensidade pontual de radiação ultravioleta nos ensaios de	

	radiometria.....	65
Tabela 4.2 -	Programa dos ensaios de radiometria para determinação da intensidade pontual de radiação ultravioleta nos 25 pontos do reator I para os números de lâmpadas ligadas adotados.....	66
Tabela 4.3 -	Ensaio para monitoramento da potência radiante da lâmpada de baixa pressão de vapor de mercúrio durante sua vida útil.....	67
Tabela 4.4 -	Programa dos ensaios que foram realizados para determinação de $I_0$ por actinometria.....	69
Tabela 5.1 -	Valores médios de $I_0$ , considerando a área do reator I abrangida pelo sensor do radiômetro ( $I_{0Rm}$ ) e a área total do reator I ( $I_{0Tm}$ ), ambos obtidos por radiometria.....	80
Tabela 5.2 -	Potência radiante e percentagem de emissão de radiação ultravioleta em 254 nm em relação à potência nominal de alguns tempos de funcionamento obtidos durante o monitoramento da lâmpada de baixa pressão de vapor de mercúrio.....	83
Tabela 5.3 -	Valores da taxa de formação de $Fe^{2+}$ na solução actinométrica irradiada em 254 nm que foram obtidos nos ensaios de actinometria para determinação de $I_0$ .....	85
Tabela 5.4 -	Valores da dose de radiação ultravioleta em 254 nm incidente na superfície irradiada no interior da câmara de desinfecção que foram obtidos nos ensaios de actinometria para determinação de $I_0$ .....	86
Tabela 5.5 -	Valores da intensidade média de radiação ultravioleta incidente na superfície irradiada no interior da câmara de desinfecção obtidos nos ensaios de actinometria.....	87
Tabela 5.6 -	Valores médios da intensidade média de radiação ultravioleta incidente na superfície irradiada obtidos por actinometria e por radiometria (considerando a área do reator I abrangida pelo sensor do radiômetro ( $I_{0Rm}$ ) e a área total do reator I ( $I_{0Tm}$ )).....	87
Tabela 5.7 -	Valores da potência radiante, intensidade emitida de radiação ultravioleta, intensidade média de radiação ultravioleta incidente na superfície irradiada e perda de intensidade emitida determinados para cada número de lâmpadas ligadas.....	88
Tabela 5.8 -	Principais características dos ensaios de desinfecção em batelada realizados com efluentes da ETE de Araraquara.....	89
Tabela 5.9 -	Principais características dos ensaios de desinfecção em batelada	

	realizados com efluentes da ETE de Lins.....	90
Tabela 5.10 -	Caracterização físico-química dos efluentes da ETE de Araraquara utilizados nos ensaios de desinfecção em batelada.....	91
Tabela 5.11 -	Caracterização físico-química dos efluentes da ETE de Lins utilizados nos ensaios de desinfecção em batelada.....	91
Tabela 5.12 -	Caracterização microbiológica dos efluentes da ETE de Araraquara utilizados nos ensaios de desinfecção em batelada.....	92
Tabela 5.13 -	Caracterização microbiológica dos efluentes da ETE de Lins utilizados nos ensaios de desinfecção em batelada.....	92
Tabela 5.14 -	SST em membranas com poros de vários diâmetros equivalentes (filtração não seqüencial) e ST obtidos para efluentes da ETE de Araraquara utilizados nos ensaios de desinfecção em batelada.....	93
Tabela 5.15 -	SST em membranas com poros de vários diâmetros equivalentes (filtração não seqüencial) e ST obtidos para efluentes da ETE de Lins utilizados nos ensaios de desinfecção em batelada.....	94
Tabela 5.16 -	SST com a passagem do mesmo volume de amostra na membrana com poros de maior diâmetro até a de menor diâmetro obtidos para os efluentes da ETE de Araraquara utilizados nos ensaios de desinfecção em batelada (filtração seqüencial).....	94
Tabela 5.17 -	SST com a passagem do mesmo volume de amostra na membrana com poros de maior diâmetro até a de menor diâmetro obtidos para os efluentes da ETE de Lins utilizados nos ensaios de desinfecção em batelada (filtração seqüencial).....	95
Tabela 5.18 -	Valores da concentração sobrevivente de coliformes totais, <i>E. coli</i> , colifagos e <i>C. perfringens</i> obtidos nos ensaios de desinfecção em batelada realizados com efluentes da ETE de Araraquara e lâmina líquida de 4 cm.....	100
Tabela 5.19 -	Valores da concentração sobrevivente de coliformes totais e <i>E. coli</i> obtidos nos ensaios de desinfecção em batelada realizados com efluentes da ETE de Araraquara e lâmina líquida de 8 cm.....	101
Tabela 5.20 -	Valores da concentração sobrevivente de coliformes totais, <i>E. coli</i> , colifagos e <i>C. perfringens</i> obtidos nos ensaios de desinfecção em batelada realizados com efluentes da ETE de Lins e lâmina líquida de 2 cm.....	102
Tabela 5.21 -	Valores das doses de radiação ultravioleta aplicada e recebida obtidos	

	nos ensaios de desinfecção em batelada realizados com efluentes da ETE de Araraquara e lâmina líquida de 4 cm.....	103
Tabela 5.22 -	Valores das doses de radiação ultravioleta aplicada e recebida obtidos nos ensaios de desinfecção em batelada realizados com efluentes da ETE de Araraquara e lâmina líquida de 8 cm.....	104
Tabela 5.23 -	Valores das doses de radiação ultravioleta aplicada e recebida obtidos nos ensaios de desinfecção em batelada realizados com efluentes da ETE de Lins e lâmina líquida de 2 cm.....	105
Tabela 5.24 -	Valores dos coeficientes do modelo de Hom obtidos para coliformes totais, <i>E. coli</i> e <i>C. perfringens</i> em ensaios de desinfecção em batelada realizados com efluentes das ETEs de Araraquara e de Lins.....	114
Tabela 5.25 -	Caracterização físico-química dos efluentes da ETE de Lins utilizados nos ensaios de desinfecção em sistema contínuo.....	116
Tabela 5.26 -	Caracterização microbiológica dos efluentes da ETE de Lins utilizados nos ensaios de desinfecção em sistema contínuo.....	117
Tabela 5.27 -	SST em membranas com poros de vários diâmetros equivalentes (a) (filtração não seqüencial) e com a passagem do mesmo volume de amostra na membrana com poros de maior diâmetro até a de menor diâmetro (b) (filtração seqüencial), obtidos para o efluente da ETE de Lins utilizado no ensaio contínuo C.....	117
Tabela 5.28 -	Valores da concentração sobrevivente de coliformes totais, <i>E. coli</i> , colifagos e <i>C. perfringens</i> obtidos nos ensaios de desinfecção em sistema contínuo.....	119
Tabela 5.29 -	Valores estimados das doses aplicadas de radiação ultravioleta nos ensaios de desinfecção em sistema contínuo.....	119
Tabela A.1 -	Intensidades pontuais de radiação ultravioleta obtidas nos 25 pontos do reator I com radiômetro para a lâmpada 1 ligada.....	138
Tabela A.2 -	Intensidades pontuais de radiação ultravioleta obtidas nos 25 pontos do reator I com radiômetro para a lâmpada 2 ligada.....	139
Tabela A.3 -	Intensidades pontuais de radiação ultravioleta obtidas nos 25 pontos do reator I com radiômetro para a lâmpada 3 ligada.....	140
Tabela A.4 -	Intensidades pontuais de radiação ultravioleta obtidas nos 25 pontos do reator I com radiômetro para as lâmpadas 1 e 2 ligadas.....	141
Tabela A.5 -	Intensidades pontuais de radiação ultravioleta obtidas nos 25 pontos do reator I com radiômetro para as lâmpadas 1 e 3 ligadas.....	142

Tabela A.6 -	Intensidades pontuais de radiação ultravioleta obtidas nos 25 pontos do reator I com radiômetro para as lâmpadas 1 e 4 ligadas.....	143
Tabela A.7 -	Intensidades pontuais de radiação ultravioleta obtidas nos 25 pontos do reator I com radiômetro para as lâmpadas 1 e 5 ligadas.....	144
Tabela A.8 -	Intensidades pontuais de radiação ultravioleta obtidas nos 25 pontos do reator I com radiômetro para as lâmpadas 1 e 6 ligadas.....	145
Tabela A.9 -	Intensidades pontuais de radiação ultravioleta obtidas nos 25 pontos do reator I com radiômetro para as lâmpadas 2 e 3 ligadas.....	146
Tabela A.10 -	Intensidades pontuais de radiação ultravioleta obtidas nos 25 pontos do reator I com radiômetro para as lâmpadas 2 e 4 ligadas.....	147
Tabela A.11 -	Intensidades pontuais de radiação ultravioleta obtidas nos 25 pontos do reator I com radiômetro para as lâmpadas 2 e 5 ligadas.....	148
Tabela A.12 -	Intensidades pontuais de radiação ultravioleta obtidas nos 25 pontos do reator I com radiômetro para as lâmpadas 3 e 4 ligadas.....	149
Tabela A.13 -	Intensidades pontuais de radiação ultravioleta obtidas nos 25 pontos do reator I com radiômetro para as lâmpadas 1, 2 e 3 ligadas.....	150
Tabela A.14 -	Intensidades pontuais de radiação ultravioleta obtidas nos 25 pontos do reator I com radiômetro para as lâmpadas 1, 2 e 4 ligadas.....	151
Tabela A.15 -	Intensidades pontuais de radiação ultravioleta obtidas nos 25 pontos do reator I com radiômetro para as lâmpadas 1, 2 e 5 ligadas.....	152
Tabela A.16 -	Intensidades pontuais de radiação ultravioleta obtidas nos 25 pontos do reator I com radiômetro para as lâmpadas 1, 2 e 6 ligadas.....	153
Tabela A.17 -	Intensidades pontuais de radiação ultravioleta obtidas nos 25 pontos do reator I com radiômetro para as lâmpadas 1, 3 e 4 ligadas.....	154
Tabela A.18 -	Intensidades pontuais de radiação ultravioleta obtidas nos 25 pontos do reator I com radiômetro para as lâmpadas 1, 3 e 5 ligadas.....	155
Tabela A.19 -	Intensidades pontuais de radiação ultravioleta obtidas nos 25 pontos do reator I com radiômetro para as lâmpadas 1, 3 e 6 ligadas.....	156
Tabela A.20 -	Intensidades pontuais de radiação ultravioleta obtidas nos 25 pontos do reator I com radiômetro para as lâmpadas 1, 4 e 5 ligadas.....	157
Tabela A.21 -	Intensidades pontuais de radiação ultravioleta obtidas nos 25 pontos do reator I com radiômetro para as lâmpadas 2, 3 e 4 ligadas.....	158
Tabela A.22 -	Intensidades pontuais de radiação ultravioleta obtidas nos 25 pontos do reator I com radiômetro para as lâmpadas 2, 3 e 5 ligadas.....	159
Tabela A.23 -	Intensidades pontuais de radiação ultravioleta obtidas nos 25 pontos	

	do reator I com radiômetro para as lâmpadas 1, 2, 3 e 4 ligadas.....	160
Tabela A.24 -	Intensidades pontuais de radiação ultravioleta obtidas nos 25 pontos do reator I com radiômetro para as lâmpadas 1, 2, 3 e 5 ligadas.....	161
Tabela A.25 -	Intensidades pontuais de radiação ultravioleta obtidas nos 25 pontos do reator I com radiômetro para as lâmpadas 1, 2, 3 e 6 ligadas.....	162
Tabela A.26 -	Intensidades pontuais de radiação ultravioleta obtidas nos 25 pontos do reator I com radiômetro para as lâmpadas 1, 2, 4 e 5 ligadas.....	163
Tabela A.27 -	Intensidades pontuais de radiação ultravioleta obtidas nos 25 pontos do reator I com radiômetro para as lâmpadas 1, 2, 4 e 6 ligadas.....	164
Tabela A.28 -	Intensidades pontuais de radiação ultravioleta obtidas nos 25 pontos do reator I com radiômetro para as lâmpadas 1, 2, 5 e 6 ligadas.....	165
Tabela A.29 -	Intensidades pontuais de radiação ultravioleta obtidas nos 25 pontos do reator I com radiômetro para as lâmpadas 1, 3, 4 e 5 ligadas.....	166
Tabela A.30 -	Intensidades pontuais de radiação ultravioleta obtidas nos 25 pontos do reator I com radiômetro para as lâmpadas 1, 3, 4 e 6 ligadas.....	167
Tabela A.31 -	Intensidades pontuais de radiação ultravioleta obtidas nos 25 pontos do reator I com radiômetro para as lâmpadas 2, 3, 4 e 5 ligadas.....	168
Tabela A.32 -	Intensidades pontuais de radiação ultravioleta obtidas nos 25 pontos do reator I com radiômetro para as lâmpadas 1, 2, 3, 4 e 5 ligadas.....	169
Tabela A.33 -	Intensidades pontuais de radiação ultravioleta obtidas nos 25 pontos do reator I com radiômetro para as lâmpadas 1, 2, 3, 4 e 6 ligadas.....	170
Tabela A.34 -	Intensidades pontuais de radiação ultravioleta obtidas nos 25 pontos do reator I com radiômetro para as lâmpadas 1, 2, 3, 5 e 6 ligadas.....	171
Tabela A.35 -	Intensidades pontuais de radiação ultravioleta obtidas nos 25 pontos do reator I com radiômetro para as lâmpadas 1, 2, 3, 4, 5 e 6 ligadas....	172
Tabela A.36 -	Parâmetros do modelo quadrático obtidos para 1, 5 e 6 lâmpadas ligadas com o Programa STATISTICA da Statsoft de 1993.....	173
Tabela A.37 -	Parâmetros do modelo quadrático obtidos para 2 lâmpadas ligadas com o Programa STATISTICA da Statsoft de 1993.....	174
Tabela A.38 -	Parâmetros do modelo quadrático obtidos para 3 lâmpadas ligadas com o Programa STATISTICA da Statsoft de 1993.....	175
Tabela A.39 -	Parâmetros do modelo quadrático obtidos para 4 lâmpadas ligadas com o Programa STATISTICA da Statsoft de 1993.....	176
Tabela A.40 -	Intensidade média de radiação ultravioleta incidente na superfície irradiada no interior da câmara de desinfecção, considerando a área do	



	reator I abrangida pelo sensor do radiômetro( $I_{OR}$ ) e a área total do reator I ( $I_{OT}$ ), ambas obtidas por radiometria.....	177
Tabela A.41 -	Valores determinados para construção da curva de calibração de $Fe^{2+}$ que foi utilizada nos ensaios de actinometria.....	178
Tabela A.42 -	Monitoramento da potência radiante de uma lâmpada de baixa pressão de vapor de mercúrio durante sua vida útil por actinometria.....	179
Tabela A.43 -	Taxa de formação de $Fe^{2+}$ , dose e intensidade média de radiação UV na superfície obtidos por actinometria para 1 e 2 lâmpadas.....	183
Tabela A.44 -	Taxa de formação de $Fe^{2+}$ , dose e intensidade média de radiação UV na superfície obtidos por actinometria para 3 e 4 lâmpadas.....	184
Tabela A.45 -	Taxa de formação de $Fe^{2+}$ , dose e intensidade média de radiação UV na superfície obtidos por actinometria para 5 e 6 lâmpadas.....	185
Tabela B.1 -	Absorvâncias lidas na faixa de comprimento de onda compreendida de 200 a 400 nm, para amostras brutas e filtradas dos efluentes da ETE de Araraquara utilizados nos ensaios 5 e 6 de desinfecção em batelada.....	205
Tabela B.2 -	Absorvâncias lidas na faixa de comprimento de onda compreendida de 200 a 400 nm, para amostras brutas e filtradas dos efluentes da ETE de Araraquara utilizados nos ensaios 7 e 8 de desinfecção em batelada.....	206
Tabela B.3 -	Absorvâncias lidas na faixa de comprimento de onda compreendida de 200 a 400 nm, para amostras brutas e filtradas dos efluentes da ETE de Lins utilizados nos ensaios V, VI e VII de desinfecção em batelada.....	207
Tabela B.4 -	Valores da concentração inicial e sobrevivente, do logaritmo da fração sobrevivente e da percentagem de eficiência de inativação obtidos para coliformes totais nos ensaios de desinfecção em batelada realizados com efluentes da ETE de Araraquara e lâmina líquida de 4 cm.....	208
Tabela B.5 -	Valores da concentração inicial e sobrevivente, do logaritmo da fração sobrevivente e da percentagem de eficiência de inativação obtidos para <i>E. coli</i> nos ensaios de desinfecção em batelada realizados com efluentes da ETE de Araraquara e lâmina líquida de 4 cm.....	209
Tabela B.6 -	Valores da concentração inicial e sobrevivente, do logaritmo da fração sobrevivente e da percentagem de eficiência de inativação obtidos para <i>C. perfringens</i> nos ensaios de desinfecção em batelada realizados com efluentes da ETE de Araraquara e lâmina líquida de 4 cm.....	210
Tabela B.7 -	Valores da concentração inicial e sobrevivente, do logaritmo da fração sobrevivente e da percentagem de eficiência de inativação obtidos para	

	coliformes totais nos ensaios de desinfecção em batelada realizados com efluentes da ETE de Araraquara e lâmina líquida de 8 cm.....	211
Tabela B.8 -	Valores da concentração inicial e sobrevivente, do logaritmo da fração sobrevivente e da percentagem de eficiência de inativação obtidos para <i>E. coli</i> nos ensaios de desinfecção em batelada realizados com efluentes da ETE de Araraquara e lâmina líquida de 8 cm.....	212
Tabela B.9 -	Valores da concentração inicial e sobrevivente, do logaritmo da fração sobrevivente e da percentagem de eficiência de inativação obtidos para coliformes totais nos ensaios de desinfecção em batelada realizados com efluentes da ETE de Lins e lâmina líquida de 2 cm.....	213
Tabela B.10 -	Valores da concentração inicial e sobrevivente, do logaritmo da fração sobrevivente e da percentagem de eficiência de inativação obtidos para <i>E. coli</i> nos ensaios de desinfecção em batelada realizados com efluentes da ETE de Lins e lâmina líquida de 2 cm.....	214
Tabela B.11 -	Valores da concentração inicial e sobrevivente, do logaritmo da fração sobrevivente e da percentagem de eficiência de inativação obtidos para <i>C. perfringens</i> nos ensaios de desinfecção em batelada realizados com efluentes da ETE de Lins e lâmina líquida de 2 cm.....	215
Tabela B.12 -	Valores da concentração inicial e sobrevivente, do logaritmo da fração sobrevivente e da percentagem de eficiência de inativação obtidos para colifagos nos ensaios de desinfecção em batelada realizados com efluentes das ETEs de Araraquara e de Lins (somente para os ensaios que apresentaram concentração sobrevivente nos efluentes desinfetados).....	216
Tabela C.1 -	Absorvâncias lidas na faixa de comprimento de onda compreendida de 200 a 400 nm para amostra bruta do efluente da ETE de Lins utilizado no ensaio contínuo C.....	237
Tabela C.2 -	Valores da concentração inicial e sobrevivente, do logaritmo da fração sobrevivente e da percentagem de eficiência de inativação obtidos para coliformes totais nos ensaios de desinfecção em sistema contínuo.....	237
Tabela C.3 -	Valores da concentração inicial e sobrevivente, do logaritmo da fração sobrevivente e da percentagem de eficiência de inativação obtidos para <i>E. coli</i> nos ensaios de desinfecção em sistema contínuo.....	238
Tabela C.4 -	Valores da concentração inicial e sobrevivente, do logaritmo da fração sobrevivente e da percentagem de eficiência de inativação obtidos para	

	colifagos nos ensaios de desinfecção em sistema contínuo.....	238
Tabela C.5 -	Valores da concentração inicial e sobrevivente, do logaritmo da fração sobrevivente e da percentagem de eficiência de inativação obtidos para <i>C. perfringens</i> no ensaio contínuo C.....	239

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CETESB	- Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CRHEA	Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada
EESC	- Escola de Engenharia de São Carlos
ETE	- Estação de Tratamento de Esgoto
IBGE	- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICB	- Instituto de Ciências Biológicas
LS	- Laboratório de Saneamento
LTR	Laboratório de Tratamento de Resíduos Orgânicos
MMQ	- Método dos mínimos quadrados
NMP	- Número mais provável
SHS	- Departamento de Hidráulica e Saneamento
UFP	- unidades formadoras de placas, utilizada para colifagos
USP	- Universidade de São Paulo

## LISTA DE SÍMBOLOS

a, b, c, d,	-	parâmetros da equação geral da superfície
e, f	-	$aX^2 + bY^2 + cXY + dX + eY + f$ (modelo quadrático) (adimensionais)
A	-	absorvância (adimensional)
$A_{bruta}$	-	absorvância da amostra bruta (adimensional)
$A_{filtrada}$	-	absorvância da amostra filtrada (filtrada em membrana de poros com abertura de abertura 1,2 $\mu\text{m}$ ) (adimensional)
C	-	colifagos (UFP/100 mL)
ce	-	coeficiente de extinção (base e) (1/cm)
CP	-	<i>Clostridium perfringens</i> (NMP/100 mL)
CT	-	coliformes totais (NMP/100 mL)
$C_{Fe^{2+}}$	-	concentração de $Fe^{2+}$ na solução de ferrioxalato de potássio irradiada com ultravioleta (corrigida) (mg/L)
$C_{medida}$	-	concentração de $Fe^{2+}$ obtida pela curva de calibração de determinação espectrofotométrica de $Fe^{2+}$ (medida) (mg/L)
D	-	dose de radiação ultravioleta em 254 nm incidente na superfície irradiada ( $\text{mWs/cm}^3$ )
$D_1, D_2, D_3$	-	dose de radiação ultravioleta em 254 nm incidente na superfície irradiada nos ensaios 1, 2 e 3, respectivamente ( $\text{mWs/cm}^3$ )
$D_a$	-	dose aplicada de radiação ultravioleta ( $\text{mWs/cm}^2$ )
$D_{av}$	-	dose aplicada por volume de radiação ultravioleta ( $\text{Wh/m}^3$ )
$D_r$	-	dose recebida de radiação ultravioleta ( $\text{mWs/cm}^2$ )
$D_{rv}$	-	dose recebida por volume de radiação ultravioleta ( $\text{Wh/m}^3$ )
$DQO_{bruta}$	-	demanda química de oxigênio da amostra bruta (mg/L)

$DQO_{\text{filtrada}}$	- demanda química de oxigênio da amostra filtrada (filtrada em membrana de poros com abertura de abertura 1,2 $\mu\text{m}$ ) (mg/L)
E	- percentagem de eficiência de remoção de microrganismos (%)
EC	- <i>Escherichia coli</i> (NMP/100 mL)
$[\text{Fe}^{2+}]_A$	- concentração molar de $\text{Fe}^{2+}$ antes da irradiação (mol/L)
$[\text{Fe}^{2+}]_D$	- concentração molar de $\text{Fe}^{2+}$ depois da irradiação (mol/L)
I	- intensidade média de radiação ultravioleta na profundidade L ( $\text{mW}/\text{cm}^2$ )
$I_0$	- intensidade média de radiação ultravioleta em 254 nm incidente na superfície irradiada no interior da câmara de desinfecção ( $\text{mW}/\text{cm}^2$ )
$I_{01}, I_{02}, I_{03}$	- intensidade média de radiação ultravioleta incidente na superfície irradiada nos ensaios 1, 2 e 3, respectivamente ( $\text{mW}/\text{cm}^2$ )
$I_{0m}$	- valor médio da intensidade média de radiação ultravioleta incidente na superfície irradiada para cada número de lâmpadas ligadas utilizado (considerando todos valores) ( $\text{mW}/\text{cm}^2$ )
$I_{0\text{média}}$	- valor médio da intensidade média de radiação ultravioleta incidente na superfície irradiada para cada tempo utilizado ( $\text{mW}/\text{cm}^2$ )
$I_{0R}$	- intensidade média de radiação ultravioleta incidente na superfície irradiada, considerando a área do reator I abrangida pelo sensor do radiômetro ( $\text{mW}/\text{cm}^2$ )
$I_{0Rm}$	- valor médio da intensidade média de radiação ultravioleta incidente na superfície irradiada, considerando a área do reator I abrangida pelo sensor do radiômetro ( $\text{mW}/\text{cm}^2$ )
$I_{0T}$	- intensidade média de radiação ultravioleta incidente na superfície irradiada, considerando a área total do reator I ( $\text{mW}/\text{cm}^2$ )
$I_{0Tm}$	- valor médio da intensidade média de radiação ultravioleta incidente na superfície irradiada, considerando a área total do reator I ( $\text{mW}/\text{cm}^2$ )
$I_m$	- intensidade média de radiação ultravioleta na lâmina líquida de espessura L ( $\text{mW}/\text{cm}^2$ )
$I_p$	- intensidade pontual de radiação ultravioleta ( $\text{mW}/\text{cm}^2$ )

$I_{pm}$	- intensidade pontual média de radiação ultravioleta ( $mW/cm^2$ )
$k$	- constante de inativação dos microrganismos pela radiação ultravioleta ( $cm^2/mWs$ )
$k'$	- constante empírica (modelo de Hom)
$K, n$ e $M$	- coeficientes do modelo de Hom ( $LN(N/N_0) = -K.I_m^n . t^M$ )
$L$	- espessura da lâmina líquida (cm)
$\text{Log}(N/N_0)$	- logaritmo da fração sobrevivente de microrganismos (adimensional)
$N$	- concentração de microrganismos no efluente (após a desinfecção) (NMP/100 mL, colifagos em UFP/100 mL)
$N_0$	- concentração de microrganismos no afluente (antes da desinfecção) (NMP/100 mL, colifagos em UFP/100 mL)
$pH$	- potencial hidrogeniônico (adimensional)
$P$	- potência radiante da lâmpada de baixa pressão de vapor de mercúrio em 254 nm (energia emitida) (W)
$P_m$	- valor médio da potência radiante da lâmpada de baixa pressão de vapor de mercúrio em 254 nm em cada ensaio (W)
$r^2$	- coeficiente de correlação (adimensional)
$R^2$	- coeficiente de determinação ou de correlação múltipla (adimensional)
$s$	- desvio padrão
SST	- concentração de sólidos suspensos totais (mg/L)
ST	- concentração de sólidos totais (mg/L)
$t$	- tempo de exposição (s)
$T$	- temperatura ( $^{\circ}C$ )
$T_{ambiente}$	- temperatura ambiente do ensaio ( $^{\circ}C$ )
$T_{amostra}$	- temperatura da amostra ( $^{\circ}C$ )
TF	- taxa de formação de $Fe^{2+}$ na solução actinométrica irradiada em 254 nm (ensaios de actinometria para determinar $I_0$ ) (mol/min)
TF <sub>1</sub> , TF <sub>2</sub> , TF <sub>3</sub>	- taxa de formação de $Fe^{2+}$ nos ensaios 1, 2 e 3, respectivamente (mol/min)
TF <sub>m</sub>	- valor médio da taxa de formação de $Fe^{2+}$ para cada número de lâmpadas ligadas utilizado (considerando todos valores) (mol/min)
TF <sub>média</sub>	- valor médio da taxa de formação de $Fe^{2+}$ para cada tempo utilizado

(mol/min)

Tr	-	transmitância (adimensional)
T <sub>lâmpada</sub>	-	temperatura da lâmpada após o aquecimento de 30 minutos (°C)
T <sub>sup</sub>	-	temperatura na superfície da caixa de inox próxima ao sensor do radiômetro no ponto adotado para leitura da intensidade pontual de radiação ultravioleta (°C)
V <sub>aliquota</sub>	-	volume da alíquota (mL)
V <sub>frasco</sub>	-	volume do frasco (mL)
V <sub>instalação</sub>	-	volume de solução actinométrica para preencher a instalação (mL)
V <sub>solução</sub>	-	volume de solução actinométrica para L = 1 cm na instalação (L)
x	-	trajetória na cubeta usada no espectrofotômetro UV/visível (x=1)(cm)
X	-	coordenada do ponto no eixo x (abscissa) (cm)
Y	-	coordenada do ponto no eixo y (ordenada) (cm)
$\phi_{Fe}$	-	rendimento quântico de produção de Fe <sup>2+</sup> no comprimento de onda de 254 nm = 1,26 (íon grama/Einstein)



## RESUMO

COLETTI, F. J. (2003). *Inativação de microrganismos indicadores presentes em efluentes secundários de esgoto sanitário com radiação ultravioleta*. São Carlos, 2003. 239 p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Nesta pesquisa estudou-se o emprego de radiação ultravioleta em reatores de batelada e em reator com escoamento contínuo (unidade comercial de alta intensidade), respectivamente em escala de laboratório e real. Os ensaios em batelada tiveram como finalidade monitoramento da potência radiante da lâmpada de baixa pressão de vapor de mercúrio durante a vida útil, determinação da intensidade média de radiação ultravioleta incidente no interior da câmara de desinfecção, obtenção dos coeficientes do modelo de Hom para coliformes totais, *Escherichia coli* e *Clostridium perfringens* e comparação da resistência à desinfecção desses microrganismos indicadores e colifagos. Os ensaios em sistema contínuo apresentaram como principal objetivo estudo da resistência dos microrganismos indicadores à desinfecção em condições de operação em escala real. Nos ensaios de desinfecção utilizou-se esgoto sanitário tratado em nível secundário. Os microrganismos indicadores apresentaram a seguinte ordem decrescente de resistência à desinfecção: *C. perfringens*, coliformes totais, *E. coli* e colifagos. As percentagens de inativação de *C. perfringens*, coliformes totais, *E. coli* e colifagos nos ensaios em batelada variaram de 0 a 99,882 %, 36,3 a 99,999%, 21,8 a 100 % e de 86,5 a 100 %, respectivamente. Os resultados de inativação obtidos para coliformes totais e *E. coli* apresentaram ajustes pelo modelo de Hom com valores de  $R^2$  superiores a 0,81 e 0,76, respectivamente. Comprovou-se que a instalação contínua é inadequada para efluentes com elevadas concentrações de sólidos em suspensão e matéria orgânica.

*Palavras-chave:* Actinometria; Desinfecção; Microrganismos Indicadores; Modelo de Hom; Radiação Ultravioleta; Radiometria.

## ***ABSTRACT***

COLETTI, F. J. (2003). *Inactivation of indicator microorganisms presents in secondary effluents of wastewater with ultraviolet radiation*. São Carlos, 2003. 239p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

In this research the use of ultraviolet radiation was studied in batch and continuous flow (high intensity commercial unit) reactors, respectively in laboratory and real scale. The batch assays were aimed to monitor the wattage of the low-pressure mercury lamp during its lifetime, to determine the mean ultraviolet radiation intensity inside disinfection chamber, to obtain Hom model coefficients for total coliforms, *Escherichia coli* and *Clostridium perfringens* and to compare the resistance to disinfection of these indicator microorganisms and coliphages. The assays in the continuous system presented as main objective to study the resistance of these indicator microorganisms to disinfection in real scale operational conditions. In the disinfection assays wastewater treated by a secondary level was used. The indicator microorganisms presented the following decreasing order of disinfection resistance: *C. perfringens*, total coliforms, *E. coli* and coliphages. *C. perfringens*, total coliforms, *E. coli* and coliphages inactivation percentages in batch assays varied from 0 to 99,882 %, 36,3 to 99,999 %, 21,8 to 100 % and from 86,5 to 100 %, respectively. The inactivation results obtained for total coliforms and *E. coli* presented adjustments by Hom model with  $R^2$  values above 0,81 and 0,76, respectively. It was proved that the installation of high intensity is not adequate for effluents with high concentration of suspended solids and organic matter.

**Keywords:** Actinometry; Disinfection; Indicator Microorganisms; Hom Model; Radiometry; Ultraviolet Radiation.

## 1 - INTRODUÇÃO

O predomínio das doenças de veiculação hídrica, especialmente na América Latina, África e Ásia é consequência advinda das precárias condições dos serviços de saneamento.

A deficiência em Saneamento (água de abastecimento, esgoto sanitário e resíduo sólido), notadamente em regiões brasileiras com menor poder aquisitivo, que apresentam ausência de redes coletoras de esgoto e até mesmo de sistemas de abastecimento de água, proporciona altos índices de doenças de origem hídrica e de mortalidade, principalmente infantil.

No contexto atual brasileiro, as cidades que possuem distribuição de água de abastecimento tratada até nível de desinfecção com cloro apresentam certa resistência na evolução de doenças veiculadas pela água.

O Brasil necessita de adoção de medidas urgentes que eliminem a proliferação de doenças de veiculação hídrica, caso contrário às consequências advindas poderão ser inimagináveis em vista do abandono em que se encontra o setor de Saúde Pública. A desinfecção de água de abastecimento e de esgoto sanitário após o tratamento é tecnologia relativamente barata face aos benefícios decorrentes, e que merece ser ponderada caso a caso e implantada em todas as regiões em que houver risco para seres humanos (CAMPOS, 1993).

O reuso do efluente de esgoto sanitário desinfetado, dependendo da eficiência adquirida, pode ser para fins não potáveis, como irrigação, recreação e industrial.

Os agentes desinfetantes mais comuns empregados na desinfecção de esgoto sanitário são: cloro e seus compostos (hipoclorito de sódio e de cálcio, dióxido de cloro e cloraminas), ozônio e radiação ultravioleta. Outras formas utilizadas são lagoas de estabilização (maturação) e disposição no solo, chamadas de desinfecção

natural.

A desinfecção com cloro, na forma gasosa ou de hipoclorito, apesar da simplicidade e baixo custo, pode gerar subprodutos precursores de trihalometanos com potencial carcinogênico, manter residual com ação desinfetante e necessitar de descloração. As cloraminas apresentam formação de trihalometanos em índices menores. O dióxido de cloro não apresenta potencialidade de geração de subprodutos organoclorados, mas se decompõem em íons clorito e clorato que possuem efeitos prejudiciais à saúde humana. O ozônio não mantém residual, mas pode gerar vários subprodutos potencialmente carcinogênicos.

O uso da radiação ultravioleta, que têm ação física, surgiu como método de desinfecção alternativo aos agentes químicos tradicionais, principalmente à cloração, pois tem vantagens como não manter residual desinfetante e minimizar a potencialidade de geração de subprodutos prejudiciais à saúde, conseqüentemente diminui nas águas residuárias desinfetadas a introdução de produtos danosos ao meio ambiente.

No Brasil ou em países em desenvolvimento não devem ser implantados sistemas sofisticados para desinfecção com radiação ultravioleta e sim reatores de menor custo de construção e de manutenção.

A proposta de utilização de radiação ultravioleta como agente desinfetante em efluentes secundários de esgoto sanitário teve estudo pioneiro em 1975 com OLIVER & COSGROVE (1975) em escala de laboratório, em que se provou a viabilidade deste processo. Até então, a radiação ultravioleta era usada apenas para desinfecção de águas de abastecimento, pois se acreditava que a matéria em suspensão, cor e turbidez presentes em maiores quantidades, mesmo em esgoto sanitário tratado, absorveriam grande parte da radiação ultravioleta incidente, inviabilizando esse método de desinfecção.

Posteriormente, a validade do emprego da radiação ultravioleta na desinfecção de esgoto sanitário foi confirmada com pesquisas de CAMPOS & PIZZIRANI (1977), SAMPAIO (1985), DANIEL (1989), DANIEL (1993), SOUZA (2000) (águas com elevada cor e turbidez), BILOTTA (2000) e DIAS (2001) desenvolvidas no Departamento de Hidráulica e Saneamento (SHS) da Escola de Engenharia de São

Carlos, Universidade de São Paulo (EESC-USP), e com pesquisas realizadas em outras entidades no Brasil e no exterior.

Em continuidade à linha de pesquisa em desinfecção com radiação ultravioleta do SHS da EESC-USP, no presente trabalho foram utilizados efluentes secundários de esgoto sanitário provenientes das Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) das cidades de Araraquara e de Lins em reator de batelada e de escoamento contínuo (unidade comercial de alta intensidade), em escala de bancada e real, respectivamente.

Esta pesquisa forneceu informações sobre a resistência à desinfecção com radiação ultravioleta de outros microrganismos indicadores como colifagos e *Clostridium perfringens*, além de coliformes totais e *Escherichia coli*.

Os coeficientes do modelo de Hom foram obtidos para coliformes totais, *Escherichia coli* e *Clostridium perfringens*, visando dimensionamento, operação e monitoramento de futuras unidades de desinfecção com radiação ultravioleta de efluentes secundários de esgoto sanitário com segurança e otimização nos custos.

## 2 - OBJETIVOS

Esta pesquisa, em que se utiliza radiação ultravioleta como agente de desinfecção, teve os seguintes objetivos:

Nos ensaios em batelada:

- monitorar, por actinometria, a variação da energia emitida por uma lâmpada de baixa pressão de vapor de mercúrio durante a vida útil;
- determinar, por radiometria e por actinometria, a intensidade média de radiação ultravioleta incidente na superfície irradiada no interior da câmara de desinfecção;
- obter os coeficientes do modelo de Hom para coliformes totais, *Escherichia coli* e *Clostridium perfringens* presentes em efluentes secundários de esgoto sanitário;
- comparar a resistência à desinfecção dos microrganismos indicadores coliformes totais, *Escherichia coli*, colifagos e *Clostridium perfringens* naturais de efluentes secundários de esgoto sanitário.

Nos ensaios em sistema contínuo:

- estudar a resistência de microrganismos indicadores na unidade de desinfecção de esgoto sanitário proveniente de processo de tratamento em nível secundário com radiação ultravioleta de alta intensidade.

## **3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **3.1 - Desinfecção de esgoto sanitário**

#### **3.1.1 - Introdução**

As doenças relacionadas à água podem ser de veiculação hídrica ou de origem hídrica. Na primeira, que é o objetivo do estudo, a água atua como veículo dos agentes infecciosos (microrganismos patogênicos), que atingem a água com as excretas de pessoas ou de animais infectados. Na segunda, a água apresenta certas substâncias químicas que possuem propriedades tóxicas quando presentes em proporção superior a certos limites específicos (CETESB, 1994).

Os processos biológicos de tratamento de esgoto sanitário, sejam aeróbios ou anaeróbios, geralmente promovem remoção muito pequena de coliformes, com exceção de lagoas de maturação.

A partir desta constatação, pode-se inferir que os sistemas de tratamento de esgoto sanitário que visam a remoção de carga orgânica, na quase totalidade dos casos, não são suficientes para promover a inativação de patogênicos, de tal forma a proporcionar efluente com qualidade microbiológica adequada (CAMPOS, 1993).

Do que foi exposto, fica evidente a necessidade da utilização de desinfecção de esgoto sanitário para inativação de microrganismos patogênicos, com vista a atender os padrões de qualidade da água.

A ação dos desinfetantes tem sido explicada por quatro mecanismos

(PELCZAR<sup>1</sup> apud METCALF & EDDY, 1991):

- danificação ou destruição da parede celular;
- alteração da permeabilidade celular;
- alteração da natureza coloidal do protoplasma;
- inibição da atividade enzimática.

Os requisitos básicos que o desinfetante deve possuir para ser utilizado na desinfecção de esgoto sanitário incluem (SAMPAIO, 1985):

- efetividade, dentro de limites de tempo de contato praticáveis, sobre uma variedade de microrganismos patogênicos presentes no esgoto sanitário;
- caso proporcione efeitos residuais ativos, sua concentração deve ser determinada de forma fácil e rápida;
- manejo seguro;
- aplicação simples;
- custo razoável;
- não geração de compostos com mau odor e de produtos nocivos à saúde humana e ao meio aquático receptor.

Os agentes mais comuns empregados na desinfecção de esgoto sanitário são:

- compostos de cloro, tais como cloro gasoso, hipoclorito de cálcio, hipoclorito de sódio, cloraminas e dióxido de cloro;
- ozônio;
- radiação ultravioleta;
- outras formas, como lagoas de estabilização (maturação) e disposição no solo.

---

<sup>1</sup> PELCZAR, M. J., Jr.; CHAN, E. C. S. (1986). *Microbiology*. 5 ed., Nova York, McGraw-Hill apud METCALF & EDDY (1991). *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse*. 3 ed., Nova York, McGraw-Hill, p.325.



### 3.1.2 - Técnicas mais usuais para desinfecção

A seguir, serão abordadas principalmente as limitações e restrições da desinfecção com cloro (gás cloro ou hipoclorito) e de desinfetantes alternativos como dióxido de cloro, ozônio e radiação ultravioleta. O emprego de radiação ultravioleta, por ser o assunto central deste estudo, será descrito mais detalhadamente.

#### 3.1.2.1 - Cloro

A desinfecção de esgoto sanitário com emprego de cloro, por exemplo, nas formas gasosas ou de hipoclorito, é uma solução extremamente simples e de custo relativamente baixo, contudo tem sido objeto de ressalvas, a partir da constatação que esse agente poderia gerar subprodutos potencialmente carcinogênicos, principalmente da sua reação com substâncias húmicas e proteínas (CAMPOS, 1993).

A cloração de esgoto sanitário apresenta maior complexidade do que a de água de abastecimento, necessitando dosagens superiores a 10 mg/L para se alcançar concentração de coliformes inferior a 100 microrganismos/100 mL. Caso o efluente seja lançado sem descloração em rios ou lagoas o cloro pode agir negativamente no equilíbrio biológico do corpo receptor (FEACHEM et al.<sup>2</sup> apud CAMPOS, 1993).

O grau de toxicidade da cloração independe da quantidade adicionada, mas da concentração e composição do cloro residual total (livre ou combinado), sendo que essa toxicidade depende ainda de fatores como presença de compostos orgânicos, pH, temperatura e tempo de contato (HESPANHOL et al.<sup>3</sup> apud SAMPAIO, 1985).

O emprego de cloro em águas que contenham substâncias húmicas e outros compostos orgânicos pode levar à formação de vários produtos prejudiciais à saúde.

<sup>2</sup> FEACHEM, R. G. et al. (1980). *Appropriate technology for water supply and sanitation*. Banco Mundial apud CAMPOS, J. R. (1993). Uma abordagem sobre a desinfecção de esgotos no Brasil. In: Seminário internacional sobre desinfecção de águas de abastecimento e residuárias em países em desenvolvimento, 1, Belo Horizonte, *Anais*. Minas Gerais, ABES, p. 148.

<sup>3</sup> HESPANHOL, L. et al. (1982). Usos do cloro na engenharia sanitária e ambiental – Novas Técnicas de aplicação e quantificação dos impactos associados. *Revista DAE*, n. 130, p. 61-71, setembro apud SAMPAIO (1985). *Desinfecção de esgotos sanitários com radiação ultravioleta*. São Carlos-SP, 96p. Dissertação (mestrado)-EESC-USP, p. 14.

A presença de trihalometanos é normalmente atribuída às reações do cloro com substâncias húmicas (DANIEL, 1993). Os trihalometanos consistem principalmente de clorofórmio, bromofórmio, bromodiclorometano, dibromoclorometano e dicloriodometano, sendo o clorofórmio o mais freqüente (JOHNSON & JENSEN, 1986).

Apesar da efetividade por causa da sua toxicidade a um amplo espectro de microrganismos, vários estudos têm evidenciado que a cloração da água pode levar à geração de vários subprodutos orgânicos problemáticos. Outras limitações da desinfecção de esgotos com cloro são: efeito residual, relativa ineficiência a pH acima de 7,5 e a possível formação de produtos malcheirosos pela reação com poluentes tais, como os fenóis (SCHIRCH & RODRIGUES, 1993).

Outra desvantagem da aplicação de cloro na desinfecção águas residuárias é a necessidade de descloração, que consiste na eliminação do cloro residual que é prejudicial para a vida aquática do corpo receptor. O método mais utilizado para descloração é com emprego de dióxido de enxofre e / ou compostos de soluções aquosas de sulfito. Outros métodos empregam carvão ativado granular e peróxido de hidrogênio (CHEREMISINOFF, 1995).

Os subprodutos mais comuns da cloração são: trihalometanos (THMs), ácido acético halogenado, acetonitrilos halogenados, cloral de hidrato e os fenóis clorados. Outros incluem: furanona cloradas, halopicrins, cianogênio halóide, halocetonas e haloaldeídos (GALAL-GORCHEV, 1994a).

A grande maioria dos efeitos resultantes da exposição com trihalometanos, e particularmente clorofórmio, é o desenvolvimento de câncer. O clorofórmio tem provocado efeitos carcinogênicos 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 e em geral, como o clorofórmio, produzem efeitos no fígado e nos rins e também diminuição da função imunológica (comprovado em ratos e camundongos) (JOLLEY et al., 1990).

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

Pombos consumindo água com 2 ou 15 mg/L de cloro na forma de hipoclorito de sódio apresentaram decréscimo de tiroxina, acréscimo no nível de colesterol no plasma e aumento no peso do coração. Estes efeitos foram particularmente evidenciados em animais alimentados com dieta rica em colesterol. O aumento nos níveis de colesterol no plasma de pombos sugere a potencialidade de doenças cardiovasculares em populações humanas abastecidas com água desinfetada com cloro (JOLLEY et al., 1990).

A ingestão de água contendo residual de cloro pode gerar *in vivo* subprodutos no trato gastrintestinal, similares àqueles observados nas águas desinfetadas com cloro (CONDIE, 1986).

Diante das desvantagens mencionadas com a cloração de águas residuárias, observa-se a necessidade de realização de pesquisas para aprimoramento de técnicas alternativas de desinfecção.

### 3.1.2.2 - Dióxido de Cloro

O emprego do dióxido de cloro tem por objetivo atenuar a formação de trihalometanos com utilização do cloro como agente desinfetante.

Por dificuldades de armazenamento e transporte o dióxido de cloro é produzido no local de aplicação.

A desinfecção com dióxido de cloro não apresenta potencialidade de geração de compostos organoclorados, mas os resíduos de sua aplicação ainda não foram estudados com profundidade. Os íons cloritos e cloratos resultantes podem provocar um tipo de anemia pela ação oxidante sobre as membranas dos glóbulos vermelhos de sangue (CONDIE, 1986).

O dióxido de cloro apresenta algumas vantagens em relação ao cloro, tais como: as reações com substâncias húmicas geralmente não ocasionam níveis significantes de trihalometanos, não reagem com amônia para formar cloraminas, é mais eficaz na inativação de cistos de giárdia e a eficiência independe do pH e da presença de amônia (GALAL-GORCHEV, 1994a).

Algumas desvantagens da aplicação do dióxido de cloro são: os custos com equipamentos e produtos químicos são substancialmente altos comparados com os do cloro, a manufaturação de equipamentos é complicada e estes estão sujeitos à corrosão e sua aplicação é limitada (VIGNESWARAN & VISVANATHAN, 1995).

Os principais subprodutos da desinfecção com dióxido de cloro são clorito e clorato. Outros subprodutos da reação com a matéria orgânica em águas de abastecimento incluem: clorofenóis, p-benzoquinona e ácidos maléico, fumárico e oxálico (GALAL-GORCHEV, 1994a).

RICHARDSON et al.<sup>4</sup> apud GALAL-GORCHEV (1994b) identificaram mais de 40 subprodutos orgânicos em uma estação piloto em Indiana que utilizava dióxido de cloro como desinfetante primário. A toxicidade destes subprodutos na sua maioria era desconhecida.

Estudo experimental com pombos que tiveram dieta rica em lipídeos e pobre em cálcio, permitiu sugerir que o  $\text{ClO}_2$  e  $\text{ClO}_2^-$  podem ser responsáveis por aumentar o risco de doenças cardiovasculares, em decorrência do aumento dos níveis de colesterol no plasma e do tamanho das placas nos vasos sanguíneos (JOLLEY et al., 1990).

Indivíduos voluntários receberam água com  $\text{ClO}_2$ ,  $\text{ClO}_2^-$  e  $\text{ClO}_3^-$  em 5 mg/L por um período de 84 dias. Somente aqueles deficientes em glicose-6-fosfato desidrogenase e com exposição ao  $\text{ClO}_2^-$  em 5 mg/L apresentaram mudanças significantes em vários parâmetros químicos do sangue e soro (JOLLEY et al., 1990).

Com o objetivo de se conhecer a respeito da toxicidade do dióxido de cloro e os efeitos tóxicos de seus subprodutos, principalmente clorito e clorato, vários estudos foram realizados com animais. Estes estudos demonstraram efeitos nocivos sobre as células de glóbulos vermelhos, função da tiróide e desenvolvimento, mas

---

<sup>4</sup> RICHARDSON et al (1994). Multispectral identification of chlorine dioxide disinfection byproducts in drinking water. *Environment Science and Technology*, n. 28, p. 592-599 apud GALAL-GORCHEV, H. (1994b). WHO Guidelines for drinking water quality and health risk assessment of disinfectants and disinfection by-products. In: WATER QUALITY IN LATIN AMERICA: BALANCING THE MICROBIAL AND CHEMICAL RISKS IN DRINKING WATER DISINFECTION, ILSI Argentina - Pan American Health Organization / World Health Organization, 1994. *Anais*. Washington, D. C., ILSI PRESS, Edição de CRAUN, G. F., p. 135.

geralmente altas concentrações foram necessárias para produção de tais efeitos (SMITH & WILLHITE, 1990).

### 3.1.2.3 - Ozônio

A principal razão do interesse da desinfecção com ozônio é a necessidade de eliminar a potencialidade de formação de trihalometanos e outros compostos organoclorados, originados pela desinfecção com cloro (gás cloro ou hipoclorito) quando há presença de matéria orgânica na água como, por exemplo, os ácidos húmico e fúlvico (KILLOPS, 1986).

Além da desinfecção, o ozônio pode também ser utilizado no tratamento de águas residuárias para remoção de cor, DBO (demanda bioquímica de oxigênio), DQO (demanda química de oxigênio), íons inorgânicos (por exemplo: cianetos e nitritos) e sólidos suspensos. Com sua utilização os efluentes tornam-se saturados de oxigênio, o que é benéfico aos organismos aeróbios do meio aquático receptor (SAMPAIO, 1985).

O ozônio é um gás instável que deve ser gerado no local de aplicação. No estado puro não pode ser liquefeito por compressão, pois existe o risco de explosão (MASSCHELEIN, 1975). Soluções de ozônio em oxigênio líquido com concentração inferior a 30 % em peso de ozônio apresentam relativa segurança. Misturas de ozônio de 15 a 20 % ou mais com ar pode ser explosiva (RICE et al., 1981).

Em água destilada o período de meia vida do ozônio é de aproximadamente 165 minutos a 20 °C. Na presença de materiais oxidantes, a meia vida do ozônio é consideravelmente reduzida. Diante disto, pode-se concluir que esse agente não promove a formação de residual ativo persistente que possa oferecer efeitos adversos à vida aquática do corpo receptor (SAMPAIO, 1985).

Uma das principais vantagens da ozonização é não promover a formação de trihalometanos. Porém, resta certificar-se se seus subprodutos podem igualmente oferecer prejuízo à saúde pública e ao meio receptor (SAMPAIO, 1985).

Os subprodutos do ozônio gerados pela oxidação da matéria orgânica são

potencialmente mais significantes do que os subprodutos inorgânicos (DANIEL, 1993).

O ozônio é desinfetante eficaz para inativação de vários tipos de microrganismos. As principais desvantagens para aplicação em águas incluem: ausência de desinfetante residual, que passa a ser vantagem no caso de esgoto sanitário, problemas de recrescimento biológico nos sistemas de distribuição de águas de abastecimento, alto custo e informação limitada sobre a natureza e toxicidade dos subprodutos formados (GALAL-GORCHEV, 1994a).

Outras desvantagens da ozonização são: toxicidade (proporcional à concentração e tempo de exposição), custo elevado em relação a cloração, instalações complicadas, necessidade de dispositivo para exaustão do ozônio do reator para prevenção de toxicidade e incêndio e possível produção indesejada de aldeídos e cetonas (VIGNESWARAN & VISVANATHAN, 1995).

O maior problema na aplicação do ozônio (menos solúvel em água que o cloro) é obter um sistema que seja eficiente para promover uma boa mistura com o esgoto. Para desinfecção de água pouco poluída é necessária uma concentração variando de 0,5 a 5 mg/L e alguns minutos de contato, sendo que água mais poluída necessita de 10 a 100 mg/L (SCHIRCH & RODRIGUES, 1993).

Os principais subprodutos gerados pelo processo de ozonização são: aldeídos, ácidos carboxílicos, peróxido de hidrogênio e cetonas. Quando a água contém brometo são formados os subprodutos bromato, bromometano, ácidos acéticos brominado, acetonitrilo brominado (GALAL-GORCHEV, 1994a).

### **3.1.2.4 - Radiação ultravioleta**

#### **3.1.2.4.1 - Generalidades**

Segundo KOLLER (1952) a radiação ultravioleta está situada na faixa de comprimento de onda de 40 a 400 nm (Figura 3.1) e subdividida em UV vácuo (40 a

200 nm), UV C (200 a 280 nm), UV B (280 a 315 nm) e UV A (315 a 400 nm).

Raios cósmicos	Raios gama	Raios X	UV	Luz visível	Infravermelho	Microondas	Ondas radiais
			40 nm	400 nm			

**FIGURA 3.1** - Espectro eletromagnético (DANIEL, 2001).

A radiação ultravioleta é um método alternativo para desinfecção de efluentes de esgoto sanitário, pois pode fornecer eficiência superior à do cloro com a vantagem de não geração de subprodutos indesejáveis e não manutenção de residual desinfetante que poderia afetar o equilíbrio do ecossistema no qual o efluente está sendo lançado (DANIEL & CAMPOS, 1992).

O emprego da radiação ultravioleta na desinfecção de águas residuárias pode ser considerado como a mais atrativa alternativa para substituição do cloro pelas seguintes razões: ausência da introdução de compostos tóxicos no meio ambiente aquático, processo simplificado, aplicação em pequenas e grandes estações de tratamento, operação e manutenção simplificada, eficácia contra bactérias e vírus e custo competitivo (LONGLEY, 1993).

Não se conhece efeito adverso à saúde no que diz respeito ao uso de radiação ultravioleta na desinfecção de água. Com este desinfetante, nenhuma substância é adicionada na água, não há risco de formação de trihalometanos, não ocasiona alteração do gosto e odor da água tratada e a formação de subprodutos ainda não foi observada. Mesmo com doses elevadas de radiação ultravioleta na água tratada não se observou nenhum efeito nocivo sobre os consumidores (WITT & REIFF, 1994).

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

De acordo USEPA (1999b), o emprego da radiação ultravioleta na desinfecção de águas residuárias apresenta vantagens e desvantagens. As vantagens são:

- eficácia na inativação da maioria de vírus, esporos e cistos;
- por ser um processo físico elimina a necessidade de geração, manuseio, transporte e estoque de produtos químicos tóxicos e perigosos ou corrosivos;
- não possui ação residual que pode ser prejudicial à vida aquática ou aos seres humanos;
- inofensivo aos operadores, desde que não se exponham à radiação;
- os tempos de contato (exposição) são inferiores aos outros desinfetantes (aproximadamente 20 a 30 segundos com lâmpadas de baixa pressão);
- os equipamentos requerem menor área que os outros métodos.

Como desvantagens têm-se:

- doses baixas podem não ser suficientes para inativar alguns vírus, esporos ou cistos;
- alguns microrganismos podem reparar ou reverter os efeitos causados pela radiação ultravioleta através dos mecanismos denominados de fotoreativação (presença de luz) ou recuperação no escuro (ausência de luz);
- necessidade do controle da deposição de sólidos no envoltório das lâmpadas;
- a concentração de SST e a turbidez das águas residuárias podem prejudicar a desinfecção. Esta é ineficiente com concentrações de SST superiores a 30 mg/L quando se utilizam lâmpadas de baixa pressão.

A maior limitação para emprego da radiação ultravioleta na desinfecção de esgoto sanitário é que este não pode ser turvo e nem apresentar densidades ópticas moderadas, o que implicaria na necessidade de uma pré-filtração. Outros problemas operacionais incluem o rompimento do quartzo das lâmpadas e a necessidade de limpeza periódica (SCHIRCH & RODRIGUES, 1993).

Outras desvantagens são: necessidade de eletricidade continuamente, redução na eficiência com o acréscimo da turbidez ou cor, a eficiência das lâmpadas decresce com o uso e estas apresentam vida útil limitada e o custo tende ser mais elevado que os métodos convencionais (WITT & REIFF, 1994).



### **3.1.2.4.3 - Fatores interferentes do processo de desinfecção com radiação ultravioleta**

A eficácia da desinfecção com radiação ultravioleta é afetada principalmente pelos seguintes fatores (CHEREMISINOFF, 1995):

- a dose, que é afetada pela potência radiante das lâmpadas, tempo de contato (segundos) e turbidez da água residuária;
- a presença de constituintes interferentes na água residuária, especialmente ferro, manganês e dureza (cálcio e magnésio);
- formação de curtos-circuitos na câmara de contato, que podem ser minimizados;
- a água na câmara de contato, que necessita ser mantida em níveis constantes para assegurar exposição suficiente na radiação.

Conforme USEPA (1999b), as unidades de desinfecção com radiação ultravioleta dependem dos seguintes fatores críticos:

- propriedades hidráulicas do reator: idealmente, as unidades de desinfecção devem ter fluxo uniforme com movimento axial suficiente (mistura radial) para maximizar a exposição. Os reatores devem ser projetados para eliminar curtos-circuitos e/ou zonas mortas, que podem resultar na redução do tempo de contato e no uso da energia;
- intensidade de radiação ultravioleta: esta é afetada pela idade das lâmpadas, deposição de sólidos no envoltório das lâmpadas, configuração e posição das lâmpadas no reator;
- características das águas residuárias: estas incluem vazão, sólidos suspensos e coloidais, densidade inicial de bactérias, e outros parâmetros físicos e químicos. A concentração de SST e de microrganismos associados às partículas determinam a quantidade de radiação ultravioleta que atinge o microrganismo alvo. Quanto maiores estas concentrações menor será a radiação ultravioleta absorvida pelos microrganismos.

Na Tabela 3.1 estão mostradas várias características das águas residuárias e seus efeitos na desinfecção com radiação ultravioleta.

**TABELA 3.1** - Características das águas residuárias e seus efeitos na desinfecção com radiação ultravioleta.

<b>Características das águas residuárias</b>	<b>Efeitos na desinfecção com radiação ultravioleta</b>
<b>Amônia, nitrito e nitrato</b>	Pouco efeito.
<b>DBO</b>	Pouco efeito. Mas, se grande parcela da DBO é caracterizada por compostos húmicos e/ou insaturados (ou conjugados) a transmitância pode ser diminuída.
<b>Dureza</b>	Afeta a solubilidade dos metais que podem absorver luz ultravioleta. Pode levar a precipitação de carbonatos nos tubos de quartzo que protegem as lâmpadas.
<b>Substâncias húmicas e ferro</b>	Alta absorvância de radiação ultravioleta.
<b>pH</b>	Afeta solubilidade dos metais e carbonatos.
<b>SST</b>	Absorvem a radiação ultravioleta e protegem as bactérias agregadas.

**Fonte:** USEPA (1999b).

A eficácia da desinfecção de água com radiação ultravioleta depende da dose (produto do tempo de irradiação e intensidade de radiação), porém a reciprocidade intensidade e tempo não é sempre válida (SOMMER et al., 1998).

SOMMER et al. (1998), estudando a desinfecção de água com radiação ultravioleta, obtiveram para as condições de inativação com intensidade de 2 W/m<sup>2</sup> a seguinte ordem crescente de resistência: três espécies de *E. coli* (ATCC 25922, ATCC 11229 e isolada do esgoto) = colifago  $\phi$ X174 < colifago B40-8 < colifago MS2 < esporos de bactéria (*Bacillus subtilis*). Nos experimentos com três

intensidades (2, 0,2 e 0,02 W/m<sup>2</sup>) observaram para as três espécies de *E. coli* uma diferença de aproximadamente 1 log de inativação entre a intensidade maior e a menor somente para as doses de 80 a 100 J/m<sup>2</sup>. Isto indicou maior eficiência empregando mesma dose com alta intensidade e tempo pequeno do que com pequena intensidade e tempo longo. Para os outros microrganismos (esporos de bactéria e três espécies de colifago) não encontraram desvios na reciprocidade intensidade e tempo. Também concluíram ser desnecessário mínimo tempo de irradiação ou mínima intensidade de ultravioleta na desinfecção de água, sendo suficiente apenas a dose.

LOGE et al. (1999), investigando a influência dos sólidos na desinfecção com radiação ultravioleta, obtiveram que:

- o número de partículas presentes que protegem completamente os microrganismos é provável parâmetro fundamental que influencia a eficiência do processo;
- as características de absorção dos sólidos são aproximadamente as mesmas em todos os comprimentos de onda dentro da faixa de ultravioleta (proteção independe do comprimento de onda), portanto, sistemas com lâmpadas de média pressão que usam ultravioleta numa faixa de comprimento de onda não possuem benefícios adicionais na inativação de microrganismos agregados aos sólidos sobre sistemas com lâmpadas de baixa pressão que utilizam somente o comprimento de onda de 254 nm;
- os sólidos (lodos ativados e filtros biológicos) absorvem a radiação com atenuação seguindo a lei de Beer-Lambert;
- a absorvância varia com o processo de tratamento, mas até os menores valores são suficientes para bloquear a transmissão da radiação nos sólidos;
- é improvável que os processos de tratamento de águas residuárias podem adaptar-se para permitir a transmissão de radiação nos sólidos;
- a radiação somente pode penetrar nos sólidos devido à alta porosidade, mas não por transmissão através dos sólidos.

Estudando a associação das bactérias coliformes com sólidos em águas

residuárias provenientes de oito processos de tratamento diferentes (5 variações do processo de lodos ativados, filtro biológico, lagoa aerada e lagoa facultativa) EMERICK et al. (1999) chegaram às seguintes conclusões:

- o número de partículas com bactérias coliformes associadas está diretamente correlacionado com a concentração de bactérias coliformes sobreviventes após altas doses de radiação ultravioleta, portanto trata-se de um parâmetro fundamental que pode ser usado para avaliar a conveniência do emprego da radiação ultravioleta como desinfetante;
- nos processos de lodos ativados a redução da percentagem de sólidos contendo bactéria coliforme ocorreu com aumento da idade do lodo;
- os sistemas de lagoas de estabilização apresentaram menor número de bactérias coliformes associadas aos sólidos que lodos ativados e filtros biológicos, e conseqüentemente baixo número de bactérias coliformes sobrevivendo com altas doses, embora produziram altas concentrações de sólidos suspensos;
- os coagulantes químicos reduziram significativamente a inativação das bactérias coliformes associadas aos sólidos.

As bactérias coliformes associam-se aos sólidos presentes nas águas residuárias, mas existem poucas informações disponíveis sobre associação de outros microrganismos, principalmente patogênicos. A realização de pesquisas sobre associação de microrganismos patogênicos com sólidos definirá o verdadeiro risco de lançamento de partículas desinfetadas parcialmente (contendo microrganismos ativos no interior) no meio ambiente (EMERICK et al., 1999).

O processo de desinfecção com radiação ultravioleta é viável em águas de abastecimento ou residuárias com baixa concentração de sólidos suspensos, matéria orgânica e turbidez, e conseqüentemente baixa absorvância.

SHABAN et al. (1997) pesquisaram a influência da turbidez e dos mecanismos de reativação (fotorreativação e recuperação no escuro) na desinfecção com radiação ultravioleta de diversos microrganismos inoculados em água de abastecimento e presentes no rio Nilo.

Com relação a turbidez, observaram que sua introdução na água de teste significou decréscimo na intensidade e com isso aumento na “proteção” dos microrganismos, sendo que este efeito de proteção diferiu entre os microrganismos. A radiação ultravioleta proporcionou efeito reduzido nos microrganismos para turbidez acima de 5 NTU e com 20 NTU não ocasionou efeito nas características morfológicas das células das algas.

Ao estudar os mecanismos de reativação, concluíram que a fotorreativação de microrganismos irradiados foi mais rápida que a recuperação no escuro. Para os colifagos estes mecanismos ocorreram somente quando seus hospedeiros estiveram presentes. As algas recuperaram a forma normal após 3 dias em meio nutricional adequado e luz suficiente.

A maior contaminação da água por microrganismos é geralmente acompanhada pela turbidez mais elevada. Os sólidos suspensos podem interferir na eficiência da radiação ultravioleta pela adsorção ou dispersão da radiação (DIZER et al., 1993).

De acordo com DIZER et al. (1993), a presença de sólidos suspensos provavelmente de solo arenoso fino influenciou consideravelmente a inativação do colifago f2 com radiação ultravioleta. A inativação de colifagos livres de no máximo 97 % ( $< 2 \log$ ) foi reduzida para insatisfatórios 54 % quando associados com sólidos suspensos. Em decorrência do efeito negativo das partículas de sólidos suspensos na inativação de bactérias e vírus, somente em efluentes pré-filtrados deve-se usar a desinfecção com radiação ultravioleta. Com isso, recomendaram que o emprego da desinfecção com radiação ultravioleta de efluentes de ETEs deverá ser feito após as fases de floculação e de filtração final para melhoraria da eficiência do processo.

DANIEL (1989) aplicou radiação ultravioleta em esgoto sanitário pré-decantado e diluído utilizando instalação piloto. Com base nos resultados obtidos durante o trabalho, concluiu que os sólidos em suspensão apresentam significativa influência sobre a eficiência de desinfecção e que a distribuição dos seus tamanhos possivelmente exerça maior influência que a concentração total.

#### 3.1.2.4.4 - Fontes de emissão de radiação ultravioleta

A fonte de emissão de radiação ultravioleta pode ser natural ou artificial. O sol é a única fonte natural de importância. As fontes artificiais compreendem as lâmpadas de fonte incandescente e as que utilizam o efeito arco (PHILLIPS, 1983).

Nas unidades de desinfecção a emissão de radiação ultravioleta é dada por lâmpadas de baixa ou média pressão de vapor de mercúrio possuindo baixa e alta intensidade, respectivamente.

Apesar das vantagens das lâmpadas de média pressão de vapor de mercúrio, as de baixa pressão consistem na principal fonte de emissão de radiação ultravioleta empregada na desinfecção de águas de abastecimento ou residuárias, devido ao custo e facilidade de aquisição no mercado (SANT'ANA, 2001).

Uma lâmpada típica de baixa pressão de vapor de mercúrio converte aproximadamente 60 % da energia elétrica de entrada em radiação ressonante nos comprimentos de onda de 254 e 185 nm e 3 % em radiação em outros comprimentos de onda, principalmente na faixa visível. Como a contribuição em 185 nm é desprezível, pois a transmissão da água é normalmente inferior a 2 %, pode-se considerar que a emissão em 254 nm é próxima de monocromática (PHILLIPS, 1983).

As lâmpadas de baixa pressão são monocromáticas no comprimento de onda de 253,7 nm, possuem comprimentos padrões de 0,75 a 1,5 m com diâmetros entre 1,5 e 2,0 cm e a temperatura ideal nas suas paredes, quando em funcionamento, varia de 35 a 50 °C (USEPA, 1999b).

Segundo os fabricantes, as lâmpadas de baixa pressão de vapor de mercúrio possuem vida útil longa, variando de 4000 a 5000 horas. O desgaste dos eletrodos é o principal fator responsável pela deterioração, que depende do número das operações de ligar e desligar e das condições de funcionamento.

A intensidade de emissão de radiação ultravioleta é afetada por fatores como a temperatura da lâmpada, flutuações na linha de alimentação e idade da lâmpada (DANIEL, 1989).

CORTELYOU et al.<sup>5</sup> apud SAMPAIO (1985) mostraram que um decréscimo na voltagem de 110 para 100 V proporcionou redução na intensidade de 22 %. Observaram também, que lâmpadas imersas diretamente em água à temperatura de 0 a 10 °C, emitem em média 22 a 58 % da emissão a 20 °C, respectivamente.

As lâmpadas de média pressão são geralmente usadas em grandes unidades. Em comparação as lâmpadas de baixa pressão a energia germicida é, aproximadamente, de 15 a 20 vezes maior, desinfetam mais rápido, têm maiores capacidades de penetração e em contrapartida operam em altas temperaturas com maior consumo de energia (USEPA, 1999b).

Os sistemas de desinfecção com lâmpadas de média pressão produzem alta intensidade e amplo espectro de radiação ultravioleta, portanto necessitam de menos lâmpadas para fornecer a mesma dose germicida que os tradicionais sistemas com lâmpadas de baixa pressão. Geralmente, estes sistemas são equipados com raspadores automáticos para redução ou eliminação da limpeza manual das lâmpadas (HUNTER et al., 1998).

De acordo com EPRI<sup>6</sup> apud HUNTER et al. (1998) em 1995 os sistemas de desinfecção com radiação ultravioleta com lâmpadas de média pressão já eram utilizados na Europa no tratamento de águas de abastecimento e residuárias por mais de 30 anos.

Um grande número de instalações com lâmpadas de média pressão são utilizadas na desinfecção de águas em indústrias que as utilizam como matéria-prima, principalmente de bebidas, pois a radiação ultravioleta preserva gosto e sabor que podem ser prejudicados pelo uso do cloro (HUNTER et al., 1998).

Os resultados de GIESE & DARBY (2000) evidenciaram que o valor da eficiência germicida determinado para uma espécie de bactéria ou de vírus pode ser

---

<sup>5</sup> CORTELYOU et al. (1954). The effects of ultraviolet irradiation on large populations of certain waterborne bacterials in motion II. Some physical factors affecting the effectiveness of germicidal ultraviolet irradiation. *Appl. Microbiology* apud SAMPAIO, A. de O. (1985). *Desinfecção de esgotos sanitários com radiação ultravioleta*. São Carlos - SP, 96p. Dissertação (Mestrado) – EESC-USP, p.23.

<sup>6</sup> EPRI (Electric Power Research Institute) (1995). Ultraviolet disinfection for water and wastewater. apud HUNTER, G. L. et al. (1998). Medium-pressure ultraviolet lamps and other systems are considered for wastewater application. *Water Environment & Technology*, v. 10, n. 6, p. 41-44, junho, p.41.

usado para representar resposta de inativação relativa de todas bactérias e vírus em sistemas de desinfecção com radiação ultravioleta empregando lâmpadas de média pressão. As respostas foram obtidas para três espécies de bactéria coliforme (*Citrobacter diversus*, *Citrobacter freundii* e *Klebsiella pneumoniae*) e um bacteriófago (vírus  $\phi$ X-174) nos comprimentos de onda ( $\lambda$ ) 254, 280 e 301 nm. Os valores da eficiência germicida para 280 nm não variaram significativamente entre os microrganismos estudados, enquanto que para 301 nm variaram e foram pequenos (< 0,06). As intensidades germicidas para 301 nm foram inferiores a 7 % das obtidas para 254 nm, portanto podem ser desconsideradas nos modelos de intensidade para sistemas com lâmpadas de média pressão.

A eficiência germicida para determinado comprimento de onda é dada pela divisão da dose para 254 nm pela dose no comprimento de onda de interesse, ambas fixadas para atingir a inativação desejada.

Embora muitos microrganismos são mais facilmente inativados nos comprimentos de ondas entre 260 e 265 nm, os resultados devem ser normalizados em 254 nm para comparação com os valores das doses de radiação ultravioleta publicados para sistemas com lâmpadas de baixa pressão. Ao se normalizar a inativação da *Escherichia coli* em 265 nm no lugar de 254 nm resultará em superestimação da dose por aproximadamente 17 % (WRIGHT, 2000).

#### **3.1.2.4.5 - Mecanismo de inativação dos microrganismos com radiação ultravioleta**

A radiação ultravioleta não inativa os microrganismos por meio de reação química, como acontece com a maioria dos desinfetantes químicos normalmente utilizados em águas de abastecimento ou residuárias. A inativação é realizada pela absorção da radiação ultravioleta que promove reações fotoquímicas com os componentes fundamentais das células, prejudicando seu funcionamento normal, como, por exemplo, interrompendo o mecanismo de duplicação ou provocando a morte (USEPA, 1999a).



A inativação dos microrganismos ocorre em nível cromossômico, quando a radiação ultravioleta penetra a parede celular e é absorvida pelos ácidos nucléicos DNA e RNA e, em menor proporção pelas proteínas e outras moléculas biologicamente importantes (KOLLER, 1952; BULL, 1980).

A absorção de altas doses pelas proteínas presentes nas membranas celulares leva ao rompimento dessas membranas e, com isso, à morte da célula. A absorção de baixas doses pelo DNA pode interromper a habilidade do microrganismo de se reproduzir, impedindo-o de contaminar o meio ambiente (DANIEL, 2001).

O DNA é um polímero de ácido nucléico formado por seqüências das quatro bases nitrogenadas (adenina e citosina – derivadas da purina; guanina e timina – derivadas da pirimidina) que constituem o código genético.

As purinas e pirimidinas, principais componentes dos ácidos nucléicos, absorvem radiação ultravioleta ao máximo no comprimento de onda variando de 255 a 260 nm (WHITE et al., 1986).

A radiação ultravioleta atua principalmente no DNA, sendo que sua absorção pelas bases nitrogenadas adjacentes pode resultar na formação de dímeros. A timina, por ter estrutura mais simples, é a que possui maior formação de dímeros, os quais mudam a estrutura do DNA impedindo sua duplicação normal e, conseqüentemente, a reprodução do microrganismo. Portanto, trata-se do mecanismo fundamental da desinfecção com radiação ultravioleta (DANIEL, 2001).

A produção máxima de dímeros de timina se dá no comprimento de onda de 260 nm (HARM, 1980). Como nas lâmpadas de baixa pressão de vapor de mercúrio a maior emissão ocorre no comprimento de onda de 254 nm, há pequena redução na produção de dímeros.

A recuperação dos microrganismos irradiados pode ocorrer por dois mecanismos distintos, denominados de fotorreativação (reversão das alterações) e recuperação no escuro (substituição dos nucleotídeos lesados) (DANIEL, 1989).

A reversão das alterações é obtida por recuperações fotoenzimáticas (fotorreativação) que monomeriza, principalmente, os dímeros de pirimidina pela ação de uma enzima (fotorreativante) durante exposição em radiação ultravioleta de comprimento de onda de 300 a 500 nm. Em 254 nm a formação de dímeros é

aproximadamente oito vezes mais freqüente que a desdimerização.

A substituição dos nucleotídeos lesados (reparo no escuro) ocorre na ausência de luz e pode ser realizada pela remoção da parte lesada e de uma seqüência de nucleotídeos adjacentes, com posterior ressíntese da seqüência original de nucleotídeos.

### 3.1.2.4.6 – Doses de radiação ultravioleta

A intensidade de radiação ultravioleta na lâmina líquida varia conforme a Lei de Beer-Lambert:

$$I = I_0 \cdot \exp(-ce.L) \quad (3.1)$$

I : intensidade média de radiação ultravioleta na profundidade L (mW/cm<sup>2</sup>);

I<sub>0</sub> : intensidade média de radiação ultravioleta incidente na superfície irradiada no interior da câmara de desinfecção (mW/cm<sup>2</sup>);

ce : coeficiente de extinção (base e) (1/cm);

L : espessura da lâmina líquida (cm).

A intensidade média é dada pela integração da Lei de Beer-Lambert:

$$I_m = \frac{I_0}{ce.L} [1 - \exp(- ce.L)] \quad (3.2)$$

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

A transmitância é calculada por:

$$Tr = \frac{I}{I_0} = \exp(-ce.x) \quad (3.3)$$

Tr : transmitância (adimensional);

x : trajetória na cubeta utilizada no espectrofotômetro UV/visível (x = 1) (cm).

A absorvância e transmitância apresentam a seguinte relação:

$$A = -\log Tr = -\log[\exp(-ce.x)] \quad (3.4)$$

A : absorvância (adimensional).

Partindo-se das eq. (3.3) e (3.4) têm-se que o coeficiente de extinção é dado por:

$$ce = 2,303.A \quad (3.5)$$

A dose aplicada apresenta as seguintes características:

- representa a energia total que atinge a superfície da lâmina líquida (reatores com lâmpadas emersas fixadas em refletores de alumínio) ou o volume total do líquido (reatores com lâmpadas imersas);
- estima o consumo de energia;
- apresenta relação com a potência nominal da lâmpada.

$$D_a = I_0.t \quad (3.6)$$

$D_a$  : dose aplicada de radiação ultravioleta (mWs/cm<sup>2</sup>);

t : tempo de exposição (s).

A dose aplicada por volume é obtida por:

$$D_{av} = \frac{I_0 \cdot t}{L} 0,2778 \quad (3.7)$$

$D_{av}$  : dose aplicada por volume (Wh/m<sup>3</sup>);

0,2778 : fator de conversão de mW para W, s para h e cm para m.

A dose recebida possui as seguintes características:

- representa a energia total efetivamente disponível para inativação dos microrganismos;
- responsável pela desinfecção;
- estima a fração microrganismos sobreviventes;
- têm relação com a dose em comprimento de onda específico (por exemplo, 254 nm).

$$D_r = I_m \cdot t \quad (3.8)$$

$D_r$  : dose recebida de radiação ultravioleta (mWs/cm<sup>2</sup>).

A dose recebida por volume é obtida pela seguinte equação:

$$D_{rv} = \frac{I_m \cdot t}{L} 0,2778 \quad (3.9)$$

$D_{rv}$  : dose recebida por volume (Wh/m<sup>3</sup>).

O cálculo da dose em unidades com lâmpadas de baixa pressão é simplificado, pois estas apresentam emissão de radiação ultravioleta próxima de monocromática a 254 nm. Para fonte policromática, como as lâmpadas de média pressão, é necessário considerar a contribuição germicida dos vários comprimentos de ondas emitidos. Também devem ser levados em consideração todos os fatores dependentes dos

comprimentos de onda que influenciam na emissão: espectro emitido pela fonte, absorvância do quartzo envoltório de proteção, absorvância da água residuária e resposta germicida dos microrganismos. Ignorando o espectro de ação germicida ultravioleta das lâmpadas de média pressão resultará numa superestimação da dose germicida por um fator de aproximadamente dois (WRIGHT, 2000).

### 3.1.2.4.7 - Cinética de inativação dos microrganismos

A forma mais simples de relacionar dose aplicada com sobrevivência é estabelecida quando a cada aumento de dose reduz-se o número de unidades biológicas sobreviventes de uma população por um fator constante, denominada lei de CHICK. Na forma diferencial:

$$\frac{dN}{dt} = -k.I_m.N \quad (3.10)$$

Integrando a eq. (3.10) têm-se:

$$\ln \frac{N}{N_o} = -k.I_m.t \quad (3.11)$$

N : concentração de microrganismos no efluente (após a desinfecção)  
(NMP/100mL);

N<sub>o</sub> : concentração de microrganismos no afluente (antes da desinfecção)  
(NMP/100mL);

k : constante de inativação dos microrganismos pela radiação ultravioleta  
(cm<sup>2</sup>/mWs);

I<sub>m</sub> : intensidade média de radiação ultravioleta na lâmina líquida de espessura L em  
254 nm (mW/cm<sup>2</sup>);

t : tempo de exposição (s).

A eq. (3.11) é aplicável nas seguintes condições:

- a absorção da radiação ultravioleta pelo meio em suspensão é desprezível. Considera-se que a intensidade desta radiação é constante em toda a extensão da camada líquida e que o regime de escoamento é de pistão, ou a câmara de desinfecção opera como um reator descontínuo;
- uma única lesão é suficiente para inativar o microrganismo;
- o número de ações nocivas produzidas no volume “alvo” é diretamente proporcional à dose aplicada e sua distribuição entre os microrganismos é aleatória;
- a população é homogênea com relação à sensibilidade dos microrganismos à radiação ultravioleta;
- a constante  $k$  é válida para cada dose de radiação ultravioleta, não sendo aplicada para outras doses.

Com a eq. (3.11) pode-se prever a eficiência de desinfecção ou, a partir de uma eficiência desejada, determinar qual a dose necessária. Na maioria das vezes, não se dispõe de valores de  $k$ , o que inviabiliza sua utilização. Os outros parâmetros envolvidos podem ser estimados a partir da geometria do reator que, se realizada com critério, reduz os possíveis erros (DANIEL & CAMPOS, 1993).

A inativação dos microrganismos também pode ser representada pelo modelo de HOM, que se trata de uma formulação empírica que leva em consideração a dose de radiação ultravioleta e o tempo de exposição, sendo dada por:

$$\frac{dN}{dt} = -k'(I_m \cdot t)^n \cdot t^m \cdot N \quad (3.12)$$

Integrando-se a eq. (3.12) obtém-se:

$$\ln \frac{N}{N_0} = -\frac{k' \cdot I_m^n \cdot t^{m+n+1}}{m+n+1} \quad (3.13)$$

Como  $k'$ ,  $m$  e  $n$  são constantes empíricas, pode-se realizar as seguintes substituições:

$$m + n + 1 = M;$$

$$\frac{k'}{m + n + 1} = K$$

Portanto, obtém-se a seguinte equação:

$$\ln \frac{N}{N_0} = -K \cdot I_m^n \cdot t^M \quad (3.14)$$

$K$ ,  $n$  e  $M$  : coeficientes do modelo de Hom.

Os coeficientes do modelo de Hom ( $K$ ,  $n$  e  $M$ ) são obtidos por regressão múltipla pelo método dos mínimos quadrados a partir da transformação da eq. (3.14) em:

$$\ln \left( -\ln \frac{N}{N_0} \right) = \ln K + n \cdot \ln I_m + M \cdot \ln t \quad (3.15)$$

#### 3.1.2.4.8 - Exemplos de aplicação de radiação ultravioleta

BLATCHLEY et al. (1996) operaram na estação de tratamento de água residuária da cidade de West Lafayette, Indiana, um sistema de desinfecção com radiação ultravioleta, em escala piloto, em paralelo com um sistema de cloração existente, em escala real, para comparação do desempenho dos dois processos. O sistema com radiação ultravioleta foi operado para lâmpadas configuradas na forma vertical e horizontal e para mesma carga hidráulica. O nível de tratamento existente na

estação era secundário e a desinfecção era realizada somente por cloração.

Para a estação analisada, com relação ao emprego do sistema de desinfecção por radiação ultravioleta, obtiveram as seguintes conclusões:

- esse sistema de desinfecção mostrou ser uma alternativa confiável. Ambas as configurações das lâmpadas (vertical e horizontal) foram capazes de alcançar efetiva inativação de bactérias coliformes e quando operadas com carga hidráulica comparável, alcançaram desempenho idêntico em termos de inativação de bactérias;
- além das condições hidráulicas que são mantidas constantes, variações no comportamento do sistema de radiação ultravioleta foram atribuídas a outros parâmetros incluindo turbidez, transmitância, sólidos suspensos totais e deposição de sólidos no envoltório de quartzo das lâmpadas. Somente um parâmetro não é suficiente para prever o desempenho desse sistema;
- a maior limitação no desempenho do sistema de radiação ultravioleta foi atribuída à deposição de sólidos no envoltório das lâmpadas. Análises químicas dos materiais depositados revelam presença de elevada concentração de metais normalmente associados com precipitação.

Ao analisarem o sistema de desinfecção por cloração, esse fracassou em alcançar consistentemente o limite permitido pela legislação dos Estados Unidos da América com relação à concentração de coliformes no efluente. Análises do comportamento hidrodinâmico do sistema de cloração revelaram desempenho inferior, provavelmente resultado de falhas no projeto. Resultados satisfatórios podem ser alcançados com esse sistema através do uso de doses maiores de cloro, melhora no projeto hidráulico ou ambos.

BRAUNSTEIN et al. (1996) avaliaram um sistema de desinfecção com radiação ultravioleta instalado na estação de tratamento de água residuária da Universidade da Califórnia, na cidade de Davis, em termos dos mais rigorosos padrões de reuso dos Estados Unidos. O processo de tratamento que antecede a desinfecção apresentava a seguinte seqüência: grade de barras, desintegração



mecânica, decantador primário, tratamento biológico (lodos ativados), decantador secundário e filtração (filtro de areia). Após 22 semanas de operação contínua da unidade de desinfecção, concluíram que para satisfazer o mais rigoroso padrão de reuso, em que o valor médio de coliformes em 7 dias não pode ultrapassar 2,2/100 mL, foi necessário expor o efluente a dose média superior a 168 e 112 mWs/cm<sup>2</sup> para coliformes totais e coliformes fecais, respectivamente. Para outro padrão de reuso menos rigoroso, em que uma amostra individual não deve exceder 23/100 mL, necessitou uma exposição do efluente em uma dose média superior a 50 e 35 mWs/cm<sup>2</sup> para coliformes totais e coliformes fecais, respectivamente. Também concluíram ao testar a inativação do grupo coliforme e inóculo de colifago MS2 pela desinfecção com radiação ultravioleta que o colifago MS2 é mais resistente.

KUO et al. (1997) compararam o emprego de cloro e radiação ultravioleta na desinfecção do efluente terciário da estação de tratamento de esgoto sanitário do distrito do condado de Los Angeles. Essa estação apresentava tratamento primário, tratamento secundário por lodos ativados com utilização de oxigênio de alta pureza, e terciário, que foi implantado juntamente com os sistemas de desinfecção, por meio de três sistemas de filtração. A respeito do sistema de desinfecção com radiação ultravioleta, concluíram que a baixa transmitância obtida, variando de 40 a 63 % e média de 53 %, pode ser decorrente do alto conteúdo orgânico presente no efluente secundário; e que a redução da concentração de coliforme total para valores inferiores a 2,2 NMP/100 mL, em decorrência da baixa transmitância, pode necessitar uma alta dose de radiação ultravioleta de 300 mWs/cm<sup>2</sup>. Diante do que foi exposto, o custo total da desinfecção com radiação ultravioleta foi estimado em 180 dólares/1000 m<sup>3</sup> de água tratada, que é muito superior a 26 dólares/1000 m<sup>3</sup> da cloração. Em comparação, KUO et al.<sup>7</sup> apud KUO et al. (1997), trabalhando com água residuária possuindo transmitância média de 70 %, estimaram ser de 50 dólares/1000 m<sup>3</sup> o custo da desinfecção com radiação ultravioleta.

OPPENHEIMER et al. (1997) testaram a equivalência da desinfecção de água

---

<sup>7</sup> KUO, J. F. et al. (1993). UV inactivation of bacteria and viruses in tertiary effluent. *Reportagem*, Los Angeles County Sanitation Districts apud KUO, J. F. et al. (1997). Evaluation of tertiary filtration and disinfection system for upgrading high-purity oxygen-activated sludge plant effluent. *Water Environment Research*, v. 69, n. 1, p. 34-43, p.42.

residuária por radiação ultravioleta e cloro para atender padrões de reuso. O tratamento na estação era composto por grade de barras, processo biológico (aeração prolongada), decantador secundário, filtração (leito profundo com antracito) e desinfecção. Os dois sistemas de desinfecção, em escala real, foram operados paralelamente na estação de tratamento de água residuária da cidade de Lake Elsinore no sul da Califórnia, utilizando efluente terciário nitrificado e parcialmente desnitrificado. Algumas das conclusões obtidas pela operação dos dois sistemas de desinfecção foram:

- a desinfecção com radiação ultravioleta de efluente terciário, em escala real, apresentou inativação de coliformes totais, coliformes fecais, enterococos, estreptococos fecais, contagem de bactérias heterotróficas em placa e poliovírus equivalente ao cloro, reduziu a formação de subprodutos da desinfecção potencialmente carcinogênicos e forneceu efluente sem toxicidade crônica;
- as doses de radiação ultravioleta que reduzem a concentração de bactérias autóctones, poliovírus inoculados e bacteriófago MS2 para 4 log foram inferiores às doses necessárias para inativar coliformes totais à concentração inferior a 2,2 NMP/100 mL por 7 dias consecutivos requerida pelo mais rigoroso padrão de reuso da Califórnia;
- a utilidade da construção de uma curva de deposição de sólidos no envoltório das lâmpadas, que descreve a redução da intensidade de radiação ultravioleta como função do tempo transcorrido desde a lâmpada limpa, está em calcular a frequência de limpeza apropriada para manutenção de uma dose de ultravioleta mínima operacional;
- a substituição da desinfecção com cloro por radiação ultravioleta eliminou a formação de trihalometanos e reduziu a formação de aldeídos, que foram os principais subprodutos identificados pela cloração;
- para o sistema de desinfecção com radiação ultravioleta, em escala de bancada, operado com dose de 2800 mWs/cm<sup>2</sup>, foi identificado um único pico de subproduto; o mesmo não ocorreu para unidade de desinfecção, em escala real, operada com dose de 188 mWs/cm<sup>2</sup>. A tentativa de identificação do subproduto

para dose de 2800 mWs/cm<sup>2</sup> falhou;

- o sistema de cloração, em escala real, indicou produção de toxicidade crônica no efluente, que foi representado por um declínio na taxa de reprodução da *Ceriodaphnia dubia*. No efluente do sistema desinfecção por radiação ultravioleta, em escala real, não foi observada nenhuma toxicidade crônica.

### 3.2 - Microrganismos indicadores

A validade da utilização de microrganismos indicadores como parâmetro de qualidade de efluentes finais deve ser analisada de acordo com os processos de tratamento empregados e os critérios de qualidade considerados. Como se espera que os mais variados microrganismos patogênicos estejam presentes nos efluentes da maioria dos processos de tratamento convencionais, a validade da utilização de microrganismos indicadores fica limitada (BASTOS, 1993).

A característica mais importante e fundamental de um microrganismo indicador é que os patogênicos devem estar ausentes ou inativados sempre que eles estiverem ausentes ou inativados (GRABOW, 1993).

A identificação de microrganismos patogênicos na água bruta ou tratada requer o uso de metodologias muito complexas além de tempo prolongado para obtenção dos resultados, inviabilizando sua aplicação de rotina. Desta forma, a utilização da pesquisa de indicadores bacteriológicos de contaminação constitui-se um processo válido. O principal fator favorável da utilização de microrganismos indicadores de poluição de origem fecal é que a sua presença evidencia o grau de risco da presença de microrganismos patogênicos, uma vez que os mesmos sendo de veiculação hídrica, também são eliminados pelas fezes dos indivíduos doentes ou portadores. Além disso, outros fatores favoráveis incluem: a incapacidade de se multiplicar no ambiente aquático, resistência maior aos desinfetantes que a apresentada por alguns microrganismos patogênicos e a possibilidade de quantificação por métodos rápidos e simplificados de laboratório (SILVA et al., 1993).

### 3.2.1 - Uso da bactéria como indicador fecal

Uma bactéria indicadora fecal ideal deveria atender simultaneamente os seguintes requisitos (FEACHEM, 1983):

- ser membro normal da flora intestinal de pessoas saudáveis;
- habitar exclusivamente o intestino e, portanto possuir origem exclusivamente fecal quando encontrada no meio ambiente;
- ser exclusivamente de origem humana;
- presente sempre que patogênicos fecais estão presentes e presente somente quando patogênicos fecais pudessem estar presentes;
- presença em maior número do que os patogênicos fecais;
- incapaz de crescer fora do intestino, com taxa de redução ligeiramente inferior do que os patogênicos fecais;
- resistência aos fatores antagônicos naturais e aos processos de tratamento de água e água residuária em grau igual ou superior do que os patogênicos fecais;
- facilidade de detecção e contagem;
- não ser patogênica.

Nenhuma espécie de bactéria ou grupo satisfaz completamente todos estes requisitos simultaneamente.

As principais bactérias usadas como indicadoras fecais são as coliformes. Estas bactérias constituem dois grupos: coliforme fecal e coliforme total.

O grupo coliforme fecal é composto basicamente pela bactéria *Escherichia coli*. A principal vantagem deste teste é que a presença de *Escherichia coli* quase sempre evidencia poluição de origem fecal e se isoladas podem ser identificadas (GRABOW, 1993).

No grupo coliforme total estão compreendidas as bactérias coliformes fecais e espécies principalmente do gênero *Citrobacter*, *Enterobacter*, *Escherichia* e *Klebsiella*. Das bactérias coliformes totais encontradas nas fezes frescas de animais de

sangue quente, geralmente acima de 90 % são *Escherichia coli* (DUFOUR<sup>8</sup> apud FEACHEM et al., 1983). A utilização deste indicador apresenta como principais vantagens (GRABOW, 1993):

- a inclusão de bactérias como as *Klebsiella* e *Aerobacter* que são mais resistentes que grande número de patogênicos;
- as bactérias deste grupo quando isoladas podem ser identificadas e a presença de *Escherichia coli* quase sempre torna evidência de poluição fecal;
- águas de abastecimento bem tratadas são livres de bactérias coliformes totais, isto implica que a presença de alguma bactéria coliforme total indica falha nos processos de purificação e desinfecção.

Vírus e cistos de parasitas intestinais como os de *Giardia* e *Cryptosporidium* diferem dos indicadores de poluição fecal geralmente usados como as bactérias coliformes em termos de estrutura, composição, morfologia, resistência, comportamento na água e incidência em águas residuárias. Portanto, as bactérias indicadoras fecais como as coliformes fecais apresentam certas falhas como indicadoras da ausência de vírus e parasitas intestinais (GRABOW, 1993).

A incidência dos vírus pode ser substancialmente diferente dos indicadores como as bactérias coliformes pelas seguintes razões (GRABOW, 1993):

- vírus são excretados somente por indivíduos infectados e bactérias coliformes por quase toda população e animais de sangue quente;
- vírus são excretados por um curto período com números acima de  $10^{12}$ /g de fezes e bactérias coliformes constantemente na ordem  $10^8$ /g de fezes;
- estrutura, composição, morfologia e tamanho dos vírus diferem profundamente das bactérias, possibilitando comportamento e sobrevivência bem diferente na água.

---

<sup>8</sup> DUFOUR, A. P. (1977). *Escherichia coli: the fecal coliform*. In *bacterial indicators/health hazards associated with water*. Filadélfia, American Society for Testing and Materials apud FEACHEM, R. G. et al. (1983). *Sanitation and disease - Health aspects of excreta and wastewater management*. Washington, D. C., John Wiley & Sons, 501 p.

A maioria dos estudos realizados relacionam os indicadores fecais e patogênicos fecais bacterianos. Porém, poucos estudos têm sido dedicados a indicadores fecais e patogênicos fecais não bacterianos como, por exemplo, vírus, cistos de protozoários e ovos de helmintos, principalmente para efluentes de esgoto sanitário desinfetados ou não e lodos de esgoto sanitário.

Os efluentes dos processos de tratamento de esgoto sanitário que não empregam o sistema de lagoas de estabilização, provavelmente conterão maior número de patogênicos fecais como bactérias, vírus, cistos de protozoários e ovos de helmintos. Diante destas circunstâncias, fica difícil encontrar um microrganismo indicador fecal adequado que indique a presença de diversos grupos de patogênicos. Normalmente, tem sido utilizado o coliforme fecal (FEACHEM, 1983).

### 3.2.2 - Microrganismos indicadores alternativos

No Brasil, a preocupação com desinfecção de águas residuárias vem crescendo nos últimos anos para efluentes que não respeitam os padrões de lançamento de coliformes fecais. Geralmente, os desinfetantes são efetivos contra indicadores bacterianos de poluição fecal, mas contra vírus humanos e outros microrganismos patogênicos suas eficiências ainda não são totalmente conhecidas.

Convencionalmente, a eficácia do desinfetante é baseada na redução dos indicadores bacterianos a níveis descritos nos padrões de qualidade da água. Portanto, diversas pesquisas de microrganismos indicadores alternativos que estimam com mais segurança a inativação de vírus entéricos humanos e outros microrganismos patogênicos estão sendo desenvolvidas.

Para avaliar a eficiência de um sistema de desinfecção é necessário conhecer a resistência das bactérias patogênicas, vírus e protozoários ao desinfetante para assim estabelecer uma dose (radiação ultravioleta) ou concentração mínima (desinfetantes químicos) que forneça inativação destes microrganismos com segurança. O uso da bactéria *Escherichia coli* como indicador não é suficiente para assegurar a ausência de microrganismos patogênicos mais resistentes, sendo necessário à utilização de

outros indicadores que apresentam maior resistência ao desinfetante, como por exemplo, colifagos e *Clostridium perfringens*.

Os colifagos são bacteriófagos (grupo de vírus parasita de bactérias) que infectam e replicam em cepas hospedeiras de *Escherichia coli*. A principal vantagem de sua utilização na avaliação da qualidade da água é o fornecimento de resultado após 4 a 6 horas. Podem ser utilizados como indicadores de poluição de origem fecal, pois parecem estar presentes sempre que *Escherichia coli* é isolada (ICB, s.d.).

Os *Clostridium perfringens* são bacilos (bactérias que apresentam forma cilíndrica) curtos, gram-positivos, anaeróbios obrigatórios, imóveis e esporogênicos. A temperatura ótima de crescimento é de 45 °C, podendo também se dar entre 20 e 50 °C (CETESB, 1993).

O *Clostridium perfringens* pode ser utilizado como indicador bacteriológico de contaminação fecal, pois sua incidência no meio aquático está sempre associada a dejetos humanos, sendo detectado em fezes, esgotos sanitários e águas poluídas. Essas bactérias, por serem esporuladas, possuem grande resistência aos desinfetantes e às condições desfavoráveis do meio ambiente, e as excepcionais longevidades na água a tornam úteis na detecção de contaminação fecal remota, em situações em que outros indicadores menos resistentes como, por exemplo, *Escherichia coli* já não estão mais presentes (CETESB, 1993).

Em esgoto e águas poluídas, a concentração de *Clostridium perfringens* geralmente excede a de vírus entéricos e de bactérias patogênicas. Portanto, sua ausência em águas de abastecimento é uma indicação segura da ausência desses microrganismos, evidenciando, também, a eficiência do processo de tratamento de água aplicado (CETESB, 1993).

Na Tabela 3.2 estão apresentados os microrganismos indicadores normalmente utilizados no monitoramento da qualidade da água para vários usos e os principais microrganismos que estão sendo propostos para utilização como indicadores de patogênicos estão mostrados na Tabela 3.3.

A sobrevivência dos microrganismos é altamente dependente da temperatura, com acréscimo de persistência para baixas temperaturas. Os coliformes fecais podem sofrer decréscimo de 50 % após 20 horas na água (ambiente externo), sendo que

poucos sobrevivem por mais de 50 dias. A *Escherichia coli*, freqüentemente utilizada como indicador, apresenta tempo máximo provável de sobrevivência de 20 dias à temperatura de 20 a 30°C (FEACHEM et al., 1983). O tempo de sobrevivência de alguns microrganismos indicadores de patogênicos e patogênicos excretados em água doce e esgoto à temperatura de 20 a 30 °C está mostrado na Tabela 3.4.

**TABELA 3.2** - Microrganismos indicadores normalmente utilizados no monitoramento da qualidade da água para vários usos.

Uso da água	Microrganismo indicador
Água potável	Coliforme total
Recreação em água doce	Coliforme fecal
	Enterococos
Recreação em água salgada	Coliforme fecal
	Coliforme total
	Enterococos
Áreas de criação de crustáceos	Coliforme Total
	Coliforme fecal
Irrigação agrícola (água de reuso)	Coliforme total
Desinfecção de efluente de água residuária	Coliforme total
	Coliforme fecal

Fonte: METCALF & EDDY (1991).

Os resultados obtidos por PAYMENT (1991) sugerem a utilização de grandes volumes de amostras (o volume utilizado foi de 100 e 1000 L) para correta estimação da qualidade virológica das águas de abastecimento quando se utilizam os indicadores colifagos e *Clostridium perfringens*. Como estes microrganismos são ligeiramente mais resistentes que os vírus entéricos humanos cultiváveis e detectados mais rapidamente, eles podem servir como indicadores de sua eliminação nas águas tratadas. Os colifagos e os *Clostridium perfringens* são detectados em 6 a 24 e 48 horas, respectivamente, enquanto a maioria das análises virológicas leva vários dias ou semanas.



**TABELA 3.3 -** Principais microrganismos propostos para utilização como indicadores de patogênicos.

<b>Microrganismo indicador</b>	<b>Indicador de contaminação</b>	<b>Bom indicador</b>	<b>Não indicado</b>	<b>Determinação</b>
<b>Bactérias coliformes</b>	Contaminação de origem fecal e não fecal.	Bactérias entéricas, alguns vírus e microrganismos menos resistentes que esse grupo.	Bactérias esporuladas, vírus, helmintos, protozoários e todos os microrganismos mais resistentes.	Várias técnicas de fermentação podem ser utilizadas apresentando resultados em 24 horas <sup>c</sup> .
<b>Bactérias do grupo coliforme fecal</b>	Contaminação de origem fecal <sup>a</sup> , são bons indicadores para águas balneárias.	Bactérias entéricas, alguns vírus e microrganismos menos resistentes que esse grupo.	Bactérias esporuladas, vírus, helmintos, protozoários e todos os microrganismos mais resistentes.	Várias técnicas de fermentação podem ser utilizadas apresentando resultado em 24 horas <sup>c</sup> .
<i>Klebsiella</i>	Contaminação de origem fecal e não fecal, é o principal componente da população de coliformes na vegetação e em resíduos de indústrias de papel, têxtil e outros.	Recrescimento de coliformes em sistemas de distribuição de água.	Bactérias esporuladas, vírus, helmintos, protozoários e todos os microrganismos mais resistentes.	Rápidas quantificações podem ser atingidas utilizando filtração em membranas <sup>c</sup> .
<i>Escherichia coli</i>	Poluições recentes de origem exclusivamente fecal.	Bactérias entéricas de origem humana, vírus e microrganismos menos resistentes.	Bactérias esporuladas, vírus, helmintos, protozoários e todos os microrganismos mais resistentes.	O método Collilert <sup>c</sup> , simples e rápido oferece resultados em 24 horas.
<i>Streptococcus faecalis</i>	Determina a fonte da recente contaminação fecal, se é de origem humana ou animal. Vem surgindo como boa alternativa devido a sua maior resistência quando comparado aos coliformes fecais.	Bactérias entéricas de origem animal, alguns vírus <sup>b</sup> em águas pouco contaminadas e microrganismos menos resistentes.	Bactérias esporuladas, vírus, helmintos, protozoários e todos os microrganismos mais resistentes.	Resultados podem ser conseguidos utilizando a técnica do tubo múltiplo ou filtração em membranas <sup>c</sup> .
<b>Colifago</b>	Poluição de origem fecal. É bastante utilizado na avaliação da qualidade da água.	Vírus	Helmintos, protozoários e todos os microrganismos mais resistentes.	Fornece resultados após um tempo mínimo de 4 a 6 horas <sup>c</sup> . O número de colifagos é obtido pela contagem de placas de lise utilizadas por amostra, expresso por UFP/100 mL <sup>d</sup> .
<i>Clostridium perfringens</i>	Ótimo indicador de contaminação fecal onde se foi empregado à desinfecção, ou onde há poluição remota.	Protozoários	Helmintos e todos os microrganismos mais resistentes.	Utiliza a técnica dos tubos múltiplos na determinação do número mais provável (NMP) <sup>c</sup> .

**Fonte:** Organizado por DIAS (2001), adaptado de WEF (1996); USEPA (1999); LIMA et al. (1999); APHA (1995).

<sup>a</sup> sua especificidade como indicador de contaminação fecal é comprometida pelo fato da existência nesse grupo de alguns coliformes que não são de origem exclusivamente fecal.

<sup>b</sup> por apresentarem maior tempo de sobrevivência e maior resistência aos processos de tratamento, que o grupo dos coliformes, porém o seu uso como indicador é questionado.

<sup>c</sup> conforme descrito no Standard Methods, 1998.

<sup>d</sup> (UFP/100 mL) significa número de unidades formadoras de placas por 100 mL de amostra.

**TABELA 3.4 -** Tempo de sobrevivência de microrganismos indicadores de patogênicos e patogênicos excretados em água doce e esgoto à temperatura de 20 a 30 °C.

<b>Patogênico</b>	<b>Tempo de Sobrevivência (dias)</b>
<b>Vírus</b>	
Enterovírus*	< 120 mas normalmente < 50
<b>Bactérias</b>	
<i>Coliformes Fecais</i>	< 60 mas normalmente < 30
<i>Salmonella spp</i>	< 60 mas normalmente < 30
<i>Shigella spp</i>	< 30 mas normalmente < 10
<i>Vibrio cholerae</i>	< 30 mas normalmente < 10
<b>Protozoários</b>	
Cistos de <i>Entamoeba histolytica</i>	< 30 mas normalmente < 15
<b>Helmintos</b>	
Ovos de <i>Áscaris lumbricoides</i>	vários meses

\* inclui poliovírus, echovírus e coxsackievírus

**Fonte:** FEACHEM et al. (1983).

MEDEMA et al. (1997) observaram a seguinte ordem decrescente da taxa de decaimento *Escherichia coli* = enterococos fecais > oocistos de *Cryptosporidium parvum* > *Clostridium perfringens* em experimentos utilizando água de rio nas temperaturas controladas de 5 e 15° C. Concluíram que os microrganismos *E. coli* e enterococos fecais pela rápido decaimento são impróprios como indicadores da presença de *C. parvum* na água e que o *C. perfringens* por ter apresentado período de sobrevivência superior ao *C. parvum* pode ser utilizado como seu indicador.

BURKHARDT III et al. (2000) pesquisaram os efeitos da temperatura, salinidade, oxigênio dissolvido, localização geográfica, estação e radiação solar na inativação dos microrganismos indicadores coliformes fecais, *Clostridium perfringens* e colifagos (male-specific bacteriophage – MSB) em águas estuarinas. A radiação

solar e a temperatura foram os parâmetros que mais afetaram as taxas de decaimento destes indicadores. Em geral, a exposição à radiação solar representou 83, 84 e 99 % de redução para colifagos, *C. perfringens* e coliformes fecais, respectivamente. Portanto, pela maior sensibilidade dos coliformes fecais as variáveis analisadas, concluíram que estes podem não ser confiáveis como indicadores de vírus em águas estuarinas.

### **3.3 - Comparação da sensibilidade de diferentes microrganismos à ação dos desinfetantes**

A seguir, serão apresentados alguns resultados obtidos por vários pesquisadores na aplicação dos desinfetantes de uso mais comum. Estes resultados mostram a resistência à inativação da *Escherichia coli* e de diferentes microrganismos para cada desinfetante empregado. Atenção especial deve ser dada à radiação ultravioleta que foi o agente de desinfecção utilizado nesta pesquisa.

Na Tabela 3.5 estão mostrados os valores do produto da concentração (C) com o tempo de contato (t) para inativação de vários microrganismos pela aplicação de cloro livre e cloraminas.

Pode-se notar na Tabela 3.5, com relação ao cloro livre, os seguintes aspectos: menor consumo que as cloraminas e maior facilidade para inativação de bactérias e vírus do que cistos de protozoários, principalmente os cistos de *Cryptosporidium parvum* que apresentam maior resistência. Pode-se também observar que a *Escherichia coli* apresenta menor resistência à inativação do que alguns vírus e especialmente cistos de protozoários para desinfecção com cloro livre e cloraminas.

O principal mecanismo de ação do cloro para destruição de microrganismo é baseado na inativação da atividade enzimática (BRANCO, 1986). Como uma das características dos vírus é não possuir enzimas, isto explica, em parte, sua maior resistência à ação do cloro que as bactérias. As dosagens e tempos de contato normalmente usadas na desinfecção de águas residuárias com cloro dificilmente

promovem a inativação de vírus (CHAMBERS<sup>9</sup> apud SAMPAIO, 1985).

**TABELA 3.5 -** Valores do produto da concentração com o tempo de contato para inativação de vários microrganismos por cloro livre e cloraminas.

Microrganismo	T (°C)	Inativação (%)	Cloro Livre	Cloraminas
			(pH = 6 a 7) C.t (mg.min/L)	(pH = 8 a 9) C.t (mg.min/L)
<i>Escherichia coli</i>	5	99	0,034 a 0,05	95 a 180
Poliomielites 1	5	99	1,1 a 2,5	768 a 3740
Rotavirus	5	99	0,01 a 0,05	3806 a 6476
Fago 2	5	99	0,08 a 0,18	---
Cistos de <i>Giardia lamblia</i>	25	99,9	47 a 150	2200 (pH = 6-9)
Cistos de <i>Giardia muris</i>	5	99	30 a 630	1400
<i>Cryptosporidium parvum</i>	25	99	7200 (pH = 7)	---
<i>Cryptosporidium parvum</i>	25	90	---	7200 (pH = 7)

Fonte: CLARK et al.<sup>10</sup> apud WITT & REIFF (1994).

De acordo com os resultados obtidos na cloração dos efluentes de três ETES municipais RIPPEY & WATKINS (1992) concluíram que:

<sup>9</sup> CHAMBERS, C. W. (1971). Chlorination for control of bacteria and virus in treatment plant effluents. *Journal Water Pollution Control Federation*, v. 43, n. 2, p. 228-241 apud SAMPAIO, A. de O. (1985). *Desinfecção de esgotos sanitários com radiação ultravioleta*. São Carlos - SP, 96p. Dissertação (Mestrado) – EESC-USP, p.15.

<sup>10</sup> CLARK, R. M. et al. (1994). DBP control in drinking water: cost and performance. *J. Environment Engineer*, v. 12, n. 4, p. 759-782 apud WITT, V. M.; REIFF, F. M. (1994). Water disinfection technologies for small communities and rural areas. In: WATER QUALITY IN LATIN AMERICA: BALANCING THE MICROBIAL AND CHEMICAL RISKS IN DRINKING WATER DISINFECTION, ILSI Argentina - Pan American Health Organization / World Health Organization, 1994. *Anais*. Washington, D. C., ILSI PRESS, Edição de CRAUN, G. F., p. 139-168, p.152.

- coliformes fecais e enterococos, por apresentarem as menores resistências, não são confiáveis como indicadores do decaimento de vírus nestes sistemas;
- colifagos (MSB) por serem mais resistentes são os indicadores mais confiáveis da presença de certos vírus entéricos;
- esporos de *Clostridium perfringens*, pela maior resistência e características refratárias, são indicadores mais úteis para avaliação do impacto provocado pelo lançamento de águas residuárias contaminadas do que indicadores de contaminação por vírus.

Os coliformes são mais sensíveis à desinfecção por compostos de cloro que vários vírus entéricos humanos e protozoários patogênicos como *Naegleria* e *Giardia* (AWWA, 1990).

O cloro aplicado na desinfecção de efluentes de estações de tratamento de esgoto não tem demonstrado completa inativação de vírus (SCHIRCH & RODRIGUES, 1993). Vírus presentes em águas limpas necessitam de 175 vezes mais cloro livre do que o necessário para inativação de 99 % de coliformes (PODUSKA & HERSHEY<sup>11</sup> apud SCHIRCH & RODRIGUES, 1993). O vírus Polio 1 requer para inativação 1,2 mg/L de cloro livre residual e 100 minutos, mas a destruição da *Escherichia coli* requer de 0,03 mg/L no mesmo tempo (HOEHN<sup>12</sup> apud SCHIRCH & RODRIGUES, 1993).

Vírus e cistos de protozoários são mais resistente que coliformes à inativação com dióxido de cloro (AWWA, 1990).

O dióxido de cloro, com relação à inativação de bactérias, apresenta características como: sua ação é extremamente rápida; a ação é praticamente a mesma para valores de pH de 6,0 a 8,5; e geralmente é superior ao cloro livre mesmo

<sup>11</sup> PODUSKA, R. A.; HERSHEY, D. (1972). Model for virus inactivation by chloriation. *J. Water Pollut Contr Fe*, v. 44, p. 738-745 apud SCHIRCH, F. T.; RODRIGUES, L. M. (1993). Desinfecção de esgotos para disposição no mar. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL - DESINFECÇÃO DE ÁGUAS DE ABASTECIMENTO E RESIDUÁRIAS EM PAÍSES EM DESENVOLVIMENTO, 1, Belo Horizonte, 1993. *Anais*. Minas Gerais, ABES, p.313-322, p.318.

<sup>12</sup> HOEHN, R. C. (1976). Comparative disinfection methods. *JAWWA*, p. 302-308, junho apud SCHIRCH, F. T.; RODRIGUES, L. M. (1993). Desinfecção de esgotos para disposição no mar. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL - DESINFECÇÃO DE ÁGUAS DE ABASTECIMENTO E RESIDUÁRIAS EM PAÍSES EM DESENVOLVIMENTO, 1, Belo Horizonte, 1993. *Anais*. Minas Gerais, ABES, p.313-322, p.318.

aplicando dosagens inferiores. A ação bactericida deste desinfetante, com dosagem variando de 1 a 5 mg/L, é mais efetiva que a do cloro livre na inativação de *Salmonella paratyphi B*, *Salmonella typhosa*, *Shigella dysenteriae*, *Pseudomonas aeruginosa* e *Staphylococcus aureus* quando a temperatura e o pH permanecem inalterados (DI BERNARDO, 1993).

Desde a década de quarenta relatou-se a ação eficaz do dióxido de cloro na inativação do vírus da poliomielite. Estudos mais recentes mostraram que este composto é muito eficiente na inativação de Coxsakievirus, Poliovirus 1 e vírus da herpe (DI BERNARDO, 1993).

Vários estudos mostraram que o dióxido de cloro é efetivo na inativação de cistos de protozoários mesmo quando o valor do pH da água é elevado, se o valor do produto dosagem de dióxido de cloro em mg/L e tempo de contato em minutos for da ordem de 5 (DI BERNARDO, 1993).

Os valores do produto da concentração com o tempo (mg.min/L) para inativação de 99 % de alguns microrganismos por ozônio, cloro livre, cloraminas e dióxido de cloro à temperatura de 5 °C estão apresentados na Tabela 3.6.

**TABELA 3.6 -** Valores do produto da concentração com o tempo (mg.min/L) para inativação de 99 % de alguns microrganismos por diferentes desinfetantes à temperatura de 5 °C.

Microrganismos	Ozônio (pH = 6 a 7)	Cloro livre (pH = 6 a 7)	Cloraminas (pH = 8 a 9)	Dióxido de cloro (pH = 6 a 7)
<i>Escherichia coli</i>	0,02	0,03 a 0,05	95 a 180	0,4 a 0,75
Polio 1	0,1 a 0,2	1,1 a 2,5	770 a 3470	0,2 a 6,7
Rotavirus	0,006 a 0,06	0,01 a 0,05	3810 a 6480	0,2 a 2,1
Cistos de <i>Giardia lamblia</i>	0,5 a 0,6	47 a 150	---	---
Cistos de <i>Giardia muris</i>	1,8 a 2,0	30 a 630	1400	7,2 a 18,5

Fonte: MALLEVIALLE (1993).

Analisando a Tabela 3.6 conclui-se que o ozônio é o desinfetante que necessita de menores valores de C.t para inativação dos microrganismos. Também se pode concluir que, dos microrganismos pesquisados, a *Escherichia coli* é o que apresenta a menor resistência à inativação para os desinfetantes aplicados.

Vários pesquisadores colocaram em ordem decrescente vários desinfetantes pela eficiência biológica e pela estabilidade. Para eficiência biológica, em que se analisou a eficácia contra vírus e bactérias em pH de 6 a 9 a ordem foi: ozônio, dióxido de cloro, cloro livre e cloraminas. Com relação à estabilidade, que reflete a falta de reatividade com matéria orgânica e inorgânica e persistência no sistema de tratamento, obteve-se: cloraminas, dióxido de cloro, cloro livre e ozônio (AIETA & BERG, 1986).

Nas Tabelas 3.7 e 3.8 estão mostrados os valores do produto da concentração (C) com o tempo (t) para inativação de 99 % de vários microrganismos por ozônio, sendo que alguns microrganismos são comuns nas duas tabelas.

**TABELA 3.7 -** Resultados do produto da concentração com o tempo para inativação de 99 % de vários microrganismos por ozônio.

Microrganismo	T (°C)	Estimativa da C.t (mg.min/L)	Referência
<i>M. fortuitum</i>	24	0,53	FAROOQ et al. (1977)
<i>E. coli</i>	1	0,006 a 0,02	KATZENELSON et al.(1974)
Polio 1	5	0,2	ROY et al. (1980)
Human Rota	4	0,006 a 0,06	VAUGHN et al. (1987)
Rota SA-11	4	0,02 a 0,06	VAUGHN et al. (1987)
<i>N. gruberi</i>	5	4,23	WICKRAMANAYAKE et al. (1984)
<i>Giardia muris</i>	5	1,94	WICKRAMANAYAKE et al. (1984)
<i>Giardia lamblia</i>	5	0,53	WICKRAMANAYAKE et al. (1984)

Fonte: LANGLAIS et al. (1991).

**TABELA 3.8** - Comparação da resistência de diferentes microrganismos pela inativação com ozônio (99 % de inativação).

Microrganismo	T (°C)	Concentração (mg/L)	Tempo (minuto)	C.t (mg.min/L)	Referência
<i>Escherichia coli</i>	1	0,07	0,083	0,006	KATZENELSON et al.(1974)
	1	0,065	0,33	0,022	
<i>Mycobacterium fortuitum</i>	24	0,8 a 1,08	0,58	0,53	FAROOQ et al. (1976)
Coxsackie A9	20	0,15	0,12	0,018	ROY et al. (1982)
Poliovirus 1	20	0,15	0,5	0,075	ROY et al. (1982)
	5	0,15	1,47	0,22	
Poliovirus 2	20	0,15	4,83	0,725	ROY et al. (1982)
<i>Giardia muris</i>	25	0,03 a 0,15	9,0 a 1,8	0,27	WIKRAMANAYAKE (1984)
	5	0,15 a 0,7	12,9 a 2,8	1,94	
Cistos de <i>Entamoeba histolytica</i>	19	0,7 a 1,1	< 5	-----	NEWTON et al. (1949)

**Fonte:** WITT & REIFF (1994).

Das Tabelas 3.7 e 3.8 conclui-se que a *Escherichia coli* apresenta menor resistência à desinfecção com ozônio do que algumas bactérias e alguns vírus e especialmente protozoários e cistos de protozoários.

A inativação da *Escherichia coli* por ozonização é da ordem de 3125 vezes mais rápida do que por cloração, uma vez que o ozônio age pela destruição da parede celular e o cloro atua por difusão molecular atacando as enzimas dos microrganismos, necessitando de um tempo maior (OLIVIERI & RIBEIRO, 1993).

A bactéria *Escherichia coli* não pode ser considerada o melhor microrganismo indicador da qualidade microbiológica de águas desinfetadas com emprego de ozônio. A bactéria mais apropriada pode ser escolhida do gênero *Mycobacteria* (por exemplo, *Mycobacterium fortuitum*) ou bacilo esporulado (por exemplo, *Bacillus cereus*) (LANGLAIS et al., 1991).



O ozônio é desinfetante eficiente para vários tipos de microrganismos. Mesmo os microrganismos mais resistentes à inativação como, por exemplo, cistos de protozoários, necessitam de valores baixos de  $C.t_{99}$  (valor para 99 % de inativação). Os níveis de concentração e tempos de contato para inativação ou morte dos patogênicos de veiculação hídrica são muito menores que os do cloro livre ou de alguns outros desinfetantes. O valor de  $C.t_{99}$  necessário para a maior parte dos microrganismos é menor que 1/10 quando da utilização de HOCl (WITT & REIFF, 1994).

A ozonização de água com manutenção de residual de ozônio de 0,15 mg/L, pH 7,2 e temperatura de 20 °C, para seis tipos de vírus entéricos, revelou a seguinte ordem decrescente de resistência à inativação: poliovírus 2, echovírus 1, poliovírus 1, coxsackievírus B<sub>5</sub>, echovírus 5 e coxsackievírus A<sub>9</sub>. Observou-se que quanto maiores os valores da concentração de ozônio residual na água, da temperatura e do pH, menor era a resistência dos vírus (DI BERNARDO, 1993).

Na Tabela 3.9 estão mostradas as dosagens de radiação ultravioleta em 254nm necessárias para inativação ou morte de vários microrganismos.

**TABELA 3.9** - Faixa de energia ultravioleta (254 nm) necessária para inativar vários microrganismos.

Microrganismo	Energia necessária *( $\mu\text{w.s/cm}^2$ )
<i>Escherichia coli</i>	360 a 2400
<i>Staphylococcus aureus</i>	210 a 400
<i>Salmonella paratyphi</i>	320
<i>Bacillus subtilis</i>	1000 a 2440
Esporos de <i>Bacillus subtilis</i>	2160 a 12000
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	2500
<i>Salmonella typhimurium</i>	3200
Vírus T3 colifago	160
Poliovírus	780
Ovos de <i>Áscaris</i>	18400
Paramécio	40000
Cistos de <i>Giardia muris</i>	60000 a 100000

\* o autor não especificou qual foi a percentagem de inativação dos microrganismos.

Fonte: WITT & REIFF (1994).

Do exposto na Tabela 3.9, pode-se concluir que a *Escherichia coli* pode ser mais resistente à desinfecção com radiação ultravioleta do que algumas bactérias e vírus. Com isso, a sua ausência não implica que protozoários patogênicos, cistos de protozoários e ovos de helmintos não estejam presentes.

CAMPOS & PIZZIRANI (1977) foram os primeiros a pesquisarem, no Brasil, na Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo (EESC-USP), a aplicabilidade da radiação ultravioleta na desinfecção de esgoto sanitário. Utilizando estação piloto e esgoto sanitário pré-decantado, concluíram que este método de desinfecção é viável, pois se pode obter eficiência superior a 99,9 % (coliformes) para espessura da lâmina líquida de 1 e 2 cm com tempo de exposição de 15 segundos e para lâmina de 5 cm com tempo de exposição de 90 segundos.

A radiação ultravioleta é adequada para inativação de bactérias e vírus patogênicos, mas pode não ser suficiente para certos protozoários patogênicos, cistos de protozoários e ovos de áscaris, que podem necessitar dosagens de energia ultravioleta superiores a  $100000 \mu\text{w.s/cm}^2$  para completa destruição (WITT & REIFF, 1994).

Cistos de *Giardia lamblia* sobreviveram à exposição de doses de radiação ultravioleta suficientes para inativar mais 99,99 % da *Escherichia coli* (AWWA, 1990).

WIEDENMANN et al. (1993), em experimentos empregando radiação ultravioleta na desinfecção de águas de abastecimento, obtiveram que a dose para redução da concentração de colifago MS-2 na ordem de 4 log foi aproximadamente três vezes superior que a necessária para o vírus da hepatite A. O colifago MS-2 assemelha-se com este vírus em tamanho e estrutura e tem fácil manuseio, portanto, pode servir como microrganismo indicador fecal para avaliar a qualidade da água e o processo de tratamento.

BATTIGELLI et al. (1993), para obter 4 log de inativação para o vírus da hepatite A HM-175, coxsackievírus B-5, rotavírus SA-11 e colifago  $\phi\text{X174}$  (bacteriófago) em água tamponada, empregaram doses de radiação ultravioleta de 16, 29, 42 e 9 mWs/cm<sup>2</sup>, respectivamente. O colifago MS-2 apresentou a maior resistência com menos de 1 log de inativação para doses de 25 mWs/cm<sup>2</sup>. Esta

considerável resistência do colifago MS-2 para inativação com radiação ultravioleta comparada aos outros vírus estudados e ao colifago  $\phi$ X174 é impressionante e não facilmente explicada. Ela pode ser dada pelo pequeno tamanho do ácido nucléico genômico alvo ou outras características de estrutura “virion” e organização (BATTIGELLI et al., 1993).

TREE et al. (1997) inocularam em águas residuárias esterilizadas os indicadores bacterianos (*Escherichia coli* e *Enterococcus faecalis*), enterovírus humanos (poliovírus) e colifago (bacteriófago F<sup>+</sup> - MS2) (potencial indicador de vírus) e os inativaram em ensaios empregando cloro e radiação ultravioleta. Estes pesquisadores obtiveram a seguinte ordem crescente de resistência de inativação aos desinfetantes: indicadores bacterianos, poliovírus e colifago. Com isso, concluíram que os indicadores bacterianos sozinhos subestimam a inativação de vírus entéricos humanos, entretanto o uso do colifago adotado provavelmente estima melhor à inativação de vírus na desinfecção com cloro e radiação ultravioleta.

LAZAROVA et al. (1998) compararam a eficiência da desinfecção com ácido peracético, radiação ultravioleta e ozônio de alguns microrganismos. Para obter 3 log de remoção de coliformes totais, coliformes fecais e estreptococos fecais foram necessários 10 mg/L de ácido peracético e tempo de contato de 10 minutos, 5 mg/L de ozônio e tempo de contato de 10 minutos e com radiação ultravioleta dose de 35 mWs/cm<sup>2</sup>. Na inativação de vírus por radiação ultravioleta e ácido peracético, especialmente de bacteriófago de alta resistência como o MS2, aplicaram-se altas doses. A vantagem da ozonização foi de apresentar forte efeito em todos tipos de bacteriófagos e cistos de protozoários até para reduzidas doses e tempos de contato.

RAJALA-MUSTONEN & HEINONEN-TANSKI (1995) pesquisaram desinfetantes alternativos ao cloro como ozônio, radiação ultravioleta e radiação ultravioleta com peróxido de hidrogênio na inativação do colifago-DNA e colifago-RNA em águas de abastecimento. Concluíram que o ozônio foi mais eficiente na inativação das duas espécies de colifago, principalmente o colifago-DNA, pois com tempo de contato de 2 minutos a redução foi próxima de 6 log, enquanto a dos outros desinfetantes foi inferior a 3 log. Também observaram que a radiação ultravioleta inativou o colifago-RNA mais rapidamente que o colifago-DNA e foi mais eficaz

sozinha que em conjunto com peróxido de hidrogênio.

Pelo exposto neste item, pode-se concluir que a bactéria coliforme *Escherichia coli* não se trata de um microrganismo indicador fecal adequado para representar todos os microrganismos patogênicos presentes nos efluentes desinfetados. Esta bactéria se torna ainda mais inconveniente quando ocorrer a presença de protozoários, cistos de protozoários e ovos de helmintos que geralmente apresentam maior resistência à desinfecção. Neste caso a alternativa é a utilização de microrganismos indicadores mais resistentes ao desinfetante adotado.

### **3.4 - Conseqüências da radiação ultravioleta na água residuária desinfetada**

A seguir, serão abordadas algumas pesquisas sobre as conseqüências proporcionadas pela desinfecção com radiação ultravioleta no meio ambiente, como formação de subprodutos tóxicos e mutagênicos. Alguns desses estudos compararam a radiação ultravioleta com os outros desinfetantes mais comuns.

A proposta da desinfecção de águas residuárias é fornecer proteção aos seres humanos contra microrganismos patogênicos veiculados pela água. A inativação é realizada nos processos de halogenação (mais empregado - cloração / descloração), ozonização e radiação ultravioleta pela indução de mudanças bioquímicas dentro dos microrganismos. Estas mudanças bioquímicas são dependentes do desinfetante empregado e da população de microrganismos presentes (BLATCHLEY III et al., 1997).

A capacidade de indução de mudanças químicas de todos desinfetantes não está restrita apenas à população de microrganismos e pode ocorrer entre os constituintes aquosos não microbianos. Esta capacidade de provocar mudanças nas composições das águas residuárias pode persistir após a desinfecção, embora natureza e extensão serão específicas do local e do desinfetante. O resultado possível destas mudanças químicas é alteração no comportamento de toxicidade do efluente desinfetado (BLATCHLEY III et al., 1997).

O teste de toxicidade bacteriano é baseado na sobrevivência e / ou reprodução

de uma bactéria específica na água residuária desinfetada que pode conter subprodutos de ação tóxica gerados durante o processo de desinfecção. Geralmente, este teste é empregado para avaliar a toxicidade do desinfetante, pois apresenta as seguintes vantagens: rapidez, simplicidade, baixo custo e sensibilidade.

Alguns desinfetantes são capazes de reduzir a concentração de microrganismos, mas ao mesmo tempo podem produzir genotóxicos e compostos tóxicos que dependem dos precursores presentes na água residuária e das doses aplicadas. Antes de adotar um processo de desinfecção é aconselhável estudar primeiro a mutagenicidade e toxicidade em diferentes estações do ano com diferentes desinfetantes para variadas dosagens (MONARCA et al., 2000).

CARNIMEO et al. (1994) compararam a utilização de radiação ultravioleta e de hipoclorito de sódio (NaOCl) na desinfecção das águas residuárias da cidade Trani (sul da Itália) durante seis meses. O processo de tratamento antecessor as unidades de desinfecção era composto de tratamento primário, oxidação biológica e sedimentação secundária.

Para NaOCl obtiveram que:

- resultados satisfatórios necessitaram de superdosagem ( $> 30$  mg NaOCl/L) e geraram concentração de cloro residual superior a  $1$  mg  $\text{Cl}_2$ /L;
- apreciável formação de POX, que aumentou com aumento da dose.

Para radiação ultravioleta observaram que:

- resultados satisfatórios foram conseguidos com dose de  $90$  mWs/cm<sup>2</sup> sem aparente formação de subprodutos prejudiciais;
- a reativação dos microrganismos, através dos mecanismos de fotorreativação e de recuperação no escuro, foram inferiores a  $1$  log e diminuíram em baixas temperatura.

BLATCHLEY III et al. (1997), investigando a toxicidade nos efluentes de

sete ETEs desinfetados pelos processos de cloração / descloração, ozonização e radiação ultravioleta, concluíram que:

- os resultados confirmaram a capacidade destes desinfetantes alterarem a resposta de toxicidade (principalmente nas três ETEs que receberam grande percentagem de afluentes industriais);
- nenhuma toxicidade foi observada nos processos de desinfecção quando os afluentes (amostras não desinfetadas) também não mostraram toxicidade;
- todos desinfetantes demonstraram capacidade para alterar a toxicidade, em muitos resultando num acréscimo, quando os afluentes exibiram toxicidade;
- quando toxicidade crônica foi evidente antes da desinfecção, as mudanças de respostas de toxicidade no efluente (aumento) atribuída ao desinfetante seguiram a tendência: cloração / descloração > ozonização > radiação ultravioleta.

HO & BOLTON (1998) pesquisaram a formação de subprodutos durante degradação de pentaclorofenol por radiação ultravioleta e radiação ultravioleta combinada com peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ). Neste trabalho observaram que a taxa de degradação do pentaclorofenol com radiação ultravioleta em conjunto com  $H_2O_2$  foi muito mais rápida e que esta taxa foi dependente da concentração de  $H_2O_2$ . A toxicidade aguda diminuiu constantemente com o tratamento. Portanto, concluíram que tratamento de pentaclorofenol por radiação ultravioleta, principalmente na presença de  $H_2O_2$ , pode ser usado com segurança, pois não gera significantes níveis de subprodutos com toxicidade aguda.

O principal objetivo de MONARCA et al. (2000) foi analisar a influência de desinfetantes alternativos ao cloro, tais como dióxido de cloro, ozônio, peróxido de hidrogênio e radiação ultravioleta na formação de subprodutos tóxicos e mutagênicos em água residuária desinfetada, uma vez que são potencialmente perigosos para seres humanos e organismos aquáticos. Na Tabela 3.10 está apresentado o resumo dos resultados de mutagenicidade, genotoxicidade e toxicidade que foram obtidos para os efluentes tratados com lodos ativados antes e após os vários processos de desinfecção.

**TABELA 3.10** - Resumo dos resultados de mutagenicidade (Teste de Ames), genotoxicidade (Teste de *Tradescantia* e de *Allium cepa*) e toxicidade (ensaio bioluminescente - fotobactéria *Vibrio fischeri*) que foram obtidos para os efluentes tratados com lodos ativados antes e após os vários processos de desinfecção.

Estação do ano	Processo de desinfecção	Teste de Ames	Teste de <i>Tradescantia</i>	Teste de <i>Allium cepa</i>	Teste de Toxicidade
Verão	Efluente tratado*	-	+	-	-
	ClO <sub>2</sub> (1,5 mg/L)	+	-	-	+
	O <sub>3</sub> (3 mg/L)	+	-	-	+
	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (1 mg/L)	+	-	-	+
Inverno	Afluente bruto	-	+	+	+
	Efluente tratado*	-	-	-	+
	ClO <sub>2</sub> (1,5 mg/L)	+	-	-	+
	O <sub>3</sub> (2,5 mg/L)	+	-	-	-
	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (1 mg/L)	-	-	+	-
	UV	-	-	-	-

\* efluente tratado por lodos ativados; + = resultado positivo; - = resultado negativo.

Fonte: MONARCA et al. (2000).

## **4 – MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.1 - Generalidades**

Durante o desenvolvimento do trabalho experimental foram realizados ensaios em reatores de batelada e em reator com escoamento contínuo. Os ensaios em batelada tiveram como finalidade monitoramento da potência radiante da lâmpada de baixa pressão de vapor de mercúrio, determinação da intensidade média de radiação ultravioleta incidente no interior da câmara de desinfecção, obtenção dos coeficientes do modelo de Hom para microrganismos indicadores e comparação da resistência à desinfecção com radiação ultravioleta de microrganismos indicadores. Os ensaios em sistema contínuo apresentaram como principal objetivo estudo da resistência de microrganismos indicadores em uma unidade de desinfecção com radiação ultravioleta de alta intensidade empregando esgoto sanitário tratado em nível secundário.

### **4.2 - Caracterização das águas residuárias**

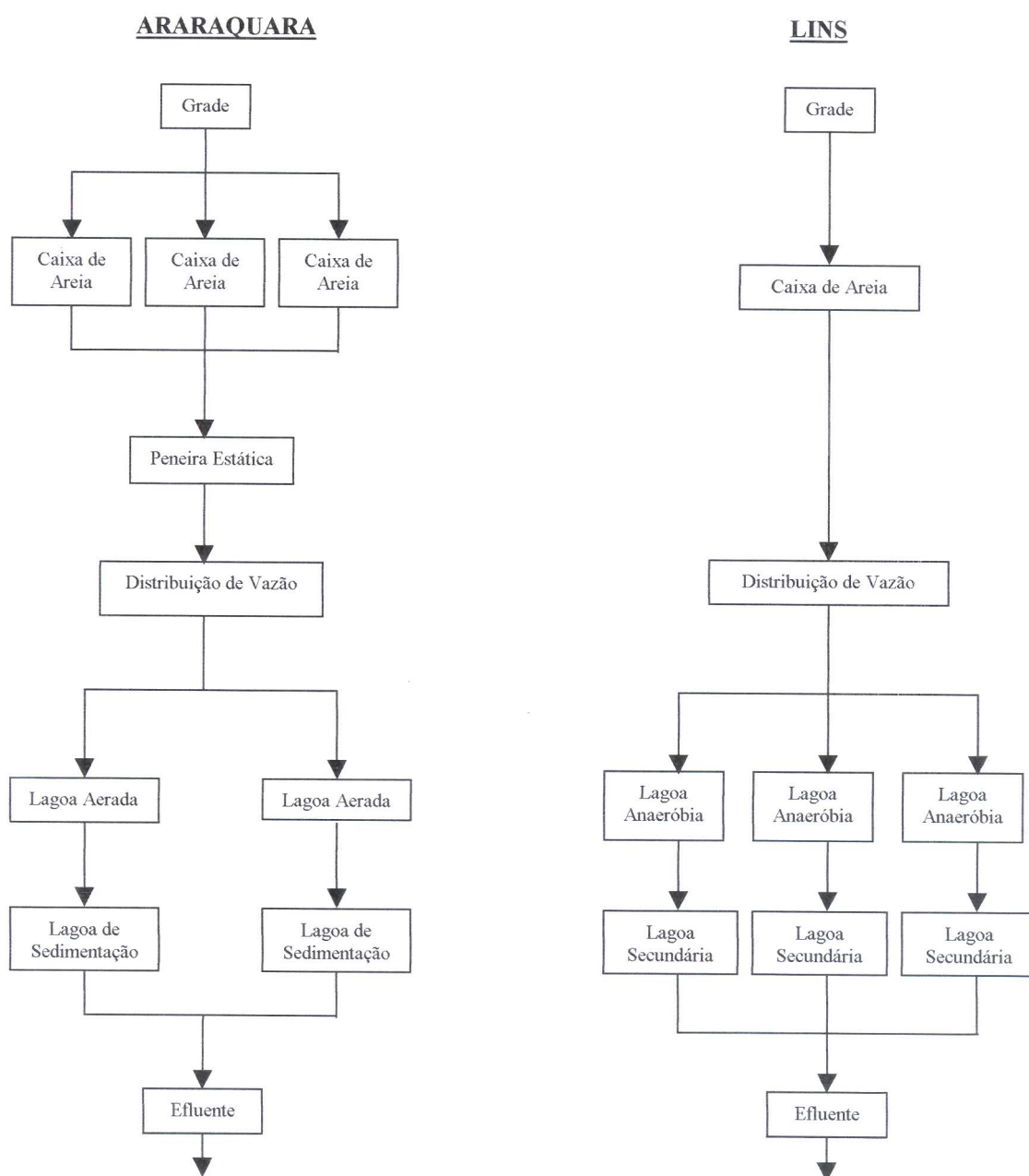
As águas residuárias desinfetadas empregando radiação ultravioleta foram provenientes dos efluentes finais das Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) das cidades de Araraquara e de Lins, ambas no Estado de São Paulo.

As ETEs de Araraquara e de Lins recebem todo esgoto sanitário gerado nas respectivas cidades e possuem tratamento em nível secundário por meio de lagoas de estabilização.

Em Araraquara, a ETE apresenta dois conjuntos de lagoas em paralelo, cada



qual composto de lagoa aerada mecanicamente seguida de lagoa de sedimentação de lodo, responsáveis pelo tratamento de esgoto sanitário de aproximadamente 180.000 habitantes. A ETE de Lins possui três conjuntos de lagoas em paralelo, constituídos de lagoa anaeróbia seguida de secundária (facultativa), que tratam o efluente de aproximadamente 60.000 habitantes. Na Figura 4.1 estão apresentados os fluxogramas das ETEs de Araraquara e de Lins.



**FIGURA 4.1 -** Fluxogramas das ETEs de Araraquara e de Lins.

### 4.3 - Ensaios em batelada

O trabalho experimental composto pelos ensaios em batelada teve as seguintes finalidades:

- monitoramento, por actinometria, do valor da potência radiante (energia emitida) de uma lâmpada de baixa pressão de vapor de mercúrio em 254 nm durante sua vida útil;
- determinação, por radiometria e por actinometria, da intensidade média de radiação ultravioleta em 254 nm incidente na superfície irradiada no interior da câmara de desinfecção;
- obtenção dos coeficientes do modelo de Hom para coliformes totais, *Escherichia coli* e *Clostridium perfringens*;
- comparação da resistência à desinfecção com radiação ultravioleta dos microrganismos indicadores coliformes totais, *Escherichia coli*, colifagos e *Clostridium perfringens*.

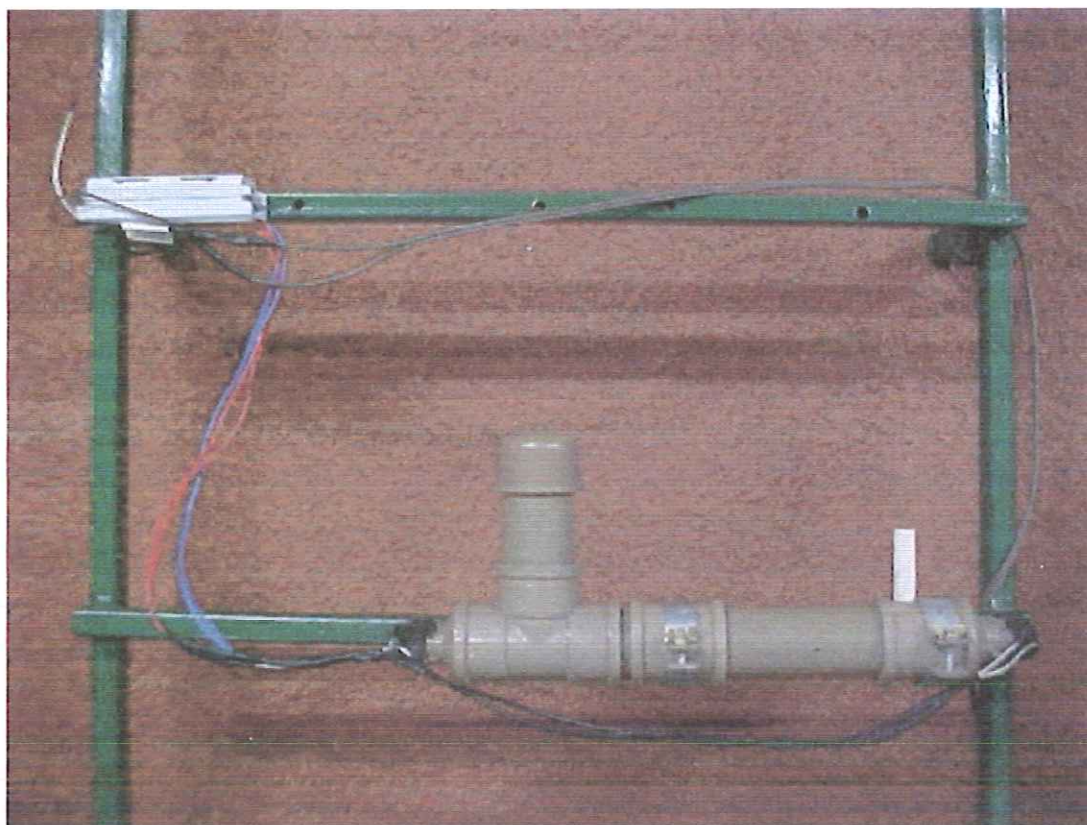
#### 4.3.1 - Descrição das unidades experimentais

Os ensaios em batelada foram realizados em duas unidades experimentais, em escala de laboratório, que estão apresentadas nas Figuras 4.2, 4.4 e foram instaladas no Campus da EESC - USP no Laboratório de Tratamento de Resíduos Orgânicos (LTR) do SHS. Todos os ensaios foram realizados em condições ambientais (sem controle de temperatura).

As lâmpadas germicidas utilizadas nas unidades experimentais foram da marca PHILIPS modelo G15-T8 de fabricação holandesa, longa duração, baixa pressão de vapor de mercúrio, 45,0 cm de comprimento, 2,6 cm de diâmetro, encaixes duplos e potência nominal de 15 W. Cada lâmpada foi ligada a um reator bivolt de 20 W.

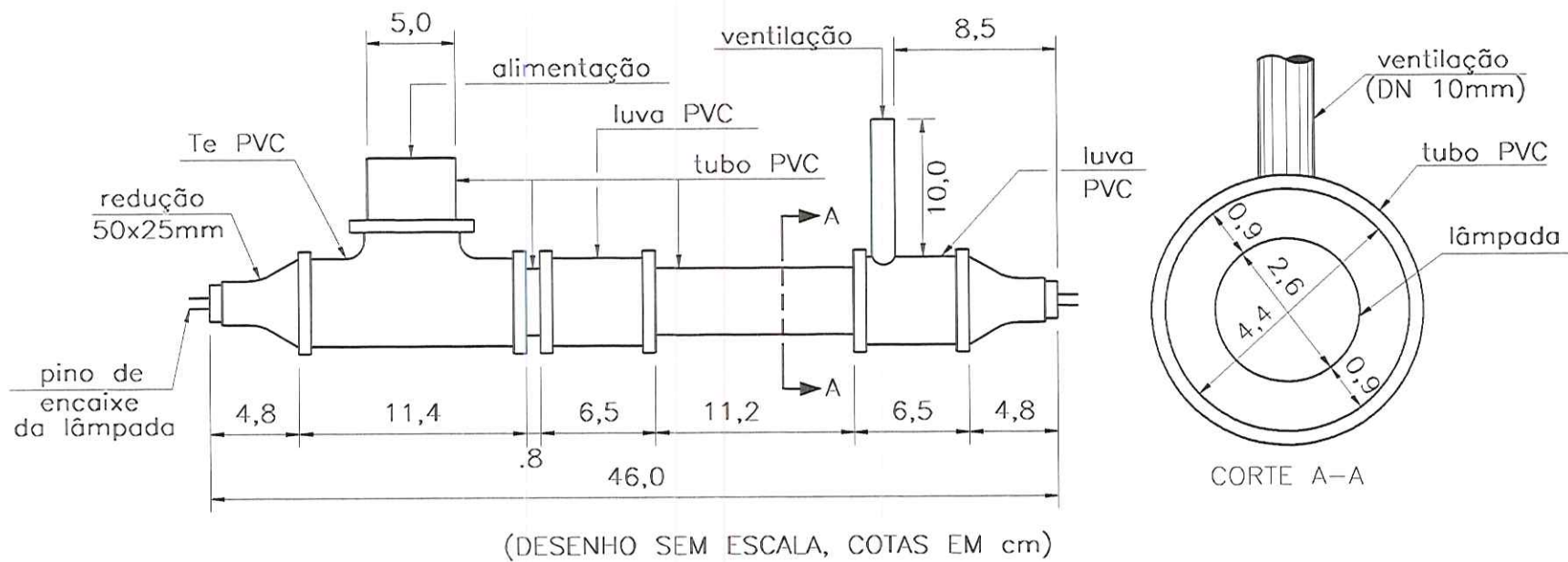
A unidade experimental da Figura 4.2 foi utilizada exclusivamente para monitoramento da potência radiante da lâmpada. Essa era composta de tubo de PVC

marrom de 50 mm (diâmetro interno de 44 mm), reduções (50 x 25 mm) e conexões (te e luva) de PVC marrom de 50 mm, lâmpada de 15 W e tubo de PVC branco de 10 mm para ventilação, conforme está apresentado no esquema da Figura 4.3.



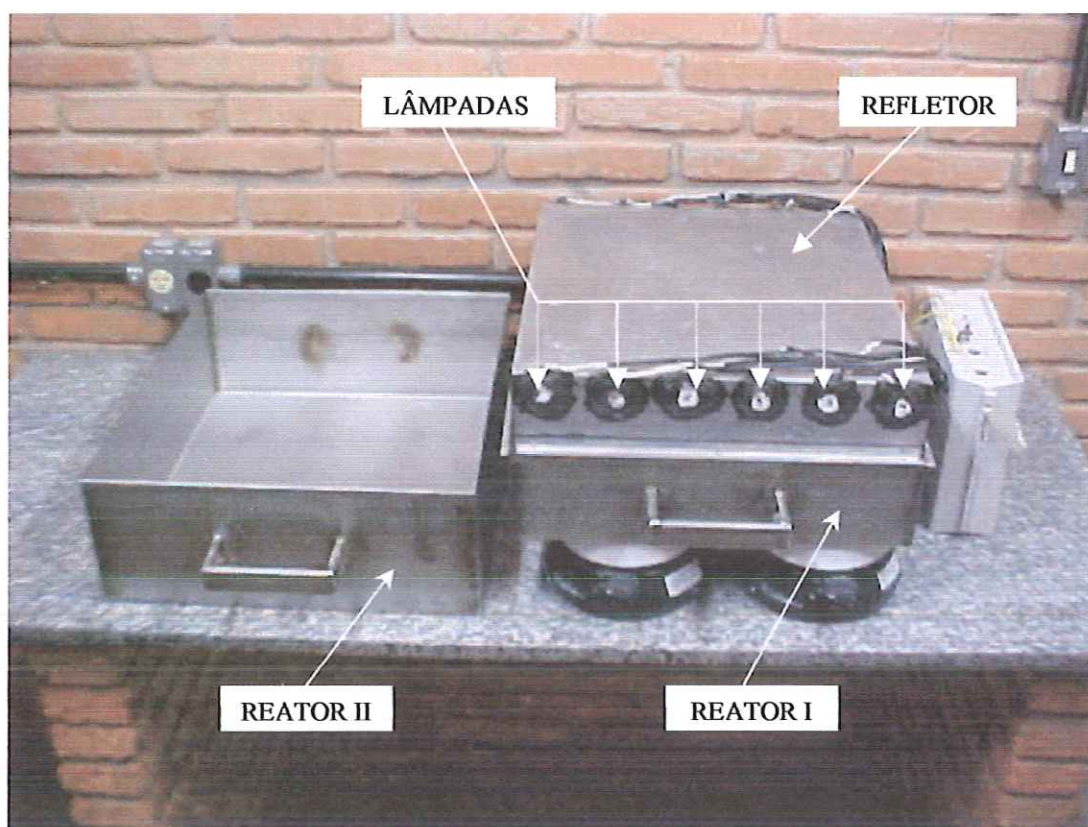
**FIGURA 4.2** - Instalação em batelada utilizada para monitoramento da potência radiante da lâmpada de baixa pressão de vapor de mercúrio durante sua vida útil.

As extremidades da lâmpada foram fixadas com silicone no interior do tubo de PVC com eixo longitudinal da lâmpada coincidindo com o eixo longitudinal do tubo. A distância entre a parede externa do invólucro de quartzo da lâmpada e a parede interna do tubo de PVC era de 9 mm. O volume útil dessa instalação era de aproximadamente 360 mL. O circuito elétrico para funcionamento foi mantido externo ao tubo de PVC.



**FIGURA 4.3** – Esquema da instalação em batelada utilizada para monitoramento da potência radiante da lâmpada de baixa pressão de vapor de mercúrio durante sua vida útil.

Na Figura 4.4 está mostrada a unidade experimental em que foram realizados os demais ensaios em batelada e na Figura 4.5 sua representação esquemática. Essa unidade, denominada de câmara de desinfecção, foi constituída basicamente de duas caixas de aço inox (reatores), refletor removível de alumínio polido e lâmpadas. Por tratar-se de reator de lâmpadas emersas, essas não tiveram nenhum contato direto com o líquido.



**FIGURA 4.4** - Unidade experimental utilizada durante os ensaios em batelada com radiação ultravioleta.

A fonte de emissão de radiação ultravioleta foi composta por 6 lâmpadas. Para controle da radiação incidente, o número de lâmpadas ligadas foi variado de 1 a 6. As lâmpadas foram acionadas por meio de interruptor único. O circuito elétrico para funcionamento foi mantido externamente.

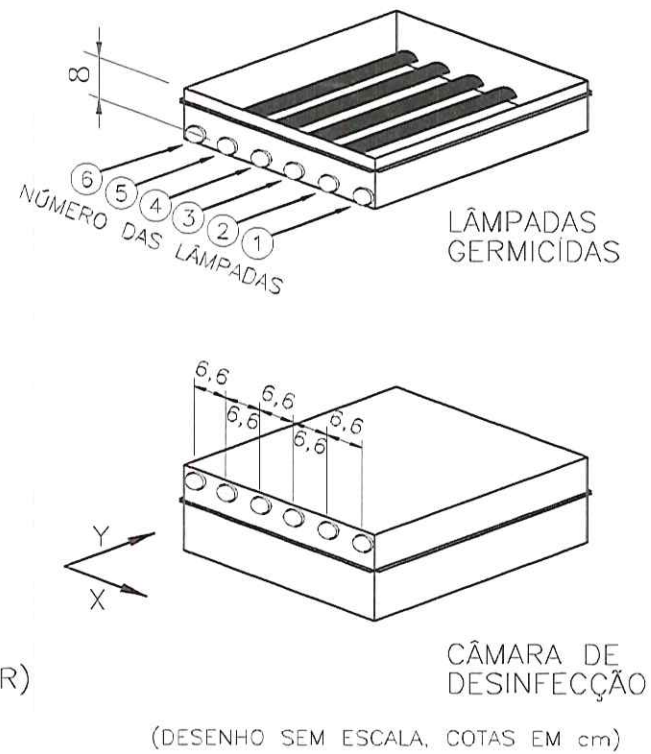
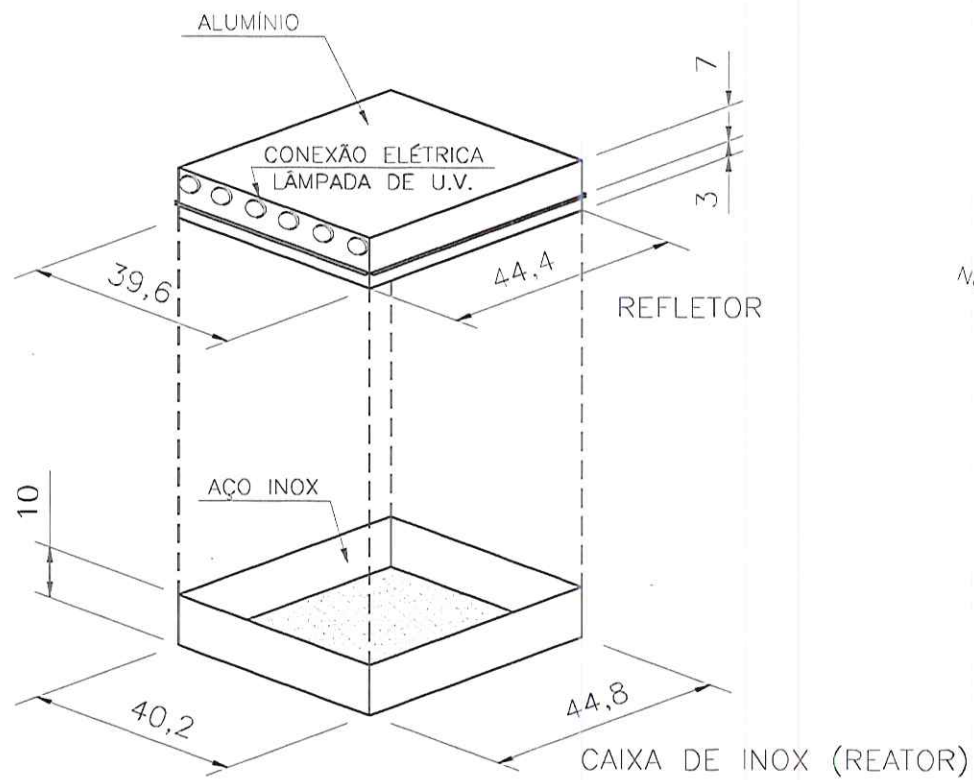


FIGURA 4.5 - Esquema da unidade experimental utilizada durante os ensaios em batelada com radiação ultravioleta.

A caixa foi construída com chapas de aço inox de 1,5 mm de espessura, nas seguintes dimensões: 44,8 cm de comprimento, 40,2 cm de largura e 10,0 cm de profundidade (reator I). Para os ensaios com lâmina líquida de 8 cm foi feita outra caixa nas mesmas dimensões, exceto a profundidade que era de 15 cm (reator II). O volume útil era de 1,8 L para cada centímetro de espessura da lâmina líquida. Na caixa que não estava sendo utilizada no ensaio, colocava-se o refletor, em seguida, ligava-se as lâmpadas para manutenção de suas temperaturas durante a preparação da amostra.

O refletor foi construído com chapas de alumínio de 1,5 mm de espessura com 44,4 cm de comprimento, 39,6 cm de largura e 10,0 cm de altura. As chapas de alumínio internas foram polidas manualmente. As seis lâmpadas foram instaladas no refletor com eixos paralelos e equidistantes 6,6 cm e fixadas nas extremidades com silicone, conforme mostra a Figura 4.6.



**FIGURA 4.6** - Refletor removível de alumínio com as seis lâmpadas de baixa pressão de vapor de mercúrio.

#### **4.3.2 - Análises e exames**

Antes e depois de cada tempo de irradiação as duas unidades experimentais foram lavadas com água de abastecimento público. Também foram niveladas para manter a lâmina líquida com espessura uniforme.

Todas as vidrarias, meios de cultura de microrganismos indicadores e água de diluição necessárias foram esterilizadas em autoclave por 15 minutos a 121 °C, exceto o que foi utilizado nos ensaios de radiometria e de actinometria. Antes de cada ensaio todo material necessário foi “enxaguado” com a amostra utilizada.

As amostras foram analisadas e examinadas logo após os ensaios. Quando tal procedimento não foi possível, estas foram preservadas em refrigerador a 4 °C por no máximo 24 horas.

A temperatura das amostras foi medida com termômetro de mercúrio.

As análises e exames necessários durante os ensaios em batelada estão descritos nos itens referentes ao assunto, assim como a metodologia empregada e foram feitos no Laboratório de Saneamento (LS) e no LTR, ambos do SHS da EESC - USP.

#### **4.3.3 - Determinação da intensidade média de radiação ultravioleta incidente**

A intensidade média de radiação ultravioleta em 254 nm incidente na superfície irradiada no interior da câmara de desinfecção ( $I_0$ ) foi determinada por radiometria (modelo ajustado às medições realizadas com radiômetro) e por actinometria.

Este estudo teve como objetivo conhecer a distribuição de energia na câmara de desinfecção.

A seguir, está apresentada a metodologia que foi utilizada para cada método.



#### 4.3.3.1 - Radiometria

Com auxílio de radiômetro pode-se medir a intensidade de radiação ultravioleta de forma pontual em diferentes zonas, para verificação da distribuição da intensidade ao longo da câmara de desinfecção. A precisão está associada à sensibilidade do equipamento ao comprimento de onda de interesse e à quantidade de leituras feitas em diferentes partes do reator. Nesta pesquisa utilizou-se o radiômetro UVX da UVP (ULTRAVIOLET PRODUCTS) que possui sensor para comprimento de onda de 254 nm e adotaram-se 25 pontos para leitura. A precisão do radiômetro e do sensor era de  $\pm 2,5 \%$  e de  $\pm 5 \%$ , respectivamente.

A distribuição dos 25 pontos no reator I (Figura 4.4) que foram utilizados para leitura da intensidade pontual de radiação ultravioleta nos ensaios com radiômetro está apresentada na Figura 4.7 e suas respectivas coordenadas na Tabela 4.1.

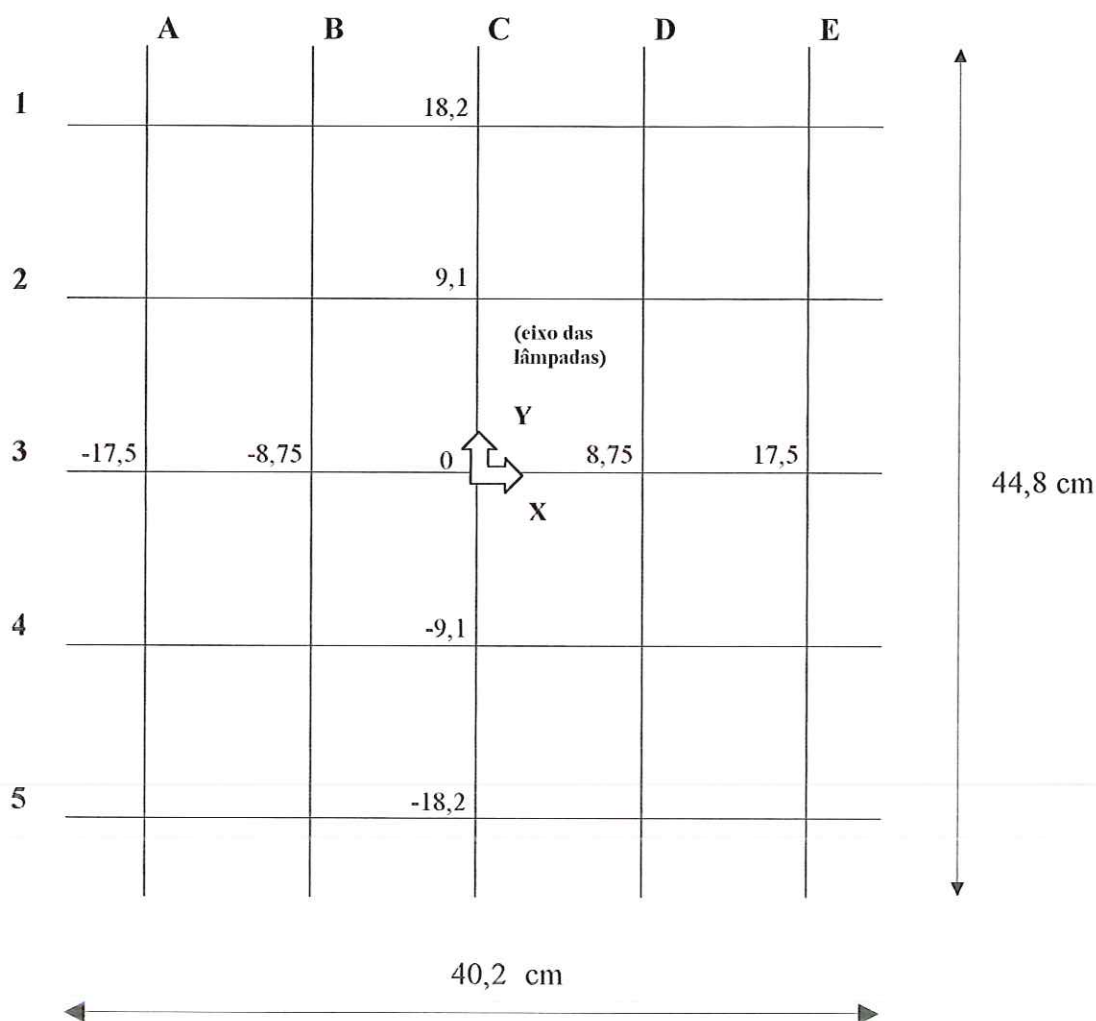
Todos os ensaios foram realizados após o aquecimento das lâmpadas por aproximadamente 30 minutos. Após o aquecimento, leu-se a temperatura da lâmpada ligada, conforme mostra a Tabela 4.2, que apresentava termômetro fixado paralelamente ao seu eixo.

No decorrer do ensaio, a leitura da intensidade foi feita depois da fixação do sensor do radiômetro com fita adesiva no ponto escolhido aleatoriamente. Nos 25 pontos foi realizada a leitura da intensidade e da temperatura no reator I próxima ao sensor após 5 minutos, tempo para estabilização da leitura no radiômetro. Também foi lida a temperatura ambiente em cada ensaio.

Este procedimento foi realizado para câmara de desinfecção com o número de lâmpadas ligadas variando de 1 a 6. Para cada número de lâmpadas ligadas foram realizados ensaios com combinações de lâmpadas ligadas, excluindo as combinações simétricas, como apresenta a Tabela 4.2. Os ensaios também foram feitos de forma aleatória. Para cada ponto foram realizadas 3 leituras, em 3 ensaios distintos, sendo o resultado final a média dos valores obtidos.

Os dados obtidos foram modelados matematicamente através da utilização da equação geral da superfície  $aX^2 + bY^2 + cXY + dX + eY + f$  (modelo quadrático) no

Programa STATÍSTICA para Windows da StatSoft de 1993. A intensidade  $I_0$  foi obtida dividindo a integral dupla do modelo quadrático fornecido pela área do reator I abrangida pelo sensor do radiômetro ( $35,0 \times 36,4 = 1274 \text{ cm}^2$ ).



**FIGURA 4.7** - Distribuição dos 25 pontos no reator I que foram utilizados para leitura da intensidade pontual de radiação ultravioleta nos ensaios com radiômetro.

#### 4.3.3.2 - Actinometria

Utilizando-se substâncias actinométricas, nesta pesquisa foi adotado o

ferrioxalato de potássio, pode-se medir a intensidade média de radiação ultravioleta incidente no interior do reator relativamente ao volume de líquido no seu interior. Estas substâncias actinométricas possuem rendimento quântico conhecido para o comprimento de onda de interesse. A intensidade  $I_0$  é calculada a partir da quantidade de reagente consumido ou produto formado durante o tempo de irradiação.

**TABELA 4.1** - Coordenadas dos 25 pontos no reator I que foram utilizados para leitura da intensidade pontual de radiação ultravioleta nos ensaios de radiometria.

Pontos	X (cm)	Y (cm)	Pontos	X (cm)	Y (cm)	Pontos	X (cm)	Y (cm)
A1	-17,5	18,2	A3	-17,5	0	A5	-17,5	-18,2
B1	-8,75	18,2	B3	-8,75	0	B5	-8,75	-18,2
C1	0	18,2	C3	0	0	C5	0	-18,2
D1	8,75	18,2	D3	8,75	0	D5	8,75	-18,2
E1	17,5	18,2	E3	17,5	0	E5	17,5	-18,2
A2	-17,5	9,1	A4	-17,5	-9,1			
B2	-8,75	9,1	B4	-8,75	-9,1			
C2	0	9,1	C4	0	-9,1			
D2	8,75	9,1	D4	8,75	-9,1			
E2	17,5	9,1	E4	17,5	-9,1			

O procedimento para preparação do ferrioxalato de potássio (cristais) e de sua solução foi realizado conforme a metodologia proposta por HATCHARD & PARKER (1956). DANIEL (1993) comprovou não ser necessário refazer a dissolução e a cristalização.

Conforme HATCHARD & PARKER (1956), a solução de ferrioxalato de potássio 0,006 M (a mesma usada nos ensaios) absorve da ordem de 99 % de radiação de comprimento de onda menor que 390 nm em lâmina líquida de 10 mm.

A preparação do ferrioxalato de potássio e de sua solução, os ensaios e o procedimento para determinação da concentração de  $Fe^{2+}$  foram realizados em

ambiente com pouca iluminação.

**TABELA 4.2** - Programa dos ensaios de radiometria para determinação da intensidade pontual de radiação ultravioleta nos 25 pontos do reator I para os números de lâmpadas ligadas adotados.

Número de lâmpadas ligadas	Lâmpadas ligadas
1	(1*), (2*), (3*)
2	(1*, 2), (1*, 3), (1*, 4), (1*, 5), (1*, 6), (2*, 3), (2*, 4), (2*, 5), (3*, 4)
3	(1, 2*, 3), (1, 2*, 4), (1, 2*, 5), (1, 2*, 6), (1, 3*, 4), (1, 3*, 5), (1, 3*, 6), (1, 4*, 5), (2, 3*, 4), (2, 3*, 5)
4	(1, 2*, 3, 4), (1, 2*, 3, 5), (1, 2*, 3, 6), (1, 2*, 4, 5), (1, 2*, 4, 6), (1, 2*, 5, 6), (1, 3, 4*, 5), (1, 3*, 4, 6), (2, 3*, 4, 5)
5	(1, 2, 3*, 4, 5), (1, 2, 3*, 4, 6), (1, 2*, 3, 5, 6)
6	(1, 2, 3*, 4, 5, 6)

\* lâmpadas em que se mediu a temperatura após o aquecimento de 30 minutos.

As leituras de absorvância da solução actinométrica (solução de ferrioxalato de potássio) no comprimento de onda de 510 nm e em cubeta de quartzo de 1,0 cm, referentes à determinação da concentração de  $\text{Fe}^{2+}$ , foram feitas em espectrofotômetro marca SHIMADZU modelo UV - 160 A.

Com os ensaios actinométricos determinou-se a potência radiante da lâmpada de baixa pressão de vapor de mercúrio e  $I_0$ .

#### a) Determinação da potência radiante da lâmpada

Para determinação da potência radiante da lâmpada de baixa pressão de vapor de mercúrio é necessário que toda radiação emitida por ela seja absorvida pela solução actinométrica.

A potência radiante da lâmpada foi determinada utilizando a unidade experimental apresentada na Figura 4.2. O procedimento que foi empregado para cada tempo de irradiação está descrito a seguir:

- pré-aqueceu-se a lâmpada por 15 minutos;
- desligou-se a lâmpada durante a introdução da solução actinométrica;
- preencheu-se o espaço entre a lâmpada e o tubo de PVC com solução actinométrica (volume de 360 mL);
- coletou-se amostra antes da irradiação;
- utilizaram-se tempos de irradiação entre 30 e 150 segundos;
- misturou-se a solução irradiada;
- coletou-se amostra irradiada;
- determinou-se, antes e após a irradiação, a temperatura e a concentração de  $\text{Fe}^{2+}$  da solução actinométrica;
- mediu-se a temperatura ambiente.

O valor da potência radiante da lâmpada foi acompanhado desde sua ligação até o limite de sua utilização e calculado pela eq. (4.5). O monitoramento foi realizado conforme mostra a Tabela 4.3.

**TABELA 4.3** - Ensaios para monitoramento da potência radiante da lâmpada de baixa pressão de vapor de mercúrio durante sua vida útil.

Tempo de funcionamento	Frequência do ensaio	Tempos de irradiação (segundos)
0 a 24 h	6 h	30, 60, 90
24 a 96 h	12 h	30, 60, 90
96 a 144 h	24 h	60, 90, 120
1 a 8 semanas	semanal	90, 120, 150
2 meses ao limite de utilização	mensal	90, 120, 150

Em cada ensaio, os três tempos de irradiação adotados foram feitos apenas uma vez.

Durante seu funcionamento manteve-se a unidade da Figura 4.2 com água no seu interior para diminuir a decomposição do tubo de PVC pela radiação ultravioleta e o aquecimento da lâmpada. A água foi trocada semanalmente.

### **b) Determinação da intensidade média de radiação ultravioleta incidente**

A determinação de  $I_0$  na unidade experimental da Figura 4.4 foi feita para 1, 2, 3, 4, 5 e 6 lâmpadas ligadas.

Em cada tempo de irradiação seguiu-se o seguinte procedimento:

- pré-aqueceram-se as lâmpadas ligando-as por 30 minutos no reator II;
- transferiu-se a solução actinométrica para o reator I;
- coletou-se amostra antes da irradiação;
- fixou-se a lâmina líquida em 1,0 cm (volume de 1,8 L);
- manteve-se o líquido sob constante agitação por meio de agitadores magnéticos;
- desligaram-se as lâmpadas durante o transporte do refletor do reator II para o I;
- utilizaram-se tempos de irradiação apresentados na Tabela 4.4;
- coletou-se amostra irradiada;
- determinou-se, antes e após a irradiação, a temperatura e a concentração de  $Fe^{2+}$  da solução actinométrica;
- mediu-se a temperatura ambiente.

A Tabela 4.4 mostra os números de lâmpadas ligadas com seus respectivos tempos de irradiação que foram utilizados nos ensaios para determinação de  $I_0$  por actinometria. Estes ensaios foram feitos aleatoriamente e seguiram o mesmo programa utilizado por DANIEL (1993).

Como cada tempo de irradiação foi repetido três vezes, o valor de  $I_0$  considerado para cada número de lâmpadas ligadas foi a média aritmética dos

respectivos tempos de irradiação.

**TABELA 4.4 -** Programa dos ensaios que foram realizados para determinação de  $I_0$  por actinometria.

Número de lâmpadas ligadas	Lâmpadas ligadas	Tempos de irradiação (minutos)
1	3	18, 24, 30
2	3, 4	9, 12, 15
3	2, 3, 4	6, 8, 10
4	2, 3, 4, 5	4,5; 6,0; 7,5
5	1, 2, 3, 4, 5	3,6; 4,8; 6,0
6	1, 2, 3, 4, 5, 6	1, 2, 3

Em todos os ensaios de actinometria (determinação da potência radiante e de  $I_0$ ) utilizou-se o Método da Fenantrolina de APHA (1995) para determinação da concentração de  $Fe^{2+}$ . Ressalta-se que a solução ficou protegida da luz para desenvolvimento da cor e o volume da alíquota da amostra antes da irradiação foi de 2 mL e depois de 1 mL para evitar que o valor da concentração de  $Fe^{2+}$  ultrapassasse os limites da curva de calibração.

A concentração de  $Fe^{2+}$  antes e após a irradiação foi calculada utilizando a curva de calibração de  $Fe^{2+}$  (obtida de acordo com a metodologia de HATCHARD & PARKER (1956)) e a equação:

$$C_{Fe^{2+}} = \frac{C_{medida} \times V_{frasco}}{V_{aliquota}} \quad (4.1)$$

$C_{Fe^{2+}}$  : concentração de  $Fe^{2+}$  na solução de ferrioxalato de potássio irradiada com ultravioleta (corrigida) (mg/L);

$C_{medida}$  : concentração de  $Fe^{2+}$  obtida pela curva de calibração de determinação espectrofotométrica de  $Fe^{2+}$  (medida) (mg/L);

$V_{\text{frasco}}$  : volume do frasco (100 mL) (mL);

$V_{\text{aliquota}}$  : volume da alíquota (mL).

A dose de radiação ultravioleta em 254 nm incidente na superfície irradiada é calculada por:

$$D = \frac{[\text{Fe}^{2+}]_D - [\text{Fe}^{2+}]_A}{\phi_{\text{Fe}}} \times 4,719 \times 10^5 \quad (4.2)$$

$D$  : dose de radiação ultravioleta em 254 nm incidente na superfície irradiada ( $\text{mWs/cm}^3$ );

$[\text{Fe}^{2+}]_D$  : concentração molar de  $\text{Fe}^{2+}$  depois da irradiação (mol/L);

$[\text{Fe}^{2+}]_A$  : concentração molar de  $\text{Fe}^{2+}$  antes da irradiação (mol/L);

$\phi_{\text{Fe}}$  : rendimento quântico de produção de  $\text{Fe}^{2+}$  em 254 nm = 1,26 (íon-grama/Einstein);

$4,729 \times 10^5$  : fator de conversão de íon-grama.Einstein/L para íon-grama. $\text{mJ/cm}^3$ .

A intensidade média de radiação ultravioleta incidente na superfície irradiada é dada por:

$$I_0 = \frac{D \times L}{t} \quad (4.3)$$

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

$L$  : espessura da lâmina líquida (cm);

$t$  : tempo de exposição (s).

A eq. (4.3) é aplicada somente para reatores com lâmpadas emersas fixadas em refletores.



A taxa de formação de  $\text{Fe}^{2+}$  na solução actinométrica irradiada em 254 nm nos ensaios para determinação de  $I_0$  é obtida por:

$$\text{TF} = \frac{[\text{Fe}^{2+}]_D - [\text{Fe}^{2+}]_A}{t^*} \times V_{\text{solução}} \quad (4.4)$$

TF : taxa de formação de  $\text{Fe}^{2+}$  na solução actinométrica irradiada em 254 nm (mol/min);

$t^*$  : tempo de exposição (minutos);

$V_{\text{solução}}$  : volume de solução actinométrica para obter  $L = 1$  cm na instalação (L).

O valor da potência radiante da lâmpada de baixa pressão de vapor de mercúrio em 254 nm é calculado por:

$$P = \frac{D \times V_{\text{instalação}}}{1000 \times t} \quad (4.5)$$

P : potência radiante da lâmpada de baixa pressão de vapor de mercúrio em 254 nm (energia emitida) (W);

$V_{\text{instalação}}$  : volume de solução actinométrica para preencher a instalação (mL).

#### 4.3.4 – Ensaios de desinfecção

Os microrganismos estudados foram coliformes totais, *Escherichia coli*, colifagos e *Clostridium perfringens*, que são indicadores de bactérias (coliformes totais e *E. coli*), vírus e protozoários, respectivamente. Na maioria dos ensaios a presença destes microrganismos foi examinada simultaneamente. Este estudo teve como objetivo o emprego de novos indicadores, além de coliformes, no exame de águas residuárias, principalmente esgoto sanitário. As suas resistências à desinfecção com radiação ultravioleta também foram comparadas.

Os valores da espessura da lâmina líquida utilizados nos ensaios foram de 4 e 8

cm e de 2 e 4 cm para os efluentes das ETEs de Araraquara e de Lins, respectivamente. Estes menores valores para Lins foram decorrentes das elevadas concentrações de algas (elevada absorvância), nos seus efluentes. Os coeficientes do modelo de Hom para coliformes totais, *Escherichia coli* e *Clostridium perfringens* foram determinados para os efluentes das duas ETEs.

Para cada espessura da lâmina líquida a dose de radiação ultravioleta foi variada, no mínimo, cinco vezes. A frequência para cada espessura da lâmina líquida foi de quatro ensaios. Cada ensaio foi realizado com amostra coletada em dias diferentes. A variação da dose de radiação ultravioleta foi realizada mantendo a intensidade, isto é, um certo número de lâmpadas ligadas e variando o tempo de irradiação. Este estudo teve como finalidade a obtenção dos coeficientes do modelo de Hom para desinfecção com radiação ultravioleta para diferentes características de esgoto sanitário tratado em nível secundário com vistas à otimização do consumo de energia.

O ensaio foi realizado logo após o retorno da cidade de Araraquara ou de Lins. Como o volume de amostra necessária foi superior a 40 litros, o transporte foi feito em temperatura ambiente.

Para aquecimento, as lâmpadas foram ligadas 30 minutos antes da irradiação do esgoto sanitário.

Com o intuito de manter homogêneo o volume presente na câmara de desinfecção, este foi mantido sob constante agitação com auxílio de 4 agitadores magnéticos, reduzindo, assim, a sedimentação dos sólidos e garantindo uma irradiação mais uniforme dos microrganismos durante todos os ensaios.

As variáveis absorvância em comprimento de onda de 254 nm (A), temperatura (T), pH, sólidos totais (ST), sólidos suspensos totais (SST) e demanda química de oxigênio (DQO) foram determinadas em todos os ensaios apenas para amostra bruta do efluente da ETE, pois a radiação ultravioleta não altera tais variáveis. A absorvância e DQO também foram determinadas para amostra filtrada em membranas possuindo poros com diâmetros equivalentes de 1,2 µm.

Para verificar a influência dos sólidos em suspensão, com relação ao tamanho de suas partículas, os SST foram feitos em membranas possuindo poros com

diâmetros equivalentes de 0,7, 1,0, 1,2, 1,5, 1,6 e 2,7  $\mu\text{m}$  (filtração não sequencial). Ainda, um mesmo volume de amostra foi passado na membrana com poros de maior diâmetro (2,7  $\mu\text{m}$ ) até a de menor diâmetro (0,7  $\mu\text{m}$ ) (filtração sequencial).

Todas estas variáveis foram determinadas em duplicata, em que se considerou a média dos valores obtidos, e seguiram os métodos descritos em APHA (1995).

A absorvância também foi lida na faixa de comprimento de onda compreendida de 200 a 400 nm, com intervalo de 5 nm, para amostra bruta e filtrada do efluente ETE. A leitura da absorvância, em comprimento de onda de 254 nm, e de 200 a 400 nm foi feita no espectrofotômetro modelo DR 4000 da HACH.

O pH das amostras foi determinado pelo potenciômetro METROHM HERISAU modelo E 520.

Em cada ensaio, a concentração dos microrganismos foi determinada para amostra bruta do efluente da ETE, previamente homogeneizada, a qual representou o afluente do ensaio e para o efluente desinfetado de cada dose utilizada.

A quantificação de coliformes totais e *Escherichia coli* foi realizada utilizando o método Colilert com substrato definido, procedimento patenteado pela Idexx.

A metodologia empregada para detecção e quantificação de colifagos foi a desenvolvida pelo Instituto de Ciências Biológicas (ICB) da USP, que consiste na técnica da contagem de unidades formadoras de placas em Placas de Petri e foi utilizado como bactéria hospedeira à cepa de *Escherichia coli* CIP 53.90, meio NA, CCT 0549.

Para detecção e quantificação de *Clostridium perfringens* foi utilizada a metodologia apresentada na Norma CETESB/L5.213 (CETESB, 1993), que usa a técnica de tubos múltiplos para a determinação do número mais provável (NMP) de microrganismos presentes na amostra.

As principais etapas das metodologias para quantificação de colifagos e *Clostridium perfringens*, que foram utilizadas nesta pesquisa, estão descritas em SOUZA (2000).

Todos os resíduos finais dos exames microbiológicos foram autoclavados a 121°C por 15 minutos para evitar a contaminação do meio ambiente.

#### 4.4 - Ensaio em sistema contínuo

No trabalho experimental composto pelos ensaios em sistema contínuo foram realizados estudos da resistência dos microrganismos indicadores coliformes totais, *Escherichia coli*, colifagos e *Clostridium perfringens* na unidade de desinfecção com radiação ultravioleta de alta intensidade.

##### 4.4.1 - Descrição da unidade experimental

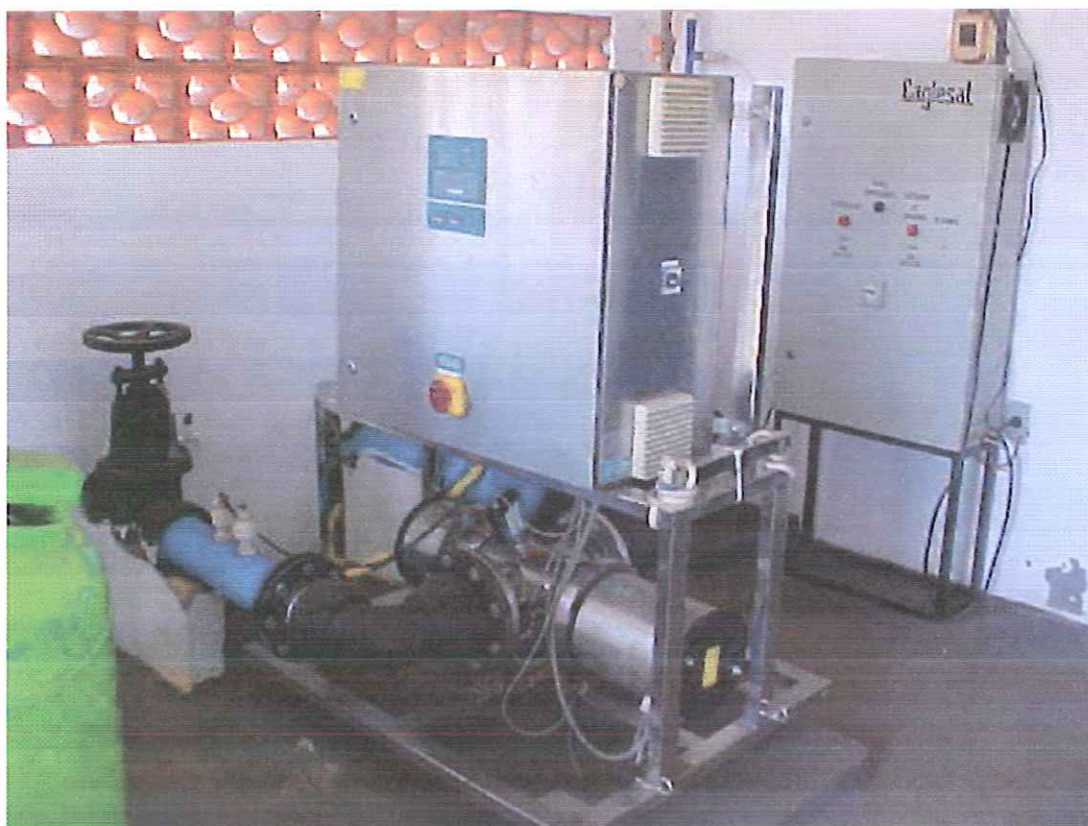
Os ensaios em sistema contínuo foram realizados na unidade de desinfecção com radiação ultravioleta de alta intensidade, em escala real, instalada na ETE de Lins, que está apresentada na Figura 4.8 e esquematizada na Figura 4.9.

Essa unidade modelo IN-LINE 250 UV da AQUIONICS (equipamento comercial) possui comprimento de 35 cm, diâmetro interno de 16,8 cm, duas lâmpadas de média pressão de vapor de mercúrio montadas no sentido perpendicular ao fluxo, cada uma com 2020 W, raspador automático para remoção de depósitos nos dois tubos de quartzo, indicador das lâmpadas ligadas e alarme de vazão insuficiente (previne aquecimento da unidade).

Conforme catálogo do fabricante essa unidade apresenta capacidade para desinfetar aproximadamente 37 m<sup>3</sup>/h, que é equivalente à população de aproximadamente 5000 habitantes, para um efluente com transmissão de ultravioleta em 254 nm através de 1 cm de líquido de 60 %. Esta capacidade é obtida com uma dosagem de ultravioleta de 30 mWs/cm<sup>2</sup> correspondente ao final da vida útil da lâmpada, que é de aproximadamente 8000 horas.

A dose recebida pelos microrganismos pode ser variada segundo mudanças na qualidade do efluente, vazão e intensidade de radiação ultravioleta. A alteração desta última se dá através das posições 1, 2 e 3 do painel de comando.

As doses aplicadas de radiação ultravioleta nas posições 1 e 2 equivalem a 1/3 e 2/3 da posição 3, respectivamente.



**FIGURA 4.8** - Instalação de desinfecção com radiação ultravioleta de alta intensidade que foi utilizada para os ensaios em sistema contínuo na ETE de Lins (Fotografia autorizada pela Germetec).

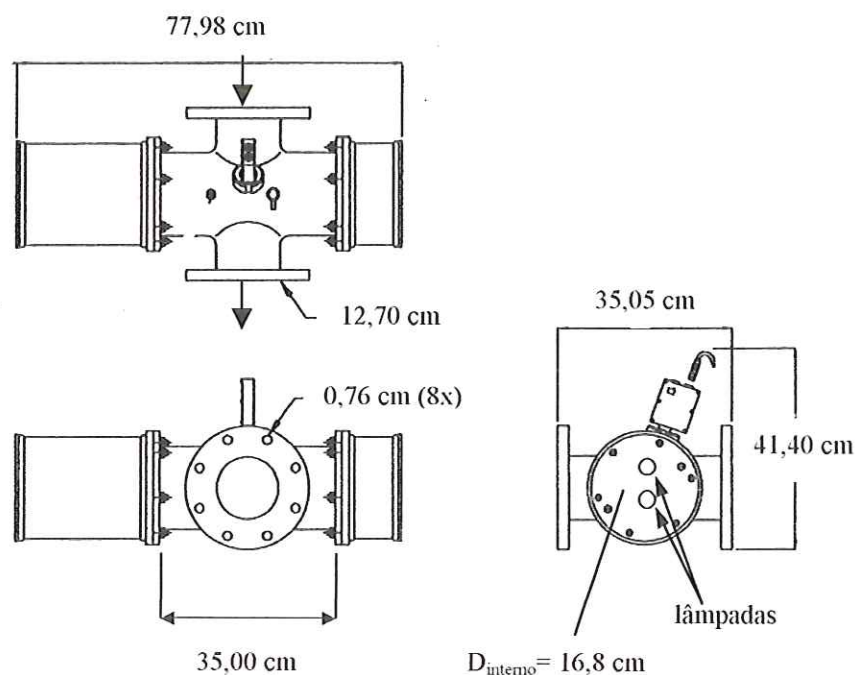
#### 4.4.2 – Operação e controle

A unidade de desinfecção era ligada após a estabilização de vazão afluente suficiente para manter a temperatura na faixa recomendada para operação.

Em cada ensaio, a dose foi variada mantendo a vazão constante e alterando a intensidade de radiação ultravioleta, que foi feita pela mudança nas posições do painel de comando na seqüência 1, 2 e 3.

A amostra irradiada foi coletada após quinze minutos da alteração da dose.

Durante o transporte da ETE de Lins até São Carlos as amostras foram preservadas em gelo.



**FIGURA 4.9** - Esquema da instalação de desinfecção com radiação ultravioleta de alta intensidade que foi utilizada para os ensaios em sistema contínuo na ETE de Lins (Catálogo Germetec).

#### 4.4.3 - Análises e exames

Os procedimentos com amostras e material necessário (meio de cultura de microrganismos indicadores, vidraria e água de diluição) foram os mesmos descritos no item 4.3.2.

As análises físico-químicas e os exames microbiológicos utilizados nos ensaios em sistema contínuo foram os mesmos descritos no item 4.3.4 para os ensaios em batelada na câmara de desinfecção.

## **5 – RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Os resultados obtidos durante a fase experimental desta pesquisa com emprego de radiação ultravioleta estão apresentados em dois itens: ensaios em batelada e em sistema contínuo.

### **5.1 - Ensaio em batelada**

Os ensaios em batelada, por sua vez, estão subdivididos em ensaios para determinação da intensidade média de radiação ultravioleta incidente na superfície irradiada no interior da câmara de desinfecção e em ensaios de desinfecção empregando os efluentes finais das ETEs de Araraquara e de Lins.

#### **5.1.1 – Ensaio para determinação da intensidade média de radiação ultravioleta incidente**

Os valores médios da intensidade média de radiação ultravioleta em 254 nm incidente na superfície irradiada no interior da câmara de desinfecção ( $I_0$ ) para o número de lâmpadas ligadas variando de 1 a 6 foram determinados por radiometria e por actinometria. A seguir, estão apresentados os resultados obtidos em cada método.

##### **5.1.1.1 - Radiometria**

As intensidades pontuais de radiação ultravioleta obtidas nos 25 pontos no

reator I (Tabela 4.1 e Figura 4.7) para todas as combinações de lâmpadas ligadas, conforme o programa de ensaios de radiometria da Tabela 4.2, estão apresentadas nas Tabelas A.1 a A.35 do Anexo A.

Ao se observar as Tabelas A.1 a A.35, principalmente, a partir da Tabela A.23 que são referentes aos ensaios realizados com 4, 5 e 6 lâmpadas ligadas, nota-se que a temperatura ambiente ( $T_{amb}$ ) influi no valor da intensidade pontual de radiação ultravioleta, uma vez que, ensaios realizados com as mesmas lâmpadas ligadas apresentaram, na maioria das vezes, valores de intensidades pontuais menores para temperaturas mais elevadas. Isto se deve, principalmente, ao maior aquecimento das lâmpadas, gerando assim uma perda de emissão de radiação ultravioleta em 254 nm.

Os valores das intensidades pontuais foram modelados matematicamente através da utilização da equação geral da superfície  $aX^2 + bY^2 + cXY + dX + eY + f$  (modelo quadrático) no Programa STATÍSTICA para Windows da StatSoft de 1993, em que se utilizou o Método de Estimação Quasi-Newton para gerar os valores dos parâmetros ( $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$ ,  $e$  e  $f$ ) e de  $R^2$  (coeficiente de determinação ou de correlação múltipla) mostrados nas Tabelas A.36 a A.39 e as superfícies de resposta das Figuras A.1 a A.35, ambas do Anexo A.

Como os valores de  $R^2$  foram superiores a 0,92 (Tabelas A.36 a A.39) para todas as combinações de lâmpadas ligadas se pode dizer que os dados experimentais, ou seja, as intensidades pontuais de radiação ultravioleta obtidas com radiômetro, se ajustaram bem ao modelo proposto. Os parâmetros  $c$ ,  $d$  e  $e$  foram considerados nulos quando o valor do erro padrão ( $\pm$  erro padrão) foi maior que o do parâmetro ou quando o primeiro algarismo significativo se apresentou na quarta ou quinta casa decimal. Assim, ao simplificar-se o modelo, o valor de  $R^2$  sofreu pequena redução (inferior a 0,5 %) e não se alterou o valor de  $I_0$ . Para se manter as formas “parabólicas” das superfícies de resposta o parâmetro  $a$  não foi anulado mesmo com valores pequenos.

Analisando-se as Tabelas A.36 a A.39 pode ser visto que o parâmetro  $c$  foi sempre nulo indicando a ausência do termo  $X.Y$  nos modelos quadráticos obtidos e que as seguintes combinações de lâmpadas ligadas 1 e 6; 2 e 5; 3 e 4; 2, 3, 4 e 5 e 1, 2, 3, 4, 5 e 6 foram modeladas pela equação simétrica ( $aX^2 + bY^2 + f$ ).

Na Tabela A.40 do Anexo A estão mostrados os valores de  $I_0$  obtidos para



todas as combinações de lâmpadas ligadas, considerando a área do reator I abrangida pelo sensor do radiômetro ( $I_{0R}$ ) e a área total do reator I ( $I_{0T}$ ), sendo  $I_{0R}$  e  $I_{0T}$  resultantes da divisão da integral dupla do modelo quadrático obtido pela área correspondente. As integrais duplas foram calculadas pelo Programa MATHEMATICA 2.2 para Windows da Wolfram Research, Inc. de 1993.

Como pode ser visto na Tabela A.40 os valores de  $I_{0R}$  são superiores e também mais representativos, pois os modelos quadráticos foram determinados com as leituras das intensidades de radiação ultravioleta nos pontos que se encontraram na área abrangida pelo sensor do radiômetro. Por outro lado, os valores de  $I_{0T}$  foram obtidos utilizando os mesmos modelos quadráticos usados para cálculo de  $I_{0R}$  e expandindo os limites de integração até os limites do reator I (X variando de -20,1 a 20,1 cm e Y de -22,4 a 22,4 cm), o que pode não ser correto, uma vez que, não se conhece o verdadeiro comportamento da variação da intensidade de radiação ultravioleta.

Os valores de  $I_{0Rm}$  e  $I_{0Tm}$  para cada número de lâmpadas ligadas estão relacionados na Tabela 5.1. Observa-se, nesta tabela, que este método apresentou resultados satisfatórios, pois os valores do desvio padrão ( $\pm s$ ) foram inferiores a 10 %, principalmente pela boa precisão do sensor do radiômetro ( $\pm 5$  %). Os valores de  $I_{0Rm}$ , pelo mesmo motivo descrito anteriormente, serão os utilizados para comparação com os obtidos por actinometria.

#### 5.1.1.2 – Actinometria

Os ensaios com a substância actinométrica ferrioxalato de potássio foram realizados para quantificar a potência radiante da lâmpada de baixa pressão de vapor de mercúrio durante a vida útil e para mensurar a intensidade média de radiação ultravioleta incidente na superfície irradiada no interior da câmara de desinfecção para o número de lâmpadas ligadas variando de 1 a 6.

Os dados obtidos para construção da curva de calibração de  $Fe^{2+}$  que foi utilizada para obtenção da concentração medida de  $Fe^{2+}$  ( $C_{medida}$ ) nos ensaios de actinometria estão apresentados na Tabela A.41 do Anexo A.

**TABELA 5.1** - Valores médios de  $I_0$ , considerando a área do reator I abrangida pelo sensor do radiômetro ( $I_{0Rm}$ ) e a área total do reator I ( $I_{0Tm}$ ), ambos obtidos por radiometria.

Número de lâmpadas ligadas	$I_{0Rm} \pm s$ (mW/cm <sup>2</sup> )	$I_{0Tm} \pm s$ (mW/cm <sup>2</sup> )
1	1,31 ± 0,12	1,19 ± 0,08
2	2,39 ± 0,14	2,17 ± 0,09
3	3,42 ± 0,19	3,10 ± 0,16
4	4,08 ± 0,08	3,69 ± 0,07
5	4,92 ± 0,06	4,46 ± 0,03
6	6,03	5,47

#### a) Potência radiante da lâmpada

Pelo método actinométrico determina-se a potência radiante da lâmpada em comprimento de onda de 254 nm, parcela responsável pela inativação dos microrganismos, pois o actinômetro é seletivo para faixa de comprimento de onda de 250 a 436 nm. Nessa faixa a lâmpada de baixa pressão de vapor de mercúrio emite a maior parte da energia no comprimento de onda de 254 nm, podendo ser considerada como monocromática (BRAUN et al., 1986).

A potência nominal da lâmpada utilizada, que foi de 15 W, apresenta emissão de radiação ultravioleta em vários comprimentos de onda.

O monitoramento da potência radiante da lâmpada de baixa pressão de vapor de mercúrio em 254 nm (P) durante a vida útil, por actinometria, está apresentado na Tabela A.42 do Anexo A. As Figuras 5.1 e 5.2 representam, respectivamente, a potência radiante emitida pela lâmpada de baixa pressão de vapor de mercúrio nas primeiras 120 horas de funcionamento e durante a vida útil. A concentração de  $Fe^{2+}$  na solução actinométrica irradiada ( $C_{Fe^{2+}}$ ), a dose de radiação ultravioleta e a potência radiante da lâmpada foram calculadas pelas eqs. (4.1), (4.2) e (4.5), respectivamente.

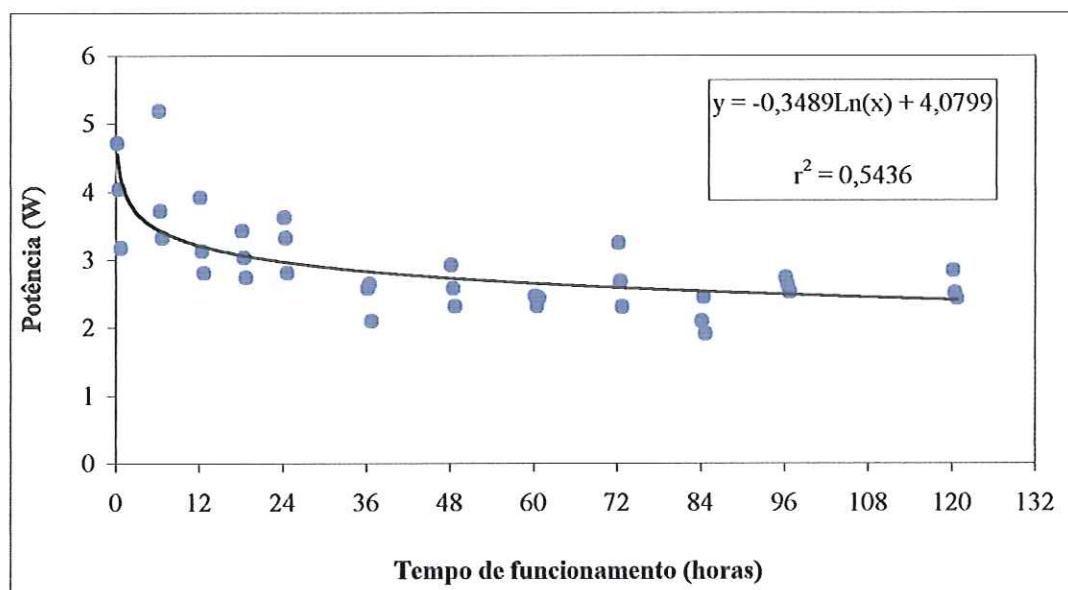


FIGURA 5.1 - Potência radiante emitida pela lâmpada de baixa pressão de vapor de mercúrio em 254 nm nas primeiras 120 horas de funcionamento.

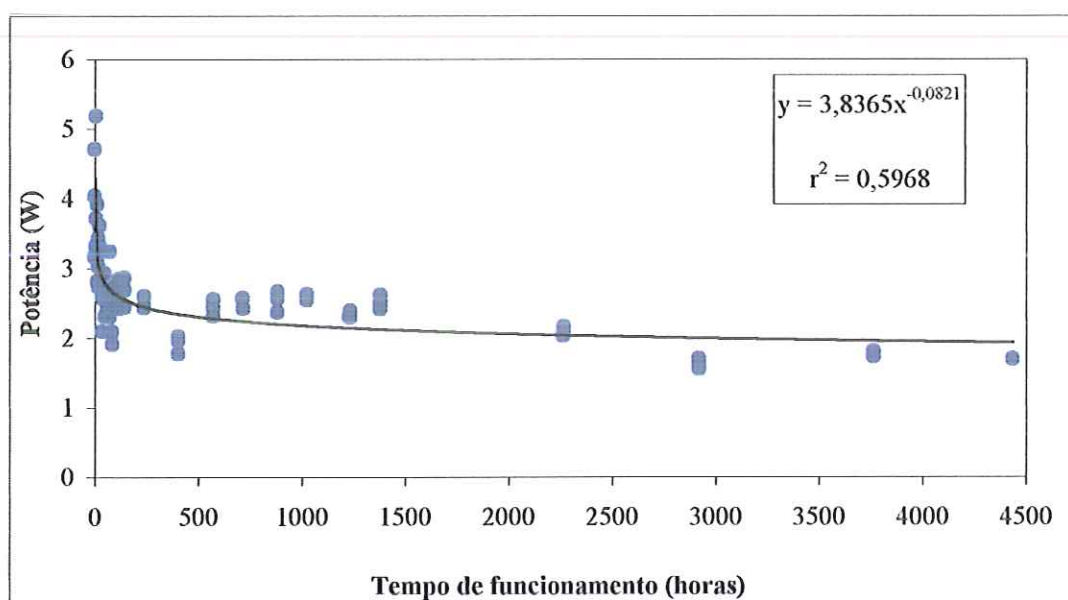


FIGURA 5.2 - Potência radiante emitida pela lâmpada de baixa pressão de vapor de mercúrio em 254 nm durante a vida útil.

Como pode ser visto nas Figuras 5.1 e 5.2, os valores da potência radiante não apresentaram bom ajuste, pois os coeficientes de correlação ( $r^2$ ) obtidos, considerando apenas as primeiras 120 horas de funcionamento e durante a vida útil da lâmpada, foram inferiores a 0,6.

Observa-se na Figura 5.1 que ocorreu grande oscilação e decaimento dos valores da potência radiante durante as 120 horas iniciais de funcionamento, especialmente, nas primeiras 24 horas.

Na Figura 5.2 nota-se queda brusca dos valores da potência radiante nas primeiras horas de funcionamento da lâmpada e queda menos acentuada ao longo do restante da vida útil. A lâmpada funcionou pelo mesmo período estimado pelo fabricante que é de aproximadamente 4500 horas.

Ao se desmontar a instalação na qual a lâmpada estava inserida observou-se que os terminais metálicos, na junção com o quartzo apresentaram sinais de corrosão, pois a solução actinométrica, em pH próximo de 2, entrou em contato com esses terminais. Supõe-se que a queima da lâmpada tenha sido causada pela entrada de solução nos eletrodos com produção de curto-circuito. Para provar esta hipótese seria necessário realizar novamente o ensaio, protegendo-se os terminais (os ensaios realizados foram protegidos com silicone), tornando a vedação estanque.

Conforme apresentado na Tabela A.42 a lâmpada apresentou valor de potência de 5,18 W com 6,26 horas (valor máximo) e no final da vida útil de 1,68 W com 4434,96 horas, representando 34,5 e 11,2 % da potência nominal (15 W), respectivamente. Esta diferença de 23,3 % foi dada pelo desgaste e também pela deposição de impurezas provenientes da decomposição do tubo de PVC que se incrustou no invólucro de quartzo da lâmpada, como observado quando se desmontou a instalação. Ainda, nesta tabela, observa-se que a partir de 84 horas de funcionamento os valores da potência determinados em cada ensaio para os 3 tempos de irradiação adotados se mantiveram mais próximos. Os valores da potência radiante em 254 nm da Tabela A.42 representam aproximadamente 80 a 90 % da potência radiante total emitida pela lâmpada.

A grande variação da temperatura ambiente ao longo do monitoramento também contribuiu para oscilações nos valores da potência. Os valores menores da potência, principalmente nos ensaios 6 e 15 podem ter sido ocasionados pela queda

na temperatura ambiente que não proporcionou aquecimento satisfatório da lâmpada.

A Tabela 5.2 mostra os valores da potência e da percentagem de emissão de radiação ultravioleta em 254 nm de alguns tempos de funcionamento que foram determinados durante o monitoramento da lâmpada.

**TABELA 5.2** - Potência radiante e percentagem de emissão de radiação ultravioleta em 254 nm em relação à potência nominal de alguns tempos de funcionamento obtidos durante o monitoramento da lâmpada de baixa pressão de vapor de mercúrio.

Tempo funcionamento (horas)	Potência radiante (W)	Emissão em 254nm*
0,26	4,71	31,4
24,26	3,62	24,1
120,27	2,84	18,9
1026,86	2,63	17,5
2265,16	2,03	13,5
4434,96	1,68	11,2

\*em relação à potência nominal de 15 W

Nota-se na Tabela 5.2 que mesmo no início de funcionamento a lâmpada já apresentou perda de quase 70 % em relação à potência nominal e no final de sua vida útil perda de aproximadamente 90 %. Esta queda na emissão tem como significado a diminuição no poder de inativação dos microrganismos e, dependendo da eficiência desejada, pode ser necessária à troca da lâmpada antes do final da vida útil.

DANIEL (1993) obteve com uma lâmpada similar de 30 W emissão de radiação ultravioleta a 254 nm de aproximadamente 26 % da potência nominal (potência radiante de 7,7 W), resultado próximo ao obtido com 24 horas de funcionamento.

Como os ensaios de desinfecção foram realizados após as determinações dos valores de  $I_0$  pelos dois métodos, acredita-se que o valor da potência para estes ensaios situou-se na faixa de 2,7 a 2,3 W, os quais foram obtidos após 144 horas de funcionamento da lâmpada.

A duração da bateria do radiômetro é de aproximadamente 120 horas e foi necessário trocá-la para realização dos últimos ensaios de radiometria, sendo que estes foram feitos antes dos ensaios de actinometria, comprovando assim que o tempo de funcionamento da lâmpada era bem superior a 120 horas nos ensaios de desinfecção, pois durante o aquecimento das lâmpadas o radiômetro era desligado.

### **b) Intensidade média de radiação ultravioleta incidente**

A taxa de formação de  $\text{Fe}^{2+}$  (TF), dose (D) e  $I_0$  obtidas por actinometria para 1 e 2, 3 e 4 e 5 e 6 lâmpadas ligadas estão representadas nas Tabelas A.43, A.44 e A.45 do Anexo A, respectivamente. Os valores de TF, D e  $I_0$  foram calculados pelas eqs. (4.4), (4.2) e (4.3), respectivamente.

As Tabelas 5.3, 5.4 e 5.5 apresentam os valores médios de TF, D e  $I_0$ , respectivamente, que foram obtidos para cada número de lâmpadas ligadas nos ensaios de actinometria.

Os valores de TF, assim como os de  $I_0$ , aumentaram com acréscimo no número de lâmpadas ligadas, ou seja, aumento da radiação ultravioleta incidente, como pode ser notado nas Tabelas 5.3 e 5.5, respectivamente. Os valores do desvio padrão inferiores a 5 % no valor médio de TF e de  $I_0$  para cada número de lâmpadas ligadas demonstraram precisão satisfatória no método actinométrico.

Os tempos de irradiação adotados proporcionaram TF que não comprometeram os resultados finais, ou seja, os valores de  $I_0$ . Estes tempos evitaram o consumo excessivo de ferrioxalato de potássio, que segundo BRAUN et al (1986) não deve ultrapassar 10 %.

Analisando-se os valores da dose na Tabela 5.4 pode ser visto que estes aumentaram com aumento no tempo de irradiação em cada número de lâmpadas ligadas. Comparando-se os valores da dose obtidos para cada número de lâmpadas ligadas, nota-se que os tempos de irradiação adotados proporcionaram valores próximos para todos os números de lâmpadas ligadas (excluindo-se os valores para 6 lâmpadas ligadas). Deve-se observar que os tempos de irradiação foram proporcionalmente diminuindo com o aumento do número de lâmpadas ligadas.

**TABELA 5.3 -** Valores da taxa de formação de  $\text{Fe}^{2+}$  na solução actinométrica irradiada em 254 nm que foram obtidos nos ensaios de actinometria para determinação de  $I_0$ .

Nº Lamp.	Tempo (min)	TF <sub>1</sub> (mol/min)	TF <sub>2</sub> (mol/min)	TF <sub>3</sub> (mol/min)	TF <sub>média</sub> ± s *	TF <sub>m</sub> ± s **
1	18,0	0,000330	0,000343	0,000338	0,000337 ± 0,000007	
	24,0	0,000327	0,000317	0,000324	0,000323 ± 0,000005	0,000322 ± 0,000014
	30,0	0,000305	0,000309	0,000306	0,000306 ± 0,000002	
2	9,0	0,000623	0,000653	0,000641	0,000639 ± 0,000015	
	12,0	0,000601	0,000601	0,000616	0,000606 ± 0,000009	0,000612 ± 0,000025
	15,0	0,000579	0,000608	0,000582	0,000590 ± 0,000016	
3	6,0	0,000940	0,000943	0,000955	0,000946 ± 0,000008	
	8,0	0,000930	0,000906	0,000897	0,000911 ± 0,000017	0,000910 ± 0,000035
	10,0	0,000899	0,000865	0,000856	0,000873 ± 0,000022	
4	4,5	0,001180	0,001098	0,001217	0,001165 ± 0,000061	
	6,0	0,001159	0,001187	0,001194	0,001180 ± 0,000019	0,001161 ± 0,000037
	7,5	0,001140	0,001143	0,001133	0,001139 ± 0,000005	
5	3,6	0,001464	0,001479	0,001482	0,001475 ± 0,000010	
	4,8	0,001420	0,001328	0,001408	0,001386 ± 0,000050	0,001408 ± 0,000060
	6,0	0,001398	0,001324	0,001368	0,001363 ± 0,000037	
6	1,0	0,001699	0,001864	0,001769	0,001777 ± 0,000082	
	2,0	0,001797	0,001764	0,001648	0,001736 ± 0,000078	0,001744 ± 0,000066
	3,0	0,001767	0,001678	0,001715	0,001720 ± 0,000044	

\* valor médio da TF para cada tempo.

\*\* valor médio da TF para cada número de lâmpadas ligadas (considerando todos valores).

Os valores médios de  $I_0$  obtidos por actinometria e por radiometria para cada número de lâmpadas ligadas estão relacionados na Tabela 5.6. Comparando-se os valores de  $I_{0m}$  (actinometria) com os  $I_{0Rm}$  (escolhido para representar o método de radiometria) observa-se que ambos apresentaram resultados próximos, confirmando assim, a validade dos dois métodos. Para cálculos posteriores de doses de radiação ultravioleta foram adotados os valores médios determinados por actinometria por serem mais confiáveis.

**TABELA 5.4 -** Valores da dose de radiação ultravioleta em 254 nm incidente na superfície irradiada no interior da câmara de desinfecção que foram obtidos nos ensaios de actinometria para determinação de  $I_0$ .

Número lâmpadas	Tempo (minuto)	$D_1$ (mWs/cm <sup>3</sup> )	$D_2$ (mWs/cm <sup>3</sup> )	$D_3$ (mWs/cm <sup>3</sup> )	$D_m \pm s^*$ (mWs/cm <sup>3</sup> )
1	18,0	1234,52	1283,58	1264,12	1260,74 ± 24,71
	24,0	1631,33	1583,74	1618,44	1611,17 ± 24,61
	30,0	1903,16	1926,45	1909,47	1913,02 ± 12,05
2	9,0	1167,33	1222,50	1199,68	1196,51 ± 27,72
	12,0	1499,64	1501,32	1538,03	1513,00 ± 21,70
	15,0	1807,85	1898,59	1815,70	1840,72 ± 50,28
3	6,0	1173,71	1176,86	1192,03	1180,87 ± 9,80
	8,0	1548,03	1508,36	1493,60	1516,66 ± 28,15
	10,0	1870,14	1800,20	1781,47	1817,27 ± 46,73
4	4,5	1104,58	1028,33	1139,68	1090,86 ± 56,93
	6,0	1446,68	1482,39	1490,85	1473,31 ± 23,44
	7,5	1779,19	1783,95	1768,38	1777,18 ± 7,98
5	3,6	1096,46	1108,07	1110,21	1104,91 ± 7,40
	4,8	1418,36	1326,81	1406,54	1383,90 ± 49,80
	6,0	1745,29	1652,67	1708,31	1702,09 ± 46,62
6	1,0	353,58	387,75	368,01	369,78 ± 17,15
	2,0	747,71	734,01	685,82	722,51 ± 32,51
	3,0	1102,70	1047,66	1070,35	1073,57 ± 27,66

\* valor médio da D para cada tempo.

Visando-se a comparação, os ensaios actinométricos para determinação de  $I_0$  seguiram o mesmo programa utilizado por DANIEL (1993), ou seja, mesmos números de lâmpadas ligadas e de tempos de irradiação, e os resultados obtidos foram próximos, com 1,09, 2,11, 3,01, 3,93, 4,69 e 5,73 mW/cm<sup>2</sup> para 1, 2, 3, 4, 5 e 6 lâmpadas, respectivamente, comprovando assim, a precisão deste método.

A Tabela 5.7 mostra os valores da potência radiante em 254 nm (P), intensidade emitida de radiação ultravioleta, intensidade média de radiação ultravioleta incidente na superfície irradiada (actinometria) e perda de intensidade emitida de radiação ultravioleta (absorção e reflexão não especular) obtidos para cada número de lâmpadas ligadas. O valor da potência radiante de 2,5 W para cada lâmpada foi obtido durante o monitoramento da potência radiante da lâmpada após 10 dias de funcionamento, em que esta se mostrou mais estável.



**TABELA 5.5 -** Valores da intensidade média de radiação ultravioleta incidente na superfície irradiada no interior da câmara de desinfecção obtidos nos ensaios de actinometria.

Número Lâmpadas	Tempo (minuto)	$I_{01}$ (mW/cm <sup>2</sup> )	$I_{02}$ (mW/cm <sup>2</sup> )	$I_{03}$ (mW/cm <sup>2</sup> )	$I_{0média} \pm s$ * (mW/cm <sup>2</sup> )	$I_{0m} \pm s$ ** (mW/cm <sup>2</sup> )
1	18,0	1,14	1,19	1,17	$1,17 \pm 0,02$	$1,12 \pm 0,05$
	24,0	1,13	1,10	1,12	$1,12 \pm 0,02$	
	30,0	1,06	1,07	1,06	$1,06 \pm 0,01$	
2	9,0	2,16	2,26	2,22	$2,22 \pm 0,05$	$2,12 \pm 0,09$
	12,0	2,08	2,09	2,14	$2,10 \pm 0,03$	
	15,0	2,01	2,11	2,02	$2,05 \pm 0,06$	
3	6,0	3,26	3,27	3,31	$3,28 \pm 0,03$	$3,16 \pm 0,12$
	8,0	3,23	3,14	3,11	$3,16 \pm 0,06$	
	10,0	3,12	3,00	2,97	$3,03 \pm 0,08$	
4	4,5	4,09	3,81	4,22	$4,04 \pm 0,21$	$4,03 \pm 0,13$
	6,0	4,02	4,12	4,14	$4,09 \pm 0,07$	
	7,5	3,95	3,96	3,93	$3,95 \pm 0,02$	
5	3,6	5,08	5,13	5,14	$5,12 \pm 0,03$	$4,88 \pm 0,21$
	4,8	4,92	4,61	4,88	$4,81 \pm 0,17$	
	6,0	4,85	4,59	4,75	$4,73 \pm 0,13$	
6	1,0	5,89	6,46	6,13	$6,16 \pm 0,29$	$6,05 \pm 0,23$
	2,0	6,23	6,12	5,72	$6,02 \pm 0,27$	
	3,0	6,13	5,82	5,95	$5,96 \pm 0,15$	

\* valor médio da  $I_0$  para cada tempo.

\*\* valor médio da  $I_0$  para cada número de lâmpadas ligadas (considerando todos valores).

**TABELA 5.6 -** Valores médios da intensidade média de radiação ultravioleta incidente na superfície irradiada obtidos por actinometria e por radiometria (considerando a área do reator I abrangida pelo sensor do radiômetro ( $I_{0Rm}$ ) e a área total do reator I ( $I_{0Tm}$ )).

N <sup>o</sup> de Lâmpadas ligadas	$I_{0m} \pm s$ (mW/cm <sup>2</sup> ) (actinometria)	$I_{0Rm} \pm s$ (mW/cm <sup>2</sup> ) (radiometria)	$I_{0Tm} \pm s$ (mW/cm <sup>2</sup> ) (radiometria)
1	$1,12 \pm 0,05$	$1,31 \pm 0,12$	$1,19 \pm 0,08$
2	$2,12 \pm 0,08$	$2,39 \pm 0,14$	$2,17 \pm 0,09$
3	$3,16 \pm 0,12$	$3,42 \pm 0,19$	$3,10 \pm 0,16$
4	$4,03 \pm 0,13$	$4,08 \pm 0,08$	$3,69 \pm 0,07$
5	$4,88 \pm 0,21$	$4,92 \pm 0,06$	$4,46 \pm 0,03$
6	$6,05 \pm 0,23$	6,03	5,47

**TABELA 5.7** - Valores da potência radiante, intensidade emitida de radiação ultravioleta, intensidade média de radiação ultravioleta incidente na superfície irradiada e perda de intensidade emitida determinados para cada número de lâmpadas ligadas.

Número de lâmpadas ligadas	P (W)	Intensidade emitida* (mW/cm <sup>2</sup> )	I <sub>0m</sub> (actinometria) (mW/cm <sup>2</sup> )	Perda de intensidade (%)
1	2,5	1,39	1,12	19,4
2	5,0	2,78	2,12	23,7
3	7,5	4,16	3,16	24,0
4	10,0	5,55	4,03	27,4
5	12,5	6,94	4,88	29,7
6	15,0	8,33	6,05	27,4

\* Intensidade emitida =  $P(W) \times 1000 / \text{Área}_{\text{REATOR I}} (1801 \text{ cm}^2)$

Observando-se as perdas de intensidade de radiação ultravioleta na Tabela 5.7 nota-se que esta variou aproximadamente de 19 a 28 % e que as maiores perdas ocorreram com um maior número de lâmpadas ligadas o que pode ter sido causado pelo aquecimento das lâmpadas, diminuindo assim a intensidade emitida. Uma parcela da perda foi proveniente da absorção e reflexão não especular do refletor removível de alumínio e do reator I de aço inox.

### 5.1.2 – Ensaios de desinfecção

Os ensaios de desinfecção em batelada com emprego de radiação ultravioleta foram realizados com efluentes finais das ETEs de Araraquara e de Lins, ambas com sistema de tratamento em nível secundário por meio de lagoas de estabilização.

Nas Tabelas 5.8 e 5.9 estão relacionadas as principais características dos ensaios em batelada realizados com efluentes das ETEs de Araraquara e de Lins, respectivamente, assim como, número de lâmpadas ligadas, espessura da lâmina líquida e temperatura ambiente. Para efeito de cálculos posteriores (doses de radiação ultravioleta) foram adotados os valores de  $I_{0m}$  obtidos por actinometria.  $\Rightarrow$  por quê?

**TABELA 5.8** - Principais características dos ensaios de desinfecção em batelada realizados com efluentes da ETE de Araraquara.

Ensaios	Nº de lâmpadas ligadas	Lâmpadas ligadas	Lâmina (cm)	T <sub>ambiente</sub> (°C)	I <sub>0m</sub> * (mW/cm <sup>2</sup> )
1	6	1, 2, 3, 4, 5, 6	4	NR	6,05
2	3	2, 3, 4	4	20,0	3,16
3	3	2, 3, 4	4	23,0	3,16
4	3	2, 3, 4	4	24,0	3,16
5	3	2, 3, 4	4	28,5	3,16
6	6	1, 2, 3, 4, 5, 6	8	24,0	6,05
7	6	1, 2, 3, 4, 5, 6	8	27,0	6,05
8	6	1, 2, 3, 4, 5, 6	8	26,0	6,05
9	6	1, 2, 3, 4, 5, 6	8	29,5	6,05

NR: não realizado

\* obtida por actinometria

O ensaio 1 (Tabela 5.8) e os ensaios II e III (Tabela 5.9) foram realizados com doses aplicadas elevadas de radiação ultravioleta (superiores a 35,4 Wh/m<sup>3</sup>) que acarretaram a inativação de toda *E. coli*, impossibilitando assim estudo desse microrganismo indicador.

Para determinação dos coeficientes do modelo de Hom e dos parâmetros para dimensionamento de unidades de desinfecção com radiação ultravioleta (intensidade, dose recebida e tempo de exposição) foram utilizados os resultados obtidos nos ensaios 2 a 5, 6 a 9 e IV a VII, realizados com efluentes da ETE de Araraquara com lâmina de 4 cm, de Araraquara com lâmina de 8 cm e de Lins com lâmina de 2 cm,

respectivamente.

**TABELA 5.9** - Principais características dos ensaios de desinfecção em batelada realizados com efluentes da ETE de Lins.

Ensaio	Nº de lâmpadas ligadas	Lâmpadas ligadas	Lâmina (cm)	T <sub>ambiente</sub> (°C)	I <sub>0m</sub> * (mW/cm <sup>2</sup> )
I	6	1, 2, 3, 4, 5, 6	4	NR	6,05
II	6	1, 2, 3, 4, 5, 6	2	21,5	6,05
III	3	2, 3, 4	2	28,0	3,16
IV	2	3, 4	2	27,5	2,12
V	2	3, 4	2	23,0	2,12
VI	2	3, 4	2	31,0	2,12
VII	2	3, 4	2	25,0	2,12

NR: não realizado

\* obtida por actinometria.

Para qualificar e quantificar os efluentes das ETEs de Araraquara e de Lins utilizados nos ensaios em batelada (amostras não irradiadas), foram feitas análises físico-químicas e exames microbiológicos. Deve-se ressaltar que estas duas ETEs possuem processos de tratamento distintos.

A avaliação das características físico-químicas dos efluentes das duas ETEs utilizados nos ensaios em batelada foi realizada com determinação das variáveis absorvância em 254 nm (A), temperatura (T), pH, sólidos totais (ST), sólidos suspensos totais (SST) e demanda química de oxigênio (DQO), sendo que A e DQO também foram determinadas para amostra filtrada (1,2 µm). As concentrações de matéria orgânica foram avaliadas pela DQO. As Tabelas 5.10 e 5.11 apresentam estas variáveis para os efluentes das ETEs de Araraquara e de Lins, respectivamente.

Comparando-se as Tabelas 5.10 e 5.11, pode-se notar qualidade inferior dos efluentes da ETE de Lins em relação aos da ETE de Araraquara, pois apresentaram valores de absorvância e concentrações de DQO, ST e SST mais elevados. Esta menor eficiência de remoção de matéria orgânica na ETE de Lins foi proporcionada, principalmente, pela presença de elevadas concentrações de algas nas lagoas facultativas na fase de coleta de amostras.

Na caracterização microbiológica dos efluentes das duas ETEs utilizados nos ensaios em batelada foram examinados coliformes totais (CT), *Escherichia coli*

(EC), colifagos (C) e *Clostridium perfringens* (CP). As concentrações destes microrganismos indicadores ( $N_0$ ) nos efluentes das ETEs de Araraquara e de Lins estão mostradas, respectivamente, nas Tabelas 5.12 e 5.13.

**TABELA 5.10** - Caracterização físico-química dos efluentes da ETE de Araraquara utilizados nos ensaios de desinfecção em batelada.

Ensaio	A <sub>bruta</sub> (254nm)	A <sub>filtrada</sub> (254nm)	DQO <sub>bruta</sub> (mg/L)	DQO <sub>filtrada</sub> (mg/L)	ST (mg/L)	SST (mg/L)	pH	T <sub>amostra</sub> (°C)
1	0,633	NR	162	NR	381	47	7,6	NR
2	0,454	NR	86	NR	335	31	7,5	21,0
3	0,497	NR	91	NR	379	34	7,3	23,5
4	0,575	NR	131	NR	346	50	7,1	23,5
5	0,412	0,281	96	51	274	32	7,3	26,5
6	0,666	0,309	75	26	300	29	7,4	28,0
7	0,507	0,335	102	50	316	35	7,3	28,5
8	0,612	0,488	106	44	285	33	7,7	28,5
9	0,525	0,391	95	49	309	31	7,5	29,0

NR: não realizado

**TABELA 5.11** - Caracterização físico-química dos efluentes da ETE de Lins utilizados nos ensaios de desinfecção em batelada.

Ensaio	A <sub>bruta</sub>	A <sub>filtrada</sub>	DQO <sub>bruta</sub> (mg/L)	DQO <sub>filtrada</sub> (mg/L)	ST (mg/L)	SST (mg/L)	pH	T <sub>amostra</sub> (°C)
I	1,366	NR	261	NR	674	85	8,3	NR
II	1,443	NR	410	NR	842	164	7,8	23,0
III	1,115	NR	277	NR	518	84	7,7	25,0
IV	1,064	NR	392	NR	683	167	7,9	27,0
V	1,044	0,807	255	NR	542	88	7,7	27,0
VI	1,019	0,458	290	79	575	96	7,5	31,5
VII	0,978	0,431	302	73	649	116	7,6	27,0

NR: não realizado

**TABELA 5.12** - Caracterização microbiológica dos efluentes da ETE de Araraquara utilizados nos ensaios de desinfecção em batelada.

Ensaio	N <sub>0</sub> (NMP/100 mL)			
	Coliformes totais	<i>E. coli</i>	Colifagos *	<i>C. perfringens</i>
1	7,5.10 <sup>5</sup>	6,3.10 <sup>4</sup>	4,2.10 <sup>3</sup>	3,4.10 <sup>4</sup>
2	1,3.10 <sup>6</sup>	2,5.10 <sup>5</sup>	5,7.10 <sup>2</sup>	3,8.10 <sup>3</sup>
3	1,2.10 <sup>6</sup>	2,1.10 <sup>5</sup>	5,4.10 <sup>3</sup>	6,0.10 <sup>3</sup>
4	1,2.10 <sup>6</sup>	5,9.10 <sup>4</sup>	2,5.10 <sup>3</sup>	1,7.10 <sup>4</sup>
5	2,1.10 <sup>5</sup>	7,0.10 <sup>4</sup>	1,9.10 <sup>3</sup>	5,0.10 <sup>4</sup>
6	2,8.10 <sup>5</sup>	7,8.10 <sup>4</sup>	NR	NR
7	4,8.10 <sup>5</sup>	1,5.10 <sup>5</sup>	NR	NR
8	3,6.10 <sup>5</sup>	6,6.10 <sup>4</sup>	NR	NR
9	8,4.10 <sup>5</sup>	3,9.10 <sup>4</sup>	NR	NR

NR: não realizado

\* UFP/100 mL

**TABELA 5.13** - Caracterização microbiológica dos efluentes da ETE de Lins utilizados nos ensaios de desinfecção em batelada.

Ensaio	N <sub>0</sub> (NMP/100 mL)			
	Coliformes totais	<i>E. coli</i>	Colifagos *	<i>C. perfringens</i>
I	6,3.10 <sup>6</sup>	8,6.10 <sup>5</sup>	6,6.10 <sup>3</sup>	NR
II	2,7.10 <sup>7</sup>	7,0.10 <sup>4</sup>	5,9.10 <sup>3</sup>	7,0.10 <sup>5</sup>
III	7,1.10 <sup>5</sup>	2,3.10 <sup>4</sup>	2,5.10 <sup>3</sup>	1,7.10 <sup>5</sup>
IV	4,4.10 <sup>5</sup>	9,7.10 <sup>4</sup>	1,2.10 <sup>3</sup>	1,4.10 <sup>4</sup>
V	7,1.10 <sup>5</sup>	2,8.10 <sup>5</sup>	2,3.10 <sup>3</sup>	1,7.10 <sup>4</sup>
VI	1,1.10 <sup>6</sup>	7,0.10 <sup>4</sup>	2,5.10 <sup>3</sup>	3,3.10 <sup>4</sup>
VII	3,1.10 <sup>6</sup>	1,1.10 <sup>5</sup>	1,3.10 <sup>3</sup>	3,4.10 <sup>4</sup>

NR: não realizado

\* UFP/100 mL

Nas Tabelas 5.12 e 5.13 observa-se que em quase todos os ensaios os efluentes das duas ETEs apresentaram concentrações dos microrganismos

indicadores na seguinte ordem decrescente: coliformes totais, *E. coli*, *C. perfringens* e colifagos.

As concentrações dos microrganismos indicadores nos efluentes das duas ETEs deixam clara a necessidade da instalação de um sistema de desinfecção posterior ao tratamento. A ETE de Lins necessita ainda de um sistema de remoção de algas anterior ao de desinfecção.

Os SST representam variável importante na análise dos efluentes a serem desinfetados ou até mesmo fator limitante, pois podem representar um anteparo à radiação ultravioleta incidente, dificultando assim sua ação ou até mesmo protegendo os microrganismos agregados às partículas.

Com a finalidade de verificar a influência dos sólidos em suspensão, nas Tabelas 5.14 e 5.15, respectivamente, estão relacionados os valores dos SST em membranas com poros de vários diâmetros equivalentes (0,7, 1,0, 1,2, 1,5, 1,6 e 2,7  $\mu\text{m}$ ) obtidos para efluentes das ETEs de Araraquara e de Lins utilizados nos ensaios em batelada (filtração não seqüencial). Nas Tabelas 5.16 e 5.17 estão os SST obtidos para efluentes das ETEs de Araraquara e de Lins, respectivamente, com a passagem do mesmo volume de amostra na membrana de maior diâmetro (2,7  $\mu\text{m}$ ) até a de menor diâmetro (0,7  $\mu\text{m}$ ) (filtração seqüencial).

**TABELA 5.14** - SST em membranas com poros de vários diâmetros equivalentes (filtração não seqüencial) e ST obtidos para efluentes da ETE de Araraquara utilizados nos ensaios de desinfecção em batelada.

Ensaio	ST (mg/L)	SST (mg/L)					
		2,7 $\mu\text{m}$	1,6 $\mu\text{m}$	1,5 $\mu\text{m}$	1,2 $\mu\text{m}$	1,0 $\mu\text{m}$	0,7 $\mu\text{m}$
3	379	30	33	31	37	36	44
4	346	44	48	49	50	49	49
5	274	35	36	36	32	35	31
6	300	21	26	25	29	27	33
7	316	31	34	32	35	35	40
8	285	28	32	30	33	34	40
9	309	26	29	29	31	30	34

**TABELA 5.15 -** SST em membranas com poros de vários diâmetros equivalentes (filtração não seqüencial) e ST obtidos para efluentes da ETE de Lins utilizados nos ensaios de desinfecção em batelada.

Ensaio	ST (mg/L)	SST (mg/L)					
		2,7 µm	1,6 µm	1,5 µm	1,2 µm	1,0 µm	0,7 µm
III	518	54	74	71	84	87	95
IV	683	149	163	160	167	174	195
V	542	45	77	69	88	87	113
VI	575	57	83	76	96	94	100
VII	649	84	110	103	116	121	141

**TABELA 5.16 -** SST com a passagem do mesmo volume de amostra na membrana com poros de maior diâmetro até a de menor diâmetro obtidos para os efluentes da ETE de Araraquara utilizados nos ensaios de desinfecção em batelada (filtração seqüencial).

Ensaio	SST (mg/L)					
	2,7 µm	1,6 µm	1,5 µm	1,2 µm	1,0 µm	0,7 µm
3	27,3	7,3	3,0	4,0	4,0	3,5
4	44,8	3,0	1,0	1,3	0	1,0
5	34,0	2,5	3,0	2,0	2,5	3,5
6	23,3	3,0	1,7	2,7	0,7	1,7
7	27,3	4,5	2,0	2,3	1,4	3,5
8	27,0	5,0	3,0	3,0	1,3	3,7
9	24,8	4,0	2,5	3,5	1,8	3,8

Nas Figuras 5.3 (ensaios 3, 4 e 5), 5.4 (ensaios 6 e 7) e 5.5 (ensaios 8 e 9) estão plotados os valores dos SST em membranas com poros de vários diâmetros equivalentes (método a - filtração não seqüencial) e com a passagem do mesmo volume de amostra na membrana com poros de maior diâmetro até a de menor diâmetro (método b - filtração seqüencial) obtidos para os ensaios 3 a 9 realizados



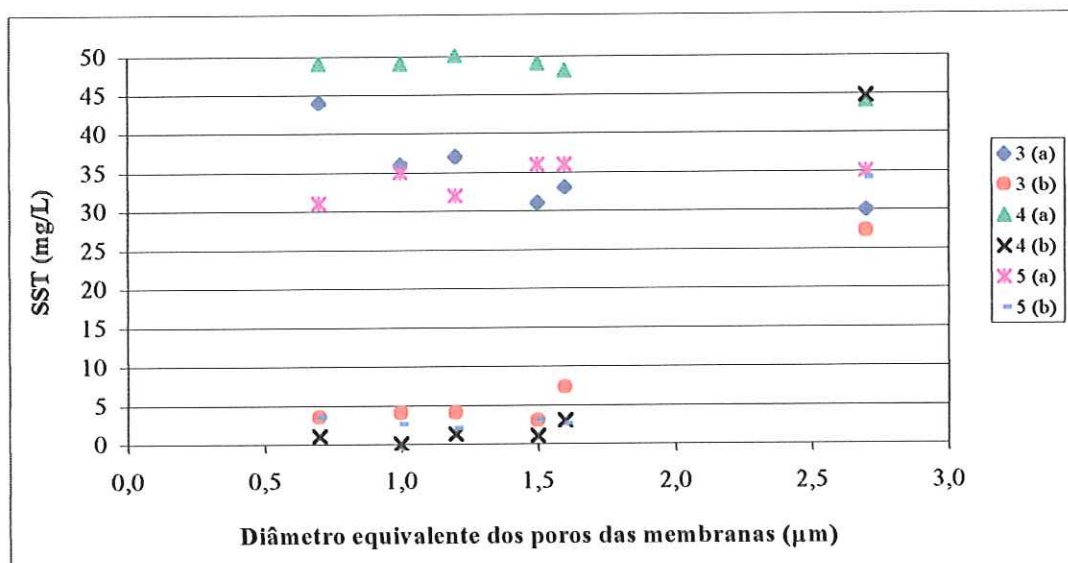
com efluentes da ETE de Araraquara e nas Figuras 5.6 (ensaios III e IV) e 5.7 (ensaios V, VI e VII) estão plotados os valores determinados para os ensaios III a VII feitos com efluentes da ETE de Lins.

**TABELA 5.17 -** SST com a passagem do mesmo volume de amostra na membrana com poros de maior diâmetro até a de menor diâmetro obtidos para os efluentes da ETE de Lins utilizados nos ensaios de desinfecção em batelada (filtração seqüencial).

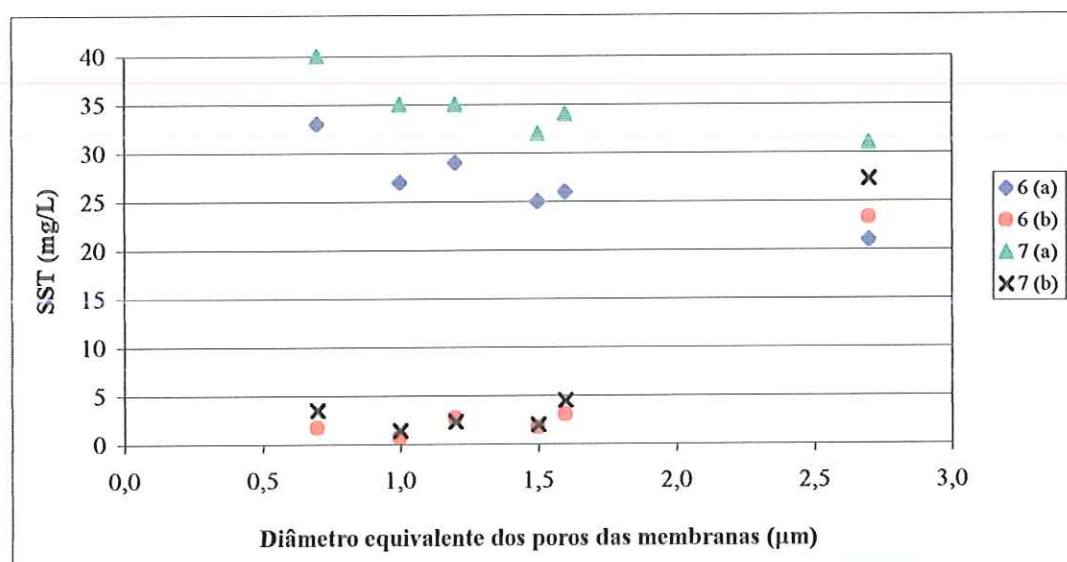
Ensaio	SST (mg/L)					
	2,7 µm	1,6 µm	1,5 µm	1,2 µm	1,0 µm	0,7 µm
III	55,0	19,0	4,5	8,5	2,0	9,0
IV	145,0	17,8	5,6	7,8	6,1	11,1
V	42,0	35,5	6,5	9,5	3,0	9,0
VI	59,0	28,0	7,5	8,5	5,5	12,0
VII	80,5	20,0	4,5	6,0	4,0	9,0

Como pode ser visto nas Tabelas 5.14 a 5.17 e Figuras 5.3 a 5.7, que relatam as concentrações dos SST nos efluentes das duas ETEs, os efluentes de Lins apresentaram maiores concentrações, o que pode ser atribuído, principalmente, à elevada concentração de algas. Isto dificulta a eficiência da desinfecção com radiação ultravioleta, sendo necessário elevar a dose aplicada ou reduzir a espessura da lâmina líquida, aumentando assim, respectivamente, o consumo de energia ou a dose recebida pelos microrganismos.

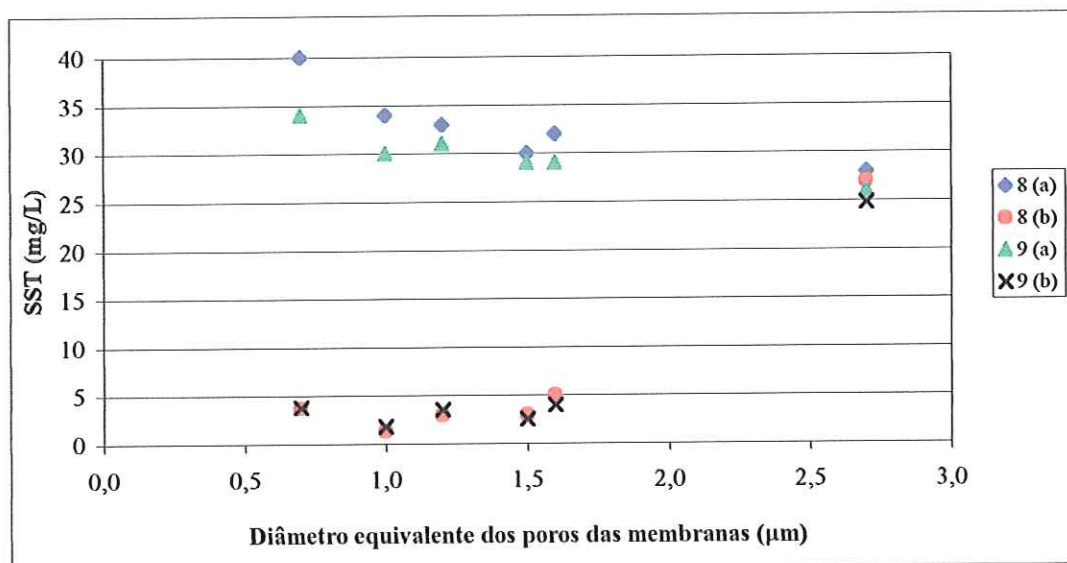
A partir da análise dos valores dos SST em membranas com poros de vários diâmetros equivalentes (método a, Tabelas 5.14 e 5.15 e Figuras 5.3 a 5.7), nota-se de ordem decrescente dos valores dos SST da membrana de menor diâmetro (0,7 µm) até a maior diâmetro (2,7 µm) para os efluentes da ETE de Lins. Isto pode ter ocorrido pelo fato de que a maior concentração diminuiu a margem de erro nas determinações.



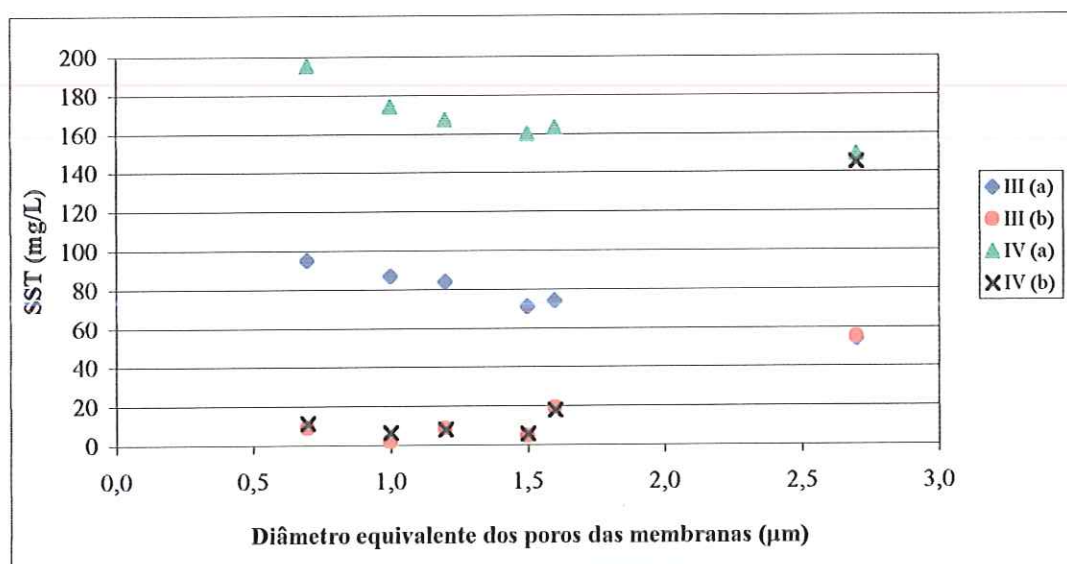
**FIGURA 5.3** - SST em membranas com poros de vários diâmetros (a - não seqüencial) e com a passagem do mesmo volume de amostra na membrana com poros de maior diâmetro até a de menor diâmetro (b - seqüencial), obtidos com efluentes da ETE de Araraquara usados nos ensaios de desinfecção 3, 4 e 5.



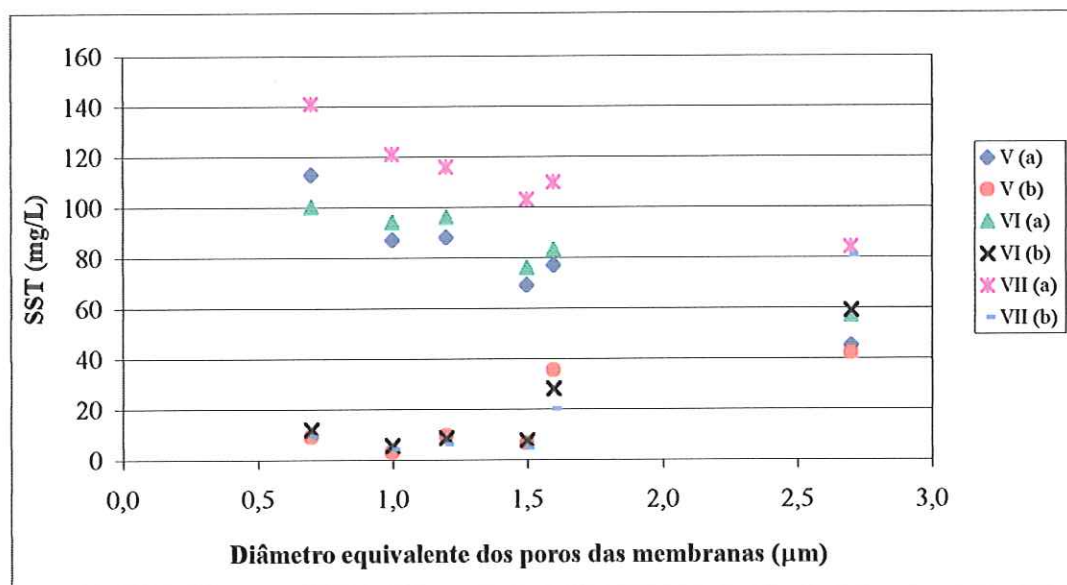
**FIGURA 5.4** - SST em membranas com poros de vários diâmetros (a - não seqüencial) e com a passagem do mesmo volume de amostra na membrana com poros de maior diâmetro até a de menor diâmetro (b - seqüencial), obtidos com efluentes da ETE de Araraquara utilizados nos ensaios de desinfecção 6 e 7.



**FIGURA 5.5** - SST em membranas com poros de vários diâmetros (a - não sequencial) e com a passagem do mesmo volume de amostra na membrana com poros de maior diâmetro até a de menor diâmetro (b - sequencial), obtidos com efluentes da ETE de Araraquara utilizados nos ensaios de desinfecção 8 e 9.



**FIGURA 5.6** - SST em membranas com poros de vários diâmetros (a - não sequencial) e com a passagem do mesmo volume de amostra na membrana com poros de maior diâmetro até a de menor diâmetro (b - sequencial), obtidos com efluentes da ETE de Lins utilizados nos ensaios de desinfecção III e IV.



**FIGURA 5.7** - SST em membranas com poros de vários diâmetros (a - não seqüencial) e com a passagem do mesmo volume de amostra na membrana com poros de maior diâmetro até a de menor diâmetro (b - seqüencial), obtidos com efluentes da ETE de Lins utilizados nos ensaios de desinfecção V, VI e VII.

Nota-se também, pelos valores obtidos, que a membrana de 1,2 µm tradicionalmente usada para determinação dos SST em águas residuárias, fornece boa representação da quantificação dos SST que servem de anteparo à radiação ultravioleta, pois a maioria das bactérias, inclusive a *E. coli*, que é um dos microrganismos indicadores utilizados nesta pesquisa, apresenta tamanho inferior a 1,2 µm.

Analisando-se as Tabelas 5.16 e 5.17 e as Figuras 5.3 a 5.7 que relacionam os valores dos SST com a passagem do mesmo volume de amostra na membrana de maior diâmetro (2,7 µm) até a de menor (0,7 µm), pode ser verificado que quase a totalidade dos SST ficam retidos nas membranas de 2,7 µm, porque grande parcela das partículas menores ficaram agregadas as maiores retidas nas membranas, impossibilitando sua passagem.

As absorvâncias lidas na faixa de comprimento de onda compreendida de 200 a 400 nm para amostras brutas e filtradas dos efluentes da ETE de Araraquara utilizados nos ensaios 5 a 8 estão mostradas nas Tabelas B.1 (ensaios 5 e 6) e B.2 (ensaios 7 e 8) e plotadas nas Figuras B.1 (ensaio 5), B.2 (ensaio 6), B.3 (ensaio 7) e

B.4 (ensaio 8), todas do Anexo B. A Tabela B.3 do Anexo B apresenta as absorvâncias lidas na mesma faixa de comprimento de onda descrita anteriormente para amostras brutas e filtradas dos efluentes da ETE de Lins utilizados nos ensaios V, VI e VII e as Figuras B.5 (ensaio V), B.6 (ensaio VI) e B.7 (ensaio VII) mostram seus comportamentos.

Nestas figuras, correspondentes as absorvâncias lidas de 200 a 400 nm de alguns dos efluentes das ETEs de Araraquara e de Lins utilizados nos ensaios, não se observa a presença de picos. As curvas de absorvâncias da amostra bruta dos efluentes da ETE de Araraquara apresentam comportamento similar e o mesmo pode ser notado para os efluentes da ETE de Lins. Os maiores valores das absorvâncias das amostras brutas dos efluentes da ETE de Lins são decorrência, principalmente, da elevada concentração de algas.

Nas Figuras B.6 e B.7 do Anexo B, referentes, respectivamente, aos ensaios VI e VII realizados com efluentes da ETE de Lins, nota-se a influência das algas, pois as curvas de absorvância da amostra filtrada apresentam valores próximos aos das curvas de absorvância da amostra filtrada dos efluentes da ETE de Araraquara.

Para os efluentes desinfetados (amostras irradiadas) foram feitos apenas os exames dos microrganismos indicadores, pois a radiação ultravioleta não altera as variáveis utilizadas nas análises físico-químicas dos efluentes das duas ETEs.

Os valores das concentrações sobreviventes de coliformes totais, *E. coli*, colifagos e *C. perfringens* obtidos nos ensaios em batelada realizados com efluentes da ETE de Araraquara com lâmina líquida de 4 cm, de Araraquara com lâmina líquida de 8 cm (exceto colifagos e *C. perfringens*) e de Lins com lâmina líquida de 2cm estão apresentados nas Tabelas 5.18, 5.19 e 5.20, respectivamente.

De acordo com os resultados mostrados nas Tabelas 5.18 a 5.20 referentes aos efluentes desinfetados dos ensaios em batelada, verificou-se que a desinfecção com radiação ultravioleta foi eficiente na inativação de coliformes totais, *E. coli* e colifagos e que os *C. perfringens* apresentaram a maior resistência e a espécie de colifagos examinada apresentou a menor resistência.

Ainda com relação às concentrações sobreviventes de microrganismos indicadores nos efluentes desinfetados, pode ser visto na Tabela 5.20 que o ensaio I realizado com lâmina de 4 cm e efluente da ETE de Lins não apresentou resultados

satisfatórios de inativação, devido à elevada absorvância e concentração de SST, fazendo-se necessária redução da lâmina para 2 cm nos demais ensaios.

**TABELA 5.18** - Valores da concentração sobrevivente de coliformes totais, *E. coli*, colifagos e *C. perfringens* obtidos nos ensaios de desinfecção em batelada realizados com efluentes da ETE de Araraquara e lâmina líquida de 4 cm.

Ensaio	t (s)	N (NMP/100 mL)			
		Coliformes totais	<i>Escherichia coli</i>	Colifagos*	<i>Clostridium perfringens</i>
1.1	15	1,1.10 <sup>4</sup>	3,1.10 <sup>3</sup>	45	NR
1.2	30	3,7.10 <sup>3</sup>	8,0.10 <sup>2</sup>	5	NR
1.3	60	1,2.10 <sup>3</sup>	< 1	0	NR
1.4	90	1,7.10 <sup>2</sup>	10	0	NR
1.5	120	66	< 1	0	NR
2.1	15	1,8.10 <sup>4</sup>	4,0.10 <sup>3</sup>	35	1,9.10 <sup>2</sup>
2.2	30	2,0.10 <sup>3</sup>	5,1.10 <sup>2</sup>	0	1,9.10 <sup>2</sup>
2.3	60	3,4.10 <sup>2</sup>	75	0	2,0.10 <sup>2</sup>
2.4	90	1,3.10 <sup>2</sup>	44	0	1,2.10 <sup>2</sup>
2.5	120	99	16	0	1,3.10 <sup>2</sup>
3.1	15	1,6.10 <sup>4</sup>	4,3.10 <sup>3</sup>	5	1,7.10 <sup>3</sup>
3.2	30	3,2.10 <sup>3</sup>	3,7.10 <sup>2</sup>	0	2,2.10 <sup>3</sup>
3.3	45	1,9.10 <sup>3</sup>	1,8.10 <sup>2</sup>	0	1,4.10 <sup>3</sup>
3.4	60	2,7.10 <sup>2</sup>	55	0	2,1.10 <sup>3</sup>
3.5	90	2,1.10 <sup>2</sup>	39	0	4,0.10 <sup>2</sup>
3.6	120	78	18	0	4,0.10 <sup>2</sup>
4.1	5	7,7.10 <sup>5</sup>	4,6.10 <sup>4</sup>	3,3.10 <sup>2</sup>	2,6.10 <sup>3</sup>
4.2	15	4,5.10 <sup>4</sup>	7,8.10 <sup>3</sup>	25	1,2.10 <sup>3</sup>
4.3	30	1,6.10 <sup>3</sup>	2,4.10 <sup>2</sup>	0	2,2.10 <sup>3</sup>
4.4	45	1,3.10 <sup>3</sup>	97	0	2,1.10 <sup>3</sup>
4.5	60	9,5.10 <sup>2</sup>	65	0	2,2.10 <sup>3</sup>
4.6	75	5,2.10 <sup>2</sup>	61	0	NR
4.7	90	4,4.10 <sup>2</sup>	52	0	2,6.10 <sup>2</sup>
4.8	120	2,0.10 <sup>2</sup>	28	0	1,7.10 <sup>3</sup>
5.1	5	8,1.10 <sup>4</sup>	1,5.10 <sup>4</sup>	20	7,0.10 <sup>3</sup>
5.2	10	3,3.10 <sup>4</sup>	5,6.10 <sup>3</sup>	15	NR
5.3	15	1,2.10 <sup>4</sup>	2,7.10 <sup>3</sup>	0	7,0.10 <sup>3</sup>
5.4	20	3,3.10 <sup>3</sup>	9,3.10 <sup>2</sup>	0	NR
5.5	30	1,6.10 <sup>3</sup>	4,2.10 <sup>2</sup>	0	3,3.10 <sup>3</sup>
5.6	45	6,4.10 <sup>2</sup>	2,0.10 <sup>2</sup>	0	7,0.10 <sup>3</sup>
5.7	60	4,2.10 <sup>2</sup>	1,5.10 <sup>2</sup>	0	1,4.10 <sup>3</sup>
5.8	90	78	18	0	1,3.10 <sup>3</sup>
5.9	120	35	15	0	1,7.10 <sup>3</sup>

NR: não realizado

\* UFP/100 mL



**TABELA 5.19 -** Valores da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidos nos ensaios de desinfecção em batelada realizados com efluentes da ETE de Araraquara e lâmina líquida de 8 cm.

Ensaio	t (s)	N (NMP/100 mL)	
		Coliformes totais	<i>Escherichia coli</i>
6.1	15	$4,1 \cdot 10^4$	$1,1 \cdot 10^4$
6.2	30	$1,6 \cdot 10^4$	$2,8 \cdot 10^3$
6.3	60	$4,4 \cdot 10^2$	50
6.4	90	$2,1 \cdot 10^2$	40
6.5	120	$3,4 \cdot 10^2$	57
7.1	15	$1,6 \cdot 10^5$	$3,5 \cdot 10^4$
7.2	30	$4,4 \cdot 10^3$	$1,5 \cdot 10^3$
7.3	45	$7,9 \cdot 10^2$	$1,8 \cdot 10^2$
7.4	60	$8,4 \cdot 10^2$	$1,5 \cdot 10^2$
7.5	90	$7,1 \cdot 10^2$	$1,6 \cdot 10^2$
8.1	15	$4,7 \cdot 10^4$	$8,4 \cdot 10^3$
8.2	30	$7,1 \cdot 10^3$	$1,5 \cdot 10^3$
8.3	45	$1,9 \cdot 10^3$	$1,7 \cdot 10^2$
8.4	60	$2,3 \cdot 10^3$	$1,2 \cdot 10^2$
8.5	90	$3,3 \cdot 10^2$	31
8.6	120	$3,2 \cdot 10^2$	36
9.1	10	$1,6 \cdot 10^5$	$1,3 \cdot 10^4$
9.2	20	$2,8 \cdot 10^4$	$4,0 \cdot 10^3$
9.3	30	$7,9 \cdot 10^3$	$1,0 \cdot 10^3$
9.4	45	$3,2 \cdot 10^3$	$3,7 \cdot 10^2$
9.5	60	$1,2 \cdot 10^3$	46
9.6	90	$7,6 \cdot 10^2$	40
9.7	120	$6,1 \cdot 10^2$	47

As Tabelas 5.21, 5.22 e 5.23 apresentam, respectivamente, as doses de radiação ultravioleta obtidas nos ensaios em batelada realizados com efluentes da ETE de Araraquara com lâmina líquida de 4 cm, de Araraquara com lâmina líquida de 8 cm e de Lins com lâmina líquida de 2 cm. Os valores do coeficiente de extinção na base e ( $\mu$ ), intensidade média de radiação ultravioleta na lâmina líquida de espessura L ( $I_m$ ), dose aplicada de radiação ultravioleta ( $D_a$ ), dose recebida de radiação ultravioleta ( $D_r$ ), dose aplicada por volume ( $D_{av}$ ) e dose recebida por volume ( $D_{rv}$ ) foram calculados pelas eqs. (3.5), (3.2), (3.6), (3.8), (3.7) e (3.9), respectivamente.

TABELA 5.20 - Valores da concentração sobrevivente de coliformes totais, *E. coli*, colifagos e *C. perfringens* obtidos nos ensaios de desinfecção em batelada realizados com efluentes da ETE de Lins e lâmina líquida de 2 cm.

Ensaio	t (s)	N (NMP/100 mL)			
		Coliformes Totais	<i>Escherichia coli</i>	Colifagos*	<i>Clostridium perfringens</i>
I.1	40	1,5.10 <sup>4</sup>	3,3.10 <sup>3</sup>	50	NR
I.2	60	1,4.10 <sup>4</sup>	2,6.10 <sup>3</sup>	70	NR
I.3	120	3,9.10 <sup>3</sup>	9,3.10 <sup>2</sup>	75	NR
II.1	15	7,7.10 <sup>5</sup>	1,0.10 <sup>2</sup>	5	1,6.10 <sup>4</sup>
II.2	30	2,0.10 <sup>5</sup>	< 1	0	4,0.10 <sup>3</sup>
II.3	60	7,4.10 <sup>4</sup>	< 1	0	4,0.10 <sup>3</sup>
II.4	90	6,9.10 <sup>4</sup>	< 1	0	2,0.10 <sup>3</sup>
II.5	120	4,3.10 <sup>4</sup>	< 1	0	2,0.10 <sup>3</sup>
III.1	15	1,1.10 <sup>4</sup>	1,2.10 <sup>2</sup>	0	1,7.10 <sup>4</sup>
III.2	30	7,7.10 <sup>2</sup>	< 1	0	2,2.10 <sup>3</sup>
III.3	60	2,1.10 <sup>2</sup>	< 1	0	9,0.10 <sup>2</sup>
III.4	90	74	< 1	0	4,0.10 <sup>2</sup>
III.5	120	10	< 1	0	2,0.10 <sup>2</sup>
IV.1	15	4,2.10 <sup>3</sup>	9,6.10 <sup>2</sup>	5	7,0.10 <sup>3</sup>
IV.2	30	5,2.10 <sup>2</sup>	83	0	5,0.10 <sup>3</sup>
IV.3	60	3,4.10 <sup>2</sup>	16	0	2,2.10 <sup>3</sup>
IV.4	90	59	7	0	1,7.10 <sup>3</sup>
IV.5	120	1,0.10 <sup>2</sup>	2	0	2,3.10 <sup>2</sup>
V.1	10	3,4.10 <sup>4</sup>	1,4.10 <sup>4</sup>	10	1,7.10 <sup>4</sup>
V.2	20	3,2.10 <sup>3</sup>	8,2.10 <sup>2</sup>	0	1,7.10 <sup>4</sup>
V.3	30	7,8.10 <sup>2</sup>	1,0.10 <sup>2</sup>	0	8,0.10 <sup>3</sup>
V.4	40	3,3.10 <sup>2</sup>	73	0	7,0.10 <sup>3</sup>
V.5	60	1,9.10 <sup>2</sup>	5	0	3,0.10 <sup>3</sup>
VI.1	10	8,0.10 <sup>4</sup>	9,8.10 <sup>3</sup>	15	5,0.10 <sup>4</sup>
VI.2	20	5,9.10 <sup>3</sup>	1,9.10 <sup>2</sup>	0	8,0.10 <sup>4</sup>
VI.3	30	2,4.10 <sup>3</sup>	65	0	3,0.10 <sup>4</sup>
VI.4	40	1,3.10 <sup>3</sup>	23	0	2,3.10 <sup>3</sup>
VI.5	50	3,8.10 <sup>2</sup>	10	0	3,6.10 <sup>2</sup>
VI.6	60	4,3.10 <sup>2</sup>	< 1	0	5,0.10 <sup>3</sup>
VI.7	90	3,1.10 <sup>2</sup>	< 1	0	3,4.10 <sup>2</sup>
VII.1	5	6,1.10 <sup>5</sup>	3,2.10 <sup>4</sup>	0	NR
VII.2	10	9,3.10 <sup>4</sup>	5,5.10 <sup>3</sup>	0	1,4.10 <sup>4</sup>
VII.3	20	7,7.10 <sup>4</sup>	8,0.10 <sup>2</sup>	0	8,0.10 <sup>3</sup>
VII.4	30	6,5.10 <sup>3</sup>	64	0	3,3.10 <sup>3</sup>
VII.5	40	2,1.10 <sup>3</sup>	27	0	1,3.10 <sup>3</sup>
VII.6	50	7,7.10 <sup>2</sup>	6	0	NR
VII.7	60	1,4.10 <sup>3</sup>	3	0	1,3.10 <sup>3</sup>
VII.8	90	2,2.10 <sup>2</sup>	< 1	0	1,1.10 <sup>3</sup>

NR: não realizado

\* UFP/100 mL



**TABELA 5.21** - Valores das doses de radiação ultravioleta aplicada e recebida obtidos nos ensaios de desinfecção em batelada realizados com efluentes da ETE de Araraquara e lâmina líquida de 4 cm.

Ensaio	t (s)	ce (cm <sup>-1</sup> )	I <sub>m</sub> (mW/cm <sup>2</sup> )	D <sub>a</sub> (mWs/cm <sup>2</sup> )	D <sub>r</sub> (mWs/cm <sup>2</sup> )	D <sub>av</sub> (Wh/m <sup>3</sup> )	D <sub>rv</sub> (Wh/m <sup>3</sup> )
1.1	15	1,458	1,03	90,75	15,52	6,30	1,08
1.2	30	1,458	1,03	181,50	31,03	12,61	2,16
1.3	60	1,458	1,03	363,00	62,07	25,21	4,31
1.4	90	1,458	1,03	544,50	93,10	37,82	6,47
1.5	120	1,458	1,03	726,00	124,14	50,42	8,62
2.1	15	1,046	0,74	47,40	11,16	3,29	0,78
2.2	30	1,046	0,74	94,80	22,32	6,58	1,55
2.3	60	1,046	0,74	189,60	44,64	13,17	3,10
2.4	90	1,046	0,74	284,40	66,96	19,75	4,65
2.5	120	1,046	0,74	379,20	89,28	26,34	6,20
3.1	15	1,145	0,68	47,40	10,25	3,29	0,71
3.2	30	1,145	0,68	94,80	20,49	6,58	1,42
3.3	45	1,145	0,68	142,20	30,74	9,88	2,13
3.4	60	1,145	0,68	189,60	40,99	13,17	2,85
3.5	90	1,145	0,68	284,40	61,48	19,75	4,27
3.6	120	1,145	0,68	379,20	81,97	26,34	5,69
4.1	5	1,324	0,59	15,80	2,97	1,10	0,21
4.2	15	1,324	0,59	47,40	8,90	3,29	0,62
4.3	30	1,324	0,59	94,80	17,81	6,58	1,24
4.4	45	1,324	0,59	142,20	26,71	9,88	1,86
4.5	60	1,324	0,59	189,60	35,62	13,17	2,47
4.6	75	1,324	0,59	237,00	44,52	16,46	3,09
4.7	90	1,324	0,59	284,40	53,42	19,75	3,71
4.8	120	1,324	0,59	379,20	71,23	26,34	4,95
5.1	5	0,949	0,81	15,80	4,07	1,10	0,28
5.2	10	0,949	0,81	31,60	8,14	2,19	0,57
5.3	15	0,949	0,81	47,40	12,21	3,29	0,85
5.4	20	0,949	0,81	63,20	16,28	4,39	1,13
5.5	30	0,949	0,81	94,80	24,42	6,58	1,70
5.6	45	0,949	0,81	142,20	36,62	9,88	2,54
5.7	60	0,949	0,81	189,60	48,83	13,17	3,39
5.8	90	0,949	0,81	284,40	73,25	19,75	5,09
5.9	120	0,949	0,81	379,20	97,67	26,34	6,78

Para este tipo de reator com lâmpadas emersas fixadas em refletores de alumínio, a dose aplicada é a energia total que atinge a superfície da lâmina líquida, sofrendo acréscimo com aumento do número de lâmpadas ligadas, do tempo de irradiação ou ambos. Como a D<sub>a</sub> foi controlada pelo número de lâmpadas ligadas,

pode-se observar nas Tabelas 5.21 a 5.23 que os ensaios com maior número de lâmpadas ligadas apresentaram valores de  $D_a$  mais elevados, uma vez que todos os ensaios foram realizados com tempos de irradiação dentro do intervalo de 5 a 120 s.

**TABELA 5.22** - Valores das doses de radiação ultravioleta aplicada e recebida obtidos nos ensaios de desinfecção em batelada realizados com efluentes da ETE de Araraquara e lâmina líquida de 8 cm.

Ensaio	t (s)	ce ( $\text{cm}^{-1}$ )	$I_m$ ( $\text{mW}/\text{cm}^2$ )	$D_a$ ( $\text{mWs}/\text{cm}^2$ )	$D_r$ ( $\text{mWs}/\text{cm}^2$ )	$D_{av}$ ( $\text{Wh}/\text{m}^3$ )	$D_{rv}$ ( $\text{Wh}/\text{m}^3$ )
6.1	15	1,534	0,49	90,75	7,40	3,15	0,26
6.2	30	1,534	0,49	181,50	14,79	6,30	0,51
6.3	60	1,534	0,49	363,00	29,58	12,61	1,03
6.4	90	1,534	0,49	544,50	44,37	18,91	1,54
6.5	120	1,534	0,49	726,00	59,17	25,21	2,05
7.1	15	1,168	0,65	90,75	9,71	3,15	0,34
7.2	30	1,168	0,65	181,50	19,43	6,30	0,67
7.3	45	1,168	0,65	272,25	29,14	9,45	1,01
7.4	60	1,168	0,65	363,00	38,86	12,61	1,35
7.5	90	1,168	0,65	544,50	58,29	18,91	2,02
8.1	15	1,409	0,54	90,75	8,05	3,15	0,28
8.2	30	1,409	0,54	181,50	16,10	6,30	0,56
8.3	45	1,409	0,54	272,25	24,14	9,45	0,84
8.4	60	1,409	0,54	363,00	32,19	12,61	1,12
8.5	90	1,409	0,54	544,50	48,29	18,91	1,68
8.6	120	1,409	0,54	726,00	64,39	25,21	2,24
9.1	10	1,209	0,63	60,50	6,25	2,10	0,22
9.2	20	1,209	0,63	121,00	12,51	4,20	0,43
9.3	30	1,209	0,63	181,50	18,76	6,30	0,65
9.4	45	1,209	0,63	272,25	28,14	9,45	0,98
9.5	60	1,209	0,63	363,00	37,53	12,61	1,30
9.6	90	1,209	0,63	544,50	56,29	18,91	1,95
9.7	120	1,209	0,63	726,00	75,05	25,21	2,61

A dose recebida é a energia total efetivamente disponível para inativação dos microrganismos, sendo influenciada pelas características das águas residuárias desinfetadas, principalmente absorvância e SST e pela espessura da lâmina líquida. Nas Tabelas 5.21 (ensaio 2 a 5), 5.22 (ensaio 6 a 9) e 5.23 (ensaio IV a VII) nota-se que os ensaios feitos com mesma espessura da lâmina líquida, número de lâmpadas ligadas e efluente apresentaram diminuição de  $D_r$  com aumento do coeficiente de extinção ( $ce = 2,303.A$ ).

**TABELA 5.23 -** Valores das doses de radiação ultravioleta aplicada e recebida obtidos nos ensaios de desinfecção em batelada realizados com efluentes da ETE de Lins e lâmina líquida de 2 cm.

Ensaio	t (s)	ce (cm <sup>-1</sup> )	I <sub>m</sub> (mW/cm <sup>2</sup> )	D <sub>a</sub> (mWs/cm <sup>2</sup> )	D <sub>r</sub> (mWs/cm <sup>2</sup> )	D <sub>av</sub> (Wh/m <sup>3</sup> )	D <sub>rv</sub> (Wh/m <sup>3</sup> )
I.1	40	3,146	0,48	242,00	19,23	16,81	1,34
I.2	60	3,146	0,48	363,00	28,85	25,21	2,00
I.3	120	3,146	0,48	726,00	57,69	50,42	4,01
II.1	15	3,323	0,91	90,75	13,64	12,61	1,89
II.2	30	3,323	0,91	181,50	27,27	25,21	3,79
II.3	60	3,323	0,91	363,00	54,54	50,42	7,58
II.4	90	3,323	0,91	544,50	81,82	75,63	11,36
II.5	120	3,323	0,91	726,00	109,09	100,84	15,15
III.1	15	2,568	0,61	47,40	9,18	6,58	1,27
III.2	30	2,568	0,61	94,80	18,35	13,17	2,55
III.3	60	2,568	0,61	189,60	36,70	26,34	5,10
III.4	90	2,568	0,61	284,40	55,05	39,50	7,65
III.5	120	2,568	0,61	379,20	73,40	52,67	10,20
IV.1	15	2,450	0,43	31,80	6,44	4,42	0,89
IV.2	30	2,450	0,43	63,60	12,88	8,83	1,79
IV.3	60	2,450	0,43	127,20	25,76	17,67	3,58
IV.4	90	2,450	0,43	190,80	38,64	26,50	5,37
IV.5	120	2,450	0,43	254,40	51,52	35,34	7,16
V.1	10	2,404	0,44	21,20	4,37	2,94	0,61
V.2	20	2,404	0,44	42,40	8,75	5,89	1,21
V.3	30	2,404	0,44	63,60	13,12	8,83	1,82
V.4	40	2,404	0,44	84,80	17,49	11,78	2,43
V.5	60	2,404	0,44	127,20	26,24	17,67	3,64
VI.1	10	2,347	0,45	21,20	4,48	2,94	0,62
VI.2	20	2,347	0,45	42,40	8,95	5,89	1,24
VI.3	30	2,347	0,45	63,60	13,43	8,83	1,86
VI.4	40	2,347	0,45	84,80	17,90	11,78	2,49
VI.5	50	2,347	0,45	106,00	22,38	14,72	3,11
VI.6	60	2,347	0,45	127,20	26,85	17,67	3,73
VI.7	90	2,347	0,45	190,80	40,28	26,50	5,59
VII.1	5	2,252	0,47	10,60	2,33	1,47	0,32
VII.2	10	2,252	0,47	21,20	4,65	2,94	0,65
VII.3	20	2,252	0,47	42,40	9,31	5,89	1,29
VII.4	30	2,252	0,47	63,60	13,96	8,83	1,94
VII.5	40	2,252	0,47	84,80	18,62	11,78	2,59
VII.6	50	2,252	0,47	106,00	23,27	14,72	3,23
VII.7	60	2,252	0,47	127,20	27,93	17,67	3,88
VII.8	90	2,252	0,47	190,80	41,89	26,50	5,82

Os valores da concentração inicial e sobrevivente, do logaritmo da fração sobrevivente e da percentagem de eficiência de inativação obtidos para coliformes totais, *E. coli* e *C. perfringens* nos ensaios em batelada realizados com efluentes da ETE de Araraquara com lâmina líquida de 4 cm estão mostradas nas Tabelas B.4, B.5 e B.6 (Anexo B), respectivamente. As Tabelas B.7 e B.8 (Anexo B) mostram os valores obtidos para coliformes totais e *E. coli*, respectivamente, nos ensaios em batelada realizados com efluentes da ETE de Araraquara com lâmina líquida de 8 cm. Os valores obtidos nos ensaios em batelada realizados com efluentes da ETE de Lins com lâmina líquida de 2 cm estão relacionados nas Tabelas B.9, B.10 e B.11 (Anexo B), respectivamente, para coliformes totais, *E. coli* e *C. perfringens*. Na Tabela B.12 (Anexo B) estão apresentados os valores obtidos para colifagos nos ensaios em batelada realizados com efluentes das ETES de Araraquara e de Lins, considerando apenas os ensaios que apresentaram concentração sobrevivente nos efluentes desinfetados.

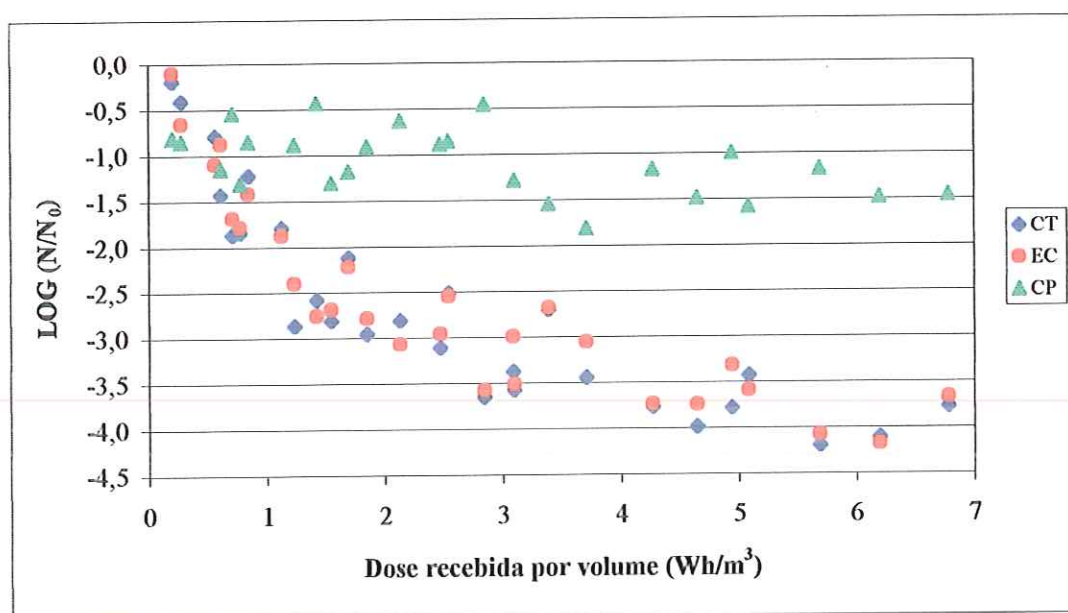
Nas Tabelas B.4 a B.12 observam-se resultados satisfatórios de inativação de coliformes totais, *E. coli* e colifagos e que os *C. perfringens*, tanto nos ensaios realizados com efluentes da ETE de Araraquara com lâmina de 4 cm (Tabela B.6) e da ETE de Lins com lâmina de 2 cm (Tabela B.11), tiveram a maior resistência à desinfecção com radiação ultravioleta, apresentando resistência mesmo nos ensaios II e III (Tabela B.11 e Figura B.18) com doses recebidas superiores a 15 e 10 Wh/m<sup>3</sup>, respectivamente.

Como pode ser visto nas Tabelas B.5 (ensaio 1) e B.10 (ensaios II, III, VI e VII), os maiores tempos de irradiação apresentaram 100 % de inativação de *E. coli*.

Os colifagos, que apresentaram a menor resistência à desinfecção com radiação ultravioleta, não foram representados graficamente, pois estiveram presentes somente nos efluentes das ETES e nos desinfetados dos ensaios realizados com tempos de irradiação inferiores ou iguais a 15 s, salvando-se algumas exceções, conforme mostra a Tabela B.12. A presença nos efluentes dos ensaios I.1, I.2 e I.3, realizados com efluentes da ETE de Lins, lâmina líquida de 4 cm e tempos de irradiação de 40, 60 e 120 s, respectivamente, se deram pelos valores elevados de absorvância e pelas concentrações elevadas de matéria orgânica.

Na Figura 5.8 pode ser observado o logaritmo da fração sobrevivente de

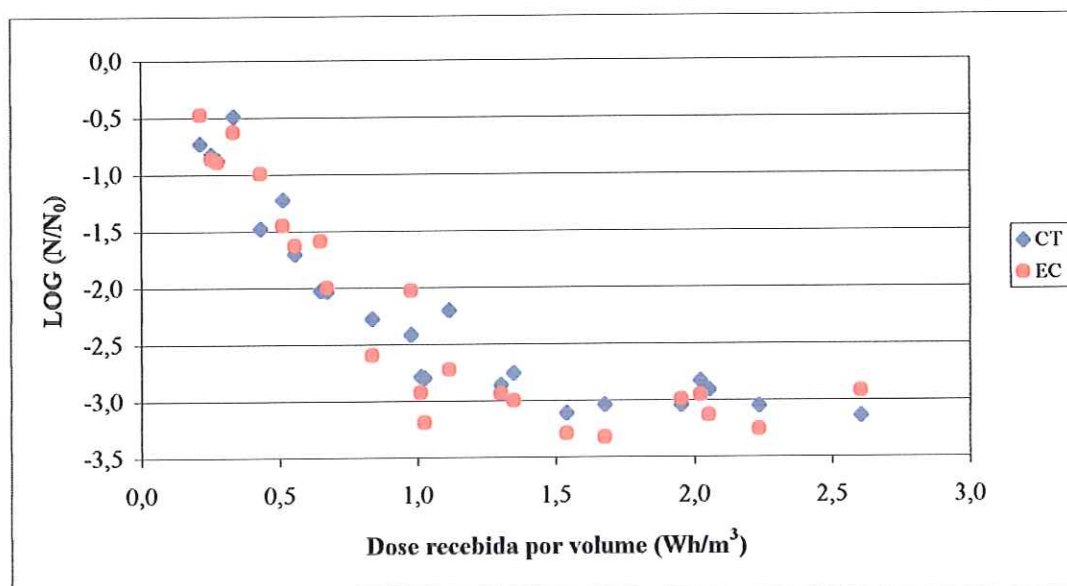
coliformes totais, *E. coli* e *C. perfringens* em função da dose recebida por volume obtido nos ensaios de desinfecção 2, 3, 4 e 5 realizados com efluentes da ETE de Araraquara, 3 lâmpadas ligadas e lâmina líquida de 4 cm. As Figuras B.8, B.9 e B.10 do Anexo B mostram a relação dos SST, DQO<sub>bruta</sub> e A<sub>bruta</sub>, respectivamente, na inativação dos microrganismos indicadores nos ensaios 2 a 5. Isto também pode ser observado para os ensaios 6, 7, 8 e 9 realizados com efluentes da ETE de Araraquara, 6 lâmpadas ligadas e lâmina de 8 cm nas Figuras 5.9, B.11, B.12 e B.13 (exceto a inativação de *C. perfringens*) e nas Figuras 5.10, B.14, B.15 e B.16 para os ensaios IV, V, VI e VII realizados com efluentes da ETE de Lins, 2 lâmpadas ligadas e lâmina de 2 cm.



**FIGURA 5.8** - Resultados da inativação de coliformes totais, *E. coli* e *C. perfringens* obtidos nos ensaios de desinfecção 2, 3, 4 e 5 realizados com efluentes da ETE de Araraquara ( $L = 4$  cm).

Nas Figuras 5.8, 5.9 e 5.10, comparando a resistência à desinfecção com radiação ultravioleta dos microrganismos indicadores, nota-se que os *C. perfringens* (Figuras 5.8 e 5.10), com a maioria dos resultados na ordem de 1 a 2 log de inativação para doses recebidas entre 3 e 7 Wh/m<sup>3</sup>, tiveram os piores resultados. Também se verifica que os coliformes totais apresentaram praticamente a mesma

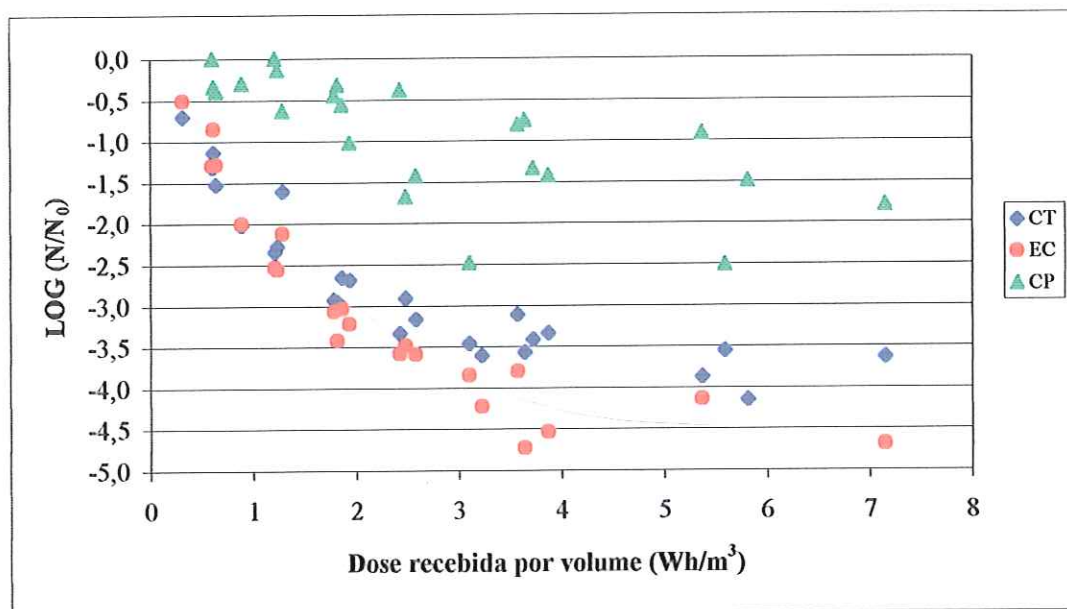
resistência que a *E. coli* nos ensaios com efluentes da ETE de Araraquara com lâmina de 4 cm (Figura 5.8) e uma pequena superioridade de resistência nos ensaios com efluentes da ETE de Araraquara com lâmina de 8 cm (Figura 5.9) e da ETE de Lins com lâmina de 2 cm (Figura 5.10).



**FIGURA 5.9** - Resultados da inativação de coliformes totais e *E. coli* obtidos nos ensaios de desinfecção 6, 7, 8 e 9 realizados com efluentes da ETE de Araraquara ( $L = 8\text{cm}$ ).

Ao se analisar as Figuras B.8 a B.13 e B.14 a B.16 do Anexo B referentes aos ensaios feitos com efluentes da ETE de Araraquara e de Lins, respectivamente, em que se relacionou a inativação dos microrganismos com as variáveis SST, DQO e absorvância, nota-se que apesar de os efluentes da ETE de Lins possuírem qualidades inferiores e provenientes de tratamento diferente, os resultados de remoção dos microrganismos foram satisfatórios e próximos aos dos ensaios realizados com efluentes da ETE de Araraquara com lâmina de 4 cm (ensaios 2 a 5). Isto só foi possível porque os ensaios com efluentes da ETE de Lins foram feitos com lâmina de 2 cm, uma vez que, para lâmina de 4 cm a radiação ultravioleta não se mostrou eficiente para a dose aplicada. Também se observa que os ensaios realizados com efluentes da ETE de Araraquara com lâmina de 8 cm (ensaios 6 a 9) apresentaram remoção inferior aos realizados com lâmina de 4 cm, apesar de o afluente apresentar

características semelhantes, pois o aumento da espessura da lâmina proporcionou redução na dose recebida pelos microrganismos.



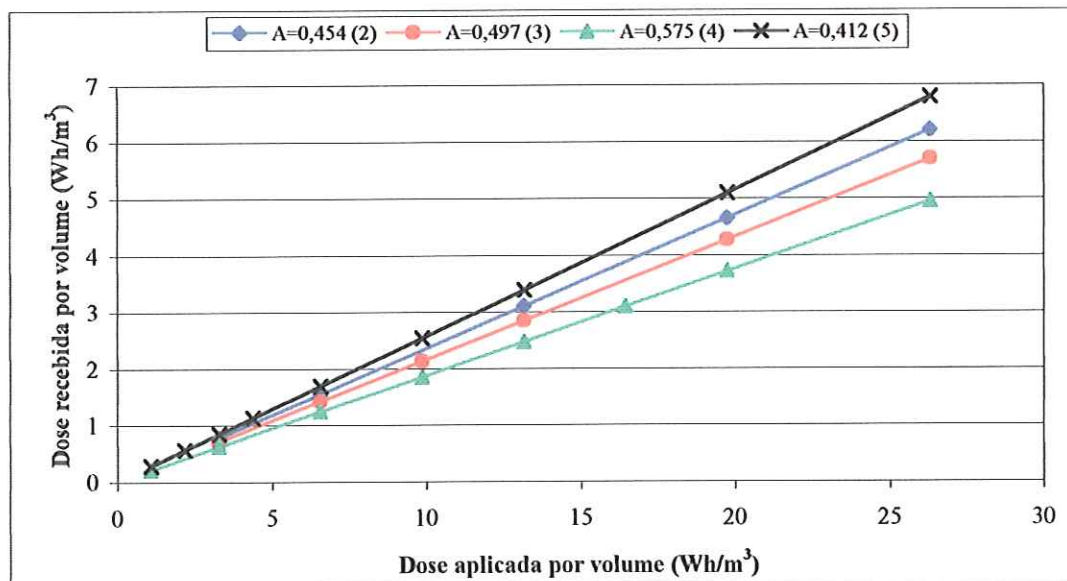
**FIGURA 5.10-** Resultados da inativação de coliformes totais, *E. coli* e *C. perfringens* obtidos nos ensaios de desinfecção IV, V, VI e VII realizados com efluentes da ETE de Lins ( $L = 2\text{cm}$ ).

A relação entre dose aplicada e recebida por volume em função da absorvância obtida para os ensaios 2 a 5, 6 a 9 e IV a VII pode ser vista nas Figuras 5.11, 5.12 e 5.13, respectivamente.

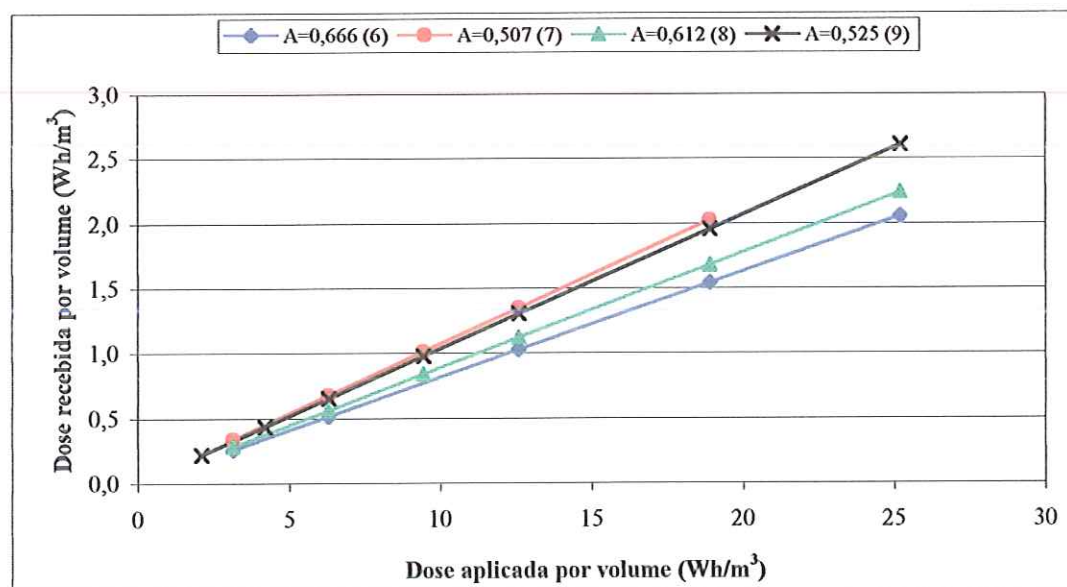
Pela análise da Figura 5.11 verifica-se que quanto maior a absorvância, isto é, pior a qualidade do efluente da ETE, menor foi a dose recebida pelos microrganismos. O mesmo comportamento pode ser notado nas Figuras 5.12 e 5.13.

O efluente da ETE de Lins (Figura 5.13), com qualidade inferior, mesmo com espessura da lâmina líquida reduzida para 2 cm, apresentou valores da dose recebida por volume inferiores ao efluente da ETE de Araraquara com lâmina de 4 cm (Figura 5.11) para doses aplicadas próximas.

A absorvância do efluente está diretamente relacionada ao consumo de energia, pois quanto maior seu valor, isto é, maior a concentração de sólidos suspensos e matéria orgânica, maior será o consumo de energia, pois a dose aplicada deverá ser aumentada para se manter a mesma eficiência de inativação.

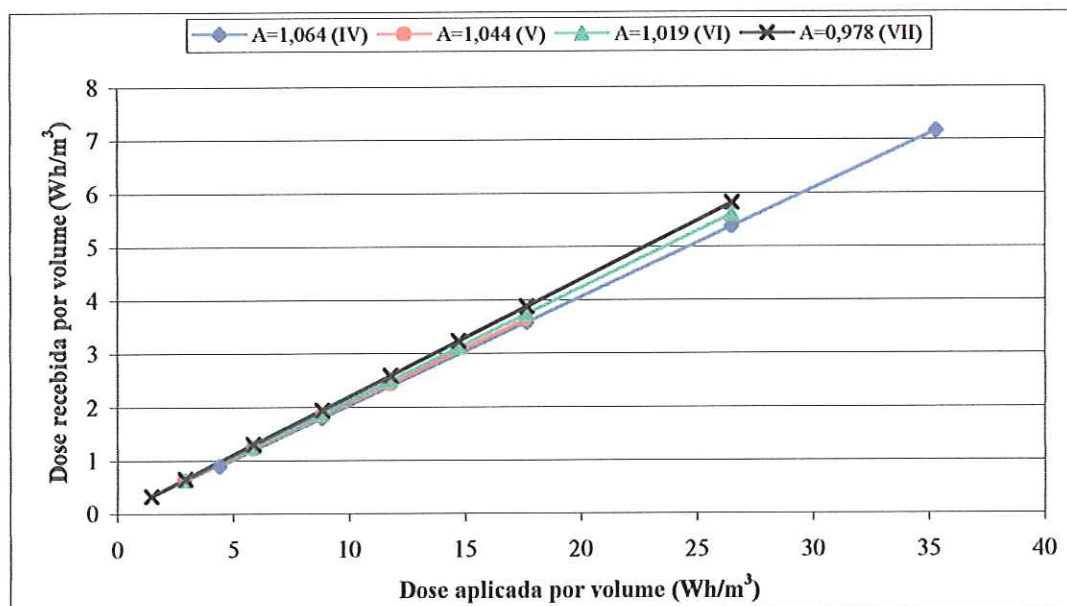


**FIGURA 5.11** - Relação entre dose aplicada e recebida por volume em função da absorvância obtida nos ensaios de desinfecção 2, 3, 4 e 5 realizados com efluentes da ETE de Araraquara ( $L = 4$  cm).



**FIGURA 5.12** - Relação entre dose aplicada e recebida por volume em função da absorvância obtida nos ensaios de desinfecção 6, 7, 8 e 9 realizados com efluentes da ETE de Araraquara ( $L = 8$  cm).





**FIGURA 5.13** - Relação entre dose aplicada e recebida por volume em função da absorvância obtida nos ensaios de desinfecção IV, V, VI e VII realizados com efluentes da ETE de Lins ( $L = 2$  cm).

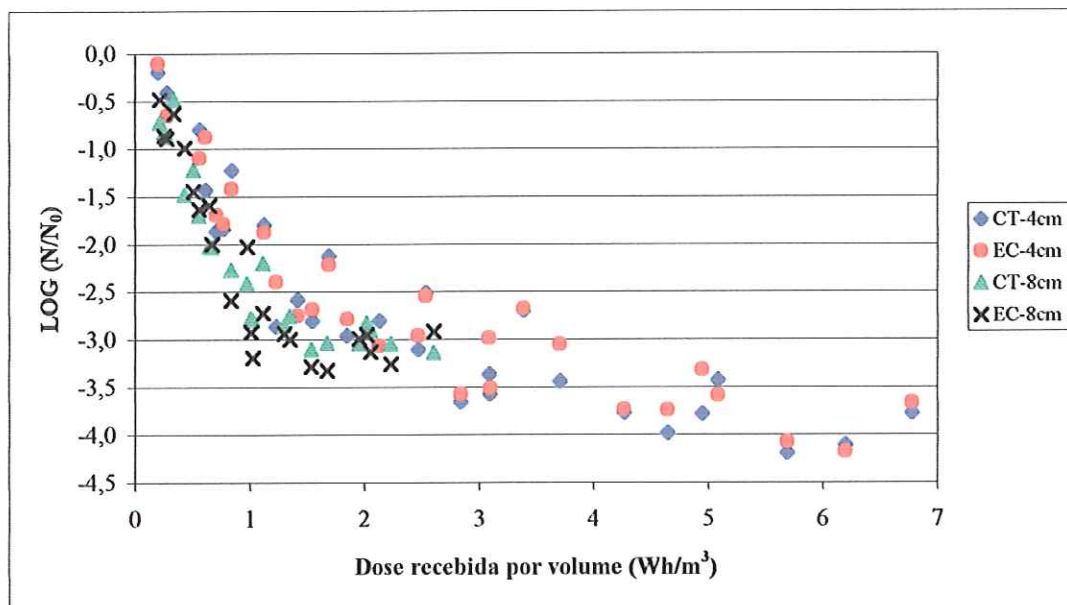
A Figura 5.14 mostra a influência da espessura da lâmina líquida na inativação de coliformes totais e *E. coli* obtida para os ensaios de desinfecção realizados com efluentes da ETE de Araraquara com lâmina líquida de 4 cm (ensaios 2 a 5) e 8 cm (ensaios 6 a 9).

Pode ser observado na Figura 5.14 que o aumento da espessura da lâmina líquida resultou na redução das doses recebidas por volume pelos microrganismos, ocasionando assim redução na eficiência de inativação destes, uma vez que as doses aplicadas por volume estiveram praticamente no mesmo intervalo (ver Figuras 5.11 e 5.12).

Ainda, analisando-se a Figura 5.14 nota-se que as maiores eficiências foram obtidas nos ensaios realizados com lâmina de 4 cm e doses recebidas próximas de  $6 \text{ Wh/m}^3$ , alcançando-se inativação superior a 4 log para coliformes totais e *E. coli*. Portanto, é mais viável, quando se deseja elevada eficiência de inativação, a utilização de lâminas líquidas menores.

Assim como o aumento da absorvância do efluente, o aumento na espessura da lâmina líquida também proporciona maior custo com energia para se manter

determinada eficiência de inativação, pois se faz necessária à elevação da dose aplicada.



**FIGURA 5.14** - Influência da espessura da lâmina líquida na inativação de coliformes totais e *E. coli* obtida nos ensaios realizados com efluentes da ETE de Araraquara (L = 4 cm - ensaios 2 a 5 e L = 8 cm - ensaios 6 a 9).

Os resultados da inativação de coliformes totais, *E. coli* e *C. perfringens* obtidos para o ensaio 1 realizado com efluente da ETE de Araraquara (exceto *C. perfringens*) estão mostrados na Figura B.17 (Anexo B) e na Figura B.18 (Anexo B) podem ser vistos os resultados para os ensaios II e III realizados com efluentes da ETE de Lins.

Comparando-se a Figura B.17 com a Figura 5.8, que mostram resultados da inativação de microrganismos indicadores em ensaios empregando efluentes da ETE de Araraquara e espessura da lâmina líquida de 4 cm, nota-se o crescimento exponencial da eficiência de inativação até um certo limite, pois mesmo com dose recebida de radiação ultravioleta próxima a  $9 \text{ Wh/m}^3$  se manteve inativação de coliformes totais da ordem de 4 log (Figura B.17), resultado próximo aos obtidos com doses recebidas superiores a  $4 \text{ Wh/m}^3$  nos ensaios 2 a 5 (Figura 5.8).

A manutenção de uma concentração sobrevivente de coliformes totais e de *E.coli* (região da curva em que a eficiência de inativação se mantém praticamente constante com aumento da dose aplicada) observada nas Figuras 5.8, 5.9 e 5.10 e, principalmente de coliformes totais nas Figuras B.17 e B.18, pode ter sido ocasionada pela presença dos sólidos em suspensão que funcionaram como anteparo à radiação incidente, protegendo assim, os microrganismos agregados às partículas ou pela parcela de microrganismos mais resistentes à desinfecção.

Ao analisar a Figura B.18 pode ser observado que o ensaio III apresentou melhor remoção de microrganismos, principalmente coliformes totais, pois o efluente da ETE de Lins utilizado neste ensaio apresentou melhor qualidade do que o do ensaio II. Também se observa que a remoção de *C. perfringens* não sofre aumento significativo com aumento da dose recebida de radiação ultravioleta, mantendo-se a maioria dos resultados próximos de 2,5 log, mostrando assim, que a radiação ultravioleta não é eficiente na inativação deste tipo de microrganismo.

As Figuras B.17 e B.18 também deixam clara a seguinte ordem crescente de resistência a desinfecção com radiação ultravioleta: colifagos < *E. coli* < coliformes totais < *C. perfringens*.

Na Tabela 5.24 estão apresentados os valores do coeficiente de correlação múltipla ou de determinação ( $R^2$ ) e dos coeficientes do modelo de Hom (K, n e M) obtidos para coliformes totais (CT), *E. coli* (EC) e *C. perfringens* (CP) em ensaios de desinfecção em batelada realizados com efluentes das ETEs de Araraquara (ensaio 2 a 5, 6 a 9 e 2 a 9) e de Lins (ensaio IV a VII). O procedimento para determinação dos coeficientes do modelo de Hom está descrito no item 3.1.2.4.7. Os valores dos coeficientes e  $R^2$  foram obtidos por regressão múltipla pelo método dos mínimos quadrados utilizando-se o Programa MICROSOFT EXCEL 2000 para Windows.

As Figuras B.19 a B.22, B.23 a B.26, B.27 a B.34 e B.35 a B.38 do Anexo B mostram os ajustes pelo modelo de Hom dos resultados da inativação de coliformes totais, *E. coli* e *C. perfringens* obtidos para os ensaios 2 a 5, 6 a 9 (exceto *C. perfringens*), 2 a 9 (exceto *C. perfringens*) e IV a VII, respectivamente. Nessas figuras foram plotados os valores obtidos experimentalmente (CT, EC e CP-obtido) e os valores determinados a partir das equações do modelo de Hom apresentadas na Tabela 5.24 (CT, EC e CP-ajustado).

**TABELA 5.24** - Valores dos coeficientes do modelo de Hom obtidos para coliformes totais, *E. coli* e *C. perfringens* em ensaios de desinfecção em batelada realizados com efluentes das ETEs de Araraquara e de Lins.

Ensaio	Microrganismo	Modelo: $\ln\left(\frac{N}{N_0}\right) = -K \cdot I_m^n \cdot t^M$ *			
		K	n	M	R <sup>2</sup>
2 a 5	CT	0,4346	0,1346	0,6951	0,8219
	EC	0,5813	1,1493	0,7044	0,7669
	CP	1,6520	0,7004	0,1612	0,2071
6 a 9	CT	0,4878	0,5412	0,6666	0,8283
	EC	0,2759	-0,0194	0,7359	0,8739
2 a 9	CT	0,5166	0,6752	0,6864	0,8125
	EC	0,4943	0,8564	0,7158	0,7917
IV a VII	CT	0,6743	-0,5151	0,5026	0,8757
	EC	0,8781	0,5088	0,6975	0,8735
	CP	178,0385	9,7762	0,8991	0,6716

\*  $I_m$  em mW/cm<sup>2</sup> e t em segundos.

Observando-se os valores de R<sup>2</sup> da Tabela 5.24 pode-se dizer que os resultados de inativação obtidos para coliformes totais (CT) e *E. coli* (EC) apresentaram ajustes pelo modelo de Hom com valores superiores a 0,81 e 0,76, respectivamente.

Também se nota na Tabela 5.24 que os resultados obtidos nos ensaios IV a VII que foram realizados com efluentes da ETE de Lins tiveram os melhores ajustes pelo modelo de Hom para coliformes totais e *C. perfringens* e que este último microrganismo indicador apresentou os piores ajustes, principalmente com os resultados obtidos nos ensaios 2 a 5.

O modelo de Hom forneceu equação geral empírica para fração sobrevivente dos microrganismos indicadores coliformes totais, *E. coli* e *C. perfringens* incorporando a intensidade média de radiação ultravioleta e o tempo de irradiação. Estes equacionamentos forneceram informações importantes para dimensionamento,

operação e monitoramento de futuras unidades de desinfecção com radiação ultravioleta de esgoto sanitário.

Como a variação da intensidade média de radiação ultravioleta, devido a perda de potência causada pelo uso, para os tempos de irradiação normalmente adotados é praticamente nula não será necessário considerar o seu decaimento, o que não acontece com a concentração dos desinfetantes químicos que apresenta decaimento pela reação química com matéria orgânica e inorgânica ou decomposição natural.

As equações fornecidas pelo modelo de Hom foram obtidas com reator de mistura completa, ou próxima disto, em batelada e em escala de laboratório. Pelo fato de as unidades em escala real apresentarem escoamento em condições que fogem da mistura completa e pistão ideais, inexistente no reator em estudo, o que ocasiona desvios gerando perdas na eficiência de inativação, será necessário aumentar a dose de radiação ultravioleta com aumento da intensidade, do tempo de exposição ou ambos para se atingir a mesma eficiência desta pesquisa.

Os ensaios foram realizados em condições ambientais, sem controle da qualidade dos efluentes das duas ETEs e dos microrganismos indicadores, portanto, com condições semelhantes às encontradas nas instalações reais.

Nas Figuras B.19 a B.34 do Anexo B referentes aos ensaios realizados com efluentes da ETE de Araraquara observa-se que as curvas obtidas pelo modelo de Hom para coliformes totais e *E. coli* estão bem próximas, principalmente nas Figuras B.27 a B.34 em que se consideraram os ensaios 2 a 9 ou alternaram de posição quanto à resistência a desinfecção com radiação ultravioleta, não deixando claro qual destes microrganismos indicadores é mais resistente. Por outro lado, as curvas obtidas para *C. perfringens* que estão apresentadas nas Figuras B.19 a B.22 demonstram sua superioridade de resistência ao desinfetante.

Analisando-se as curvas obtidas pelo modelo de Hom para coliformes totais, *E. coli* e *C. perfringens* nas Figuras B.35 a B.38 do Anexo B referentes aos ensaios realizados com efluentes da ETE de Lins nota-se claramente a seguinte ordem crescente de resistência à desinfecção com radiação ultravioleta: *E. coli*, coliformes totais e *C. perfringens*.

## 5.2 - Ensaio em sistema contínuo

Os ensaios em sistema contínuo foram realizados em uma instalação de desinfecção com radiação ultravioleta de alta intensidade (equipamento comercial - modelo IN-LINE 250 UV da AQUIONICS) instalada na ETE de Lins, a qual recebia vazão proveniente dos efluentes finais dessa ETE suficiente para sua operação.

A Tabela 5.25 apresenta as variáveis  $A_{bruta}$ ,  $DQO_{bruta}$ , ST, SST e pH que foram analisadas durante a caracterização físico-química dos efluentes da ETE de Lins utilizados nos ensaios em sistema contínuo. Na Tabela 5.26 pode ser vista a caracterização microbiológica destes efluentes, em que se examinaram coliformes totais, *E. coli*, colifagos e *C. perfringens*.

**TABELA 5.25 -** Caracterização físico-química dos efluentes da ETE de Lins utilizados nos ensaios de desinfecção em sistema contínuo.

Ensaio	Q (m <sup>3</sup> /h)	$A_{bruta}$	$DQO_{bruta}$ (mg/L)	ST (mg/L)	SST (mg/L)	pH
A	19,8	1,366	261	674	85	8,3
B	21,0	1,190	318	585	113	8,0
C	27,2	0,898	264	510	66	7,5

Os valores dos SST obtidos para o efluente da ETE de Lins utilizado no ensaio contínuo C em membranas com poros de vários diâmetros equivalentes (0,7, 1,0, 1,2, 1,5, 1,6 e 2,7  $\mu\text{m}$ ) (método a - filtração não seqüencial) e com a passagem do mesmo volume de amostra na membrana de 2,7 até a de 0,7  $\mu\text{m}$  (método b - filtração seqüencial) estão relacionados na Tabela 5.27 e plotados na Figura 5.15.

A Figura C.1, a qual foi feita com os dados da Tabela C.1, ambas do Anexo C, mostra o comportamento da absorvância de 200 a 400 nm para amostra bruta do efluente da ETE de Lins utilizado no ensaio contínuo C.

Como descrito para os ensaios em batelada, também nos ensaios em sistema contínuo, para os efluentes desinfetados foram feitos apenas os exames dos

microrganismos indicadores adotados, pois a radiação ultravioleta não altera as variáveis utilizadas na caracterização físico-química dos efluentes.

**TABELA 5.26 -** Caracterização microbiológica dos efluentes da ETE de Lins utilizados nos ensaios de desinfecção em sistema contínuo.

Ensaio	N <sub>0</sub> (NMP/100 mL)			
	Coliformes totais	<i>Escherichia coli</i>	Colifagos *	<i>Clostridium perfringens</i>
A	6,3.10 <sup>6</sup>	8,6.10 <sup>5</sup>	6,6.10 <sup>3</sup>	NR
B	4,2.10 <sup>5</sup>	5,1.10 <sup>4</sup>	8,1.10 <sup>3</sup>	NR
C	9,5.10 <sup>5</sup>	5,1.10 <sup>4</sup>	3,5.10 <sup>3</sup>	1,7.10 <sup>4</sup>

NR: não realizado

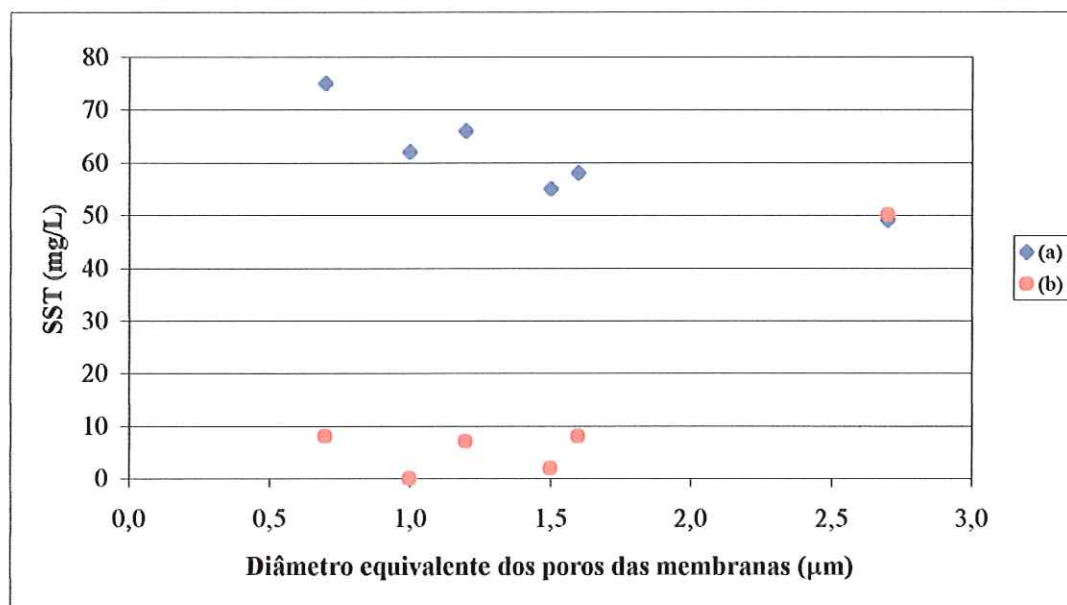
\* UFP/100 mL

**TABELA 5.27 -** SST em membranas com poros de vários diâmetros equivalentes (a) (filtração não seqüencial) e com a passagem do mesmo volume de amostra na membrana com poros de maior diâmetro até a de menor diâmetro (b) (filtração seqüencial), obtidos para o efluente da ETE de Lins utilizado no ensaio contínuo C.

Método	SST (mg/L)					
	2,7 µm	1,6 µm	1,5 µm	1,2 µm	1,0 µm	0,7 µm
a	49	58	55	66	62	75
b	50,0	8,0	2,0	7,0	0	8,0

Como pode ser observado nas Tabelas 5.25, 5.26 e 5.27 e Figura 5.15 e no Anexo C na Tabela C.1 e na Figura C.1, os efluentes da ETE de Lins usados nos ensaios em sistema contínuo, por se tratarem também de efluentes finais e os ensaios serem realizados na mesma época, apresentaram a mesma qualidade dos utilizados nos ensaios em batelada, ou seja, elevada concentração de sólidos em suspensão e matéria orgânica e, conseqüentemente elevada absorvância. Como já foi dito

anteriormente, a elevada concentração de algas foi a principal responsável pela baixa qualidade desses efluentes.



**FIGURA 5.15** - SST em membranas com poros de vários diâmetros equivalentes (a - não sequencial) e com a passagem do mesmo volume de amostra na membrana com poros de maior diâmetro até a de menor diâmetro (b - sequencial), obtidos para o efluente da ETE de Lins utilizado no ensaio contínuo C.

Na Tabela 5.28 estão mostrados os valores da concentração sobrevivente de coliformes totais, *E. coli*, colifagos e *C. perfringens* obtidos nos ensaios de desinfecção em sistema contínuo.

Comparando-se os valores das concentrações sobreviventes dos microrganismos indicadores da Tabela 5.28, referentes aos ensaios em sistema contínuo, com os da Tabela 5.20 que foram obtidos nos ensaios em batelada realizados também com efluentes finais da ETE de Lins, pode-se observar que a utilização dessa instalação de alta intensidade não foi adequada para desinfetar efluentes com estas características.

Os valores estimados das doses aplicadas de radiação ultravioleta na instalação desinfecção de alta intensidade nos ensaios em sistema contínuo estão apresentados na Tabela 5.29.



**TABELA 5.28** - Valores da concentração sobrevivente de coliformes totais, *E. coli*, colifagos e *C. perfringens* obtidos nos ensaios de desinfecção em sistema contínuo.

Ensaio	Posição no painel	N (NMP/100 mL)			
		Coliformes Totais	<i>Escherichia coli</i>	Colifagos*	<i>Clostridium perfringens</i>
A.1	1	$3,2 \cdot 10^5$	$6,5 \cdot 10^4$	$6,0 \cdot 10^2$	NR
A.2	2	$1,5 \cdot 10^5$	$2,9 \cdot 10^4$	$4,7 \cdot 10^2$	NR
A.3	3	$3,7 \cdot 10^5$	$5,0 \cdot 10^4$	$4,0 \cdot 10^2$	NR
B.1	1	$4,9 \cdot 10^4$	$4,9 \cdot 10^3$	$6,8 \cdot 10^2$	NR
B.2	2	$3,6 \cdot 10^4$	$5,8 \cdot 10^3$	$5,8 \cdot 10^2$	NR
B.3	3	$2,1 \cdot 10^4$	$4,0 \cdot 10^3$	90	NR
C.1	1	$2,3 \cdot 10^5$	$2,4 \cdot 10^4$	$3,0 \cdot 10^2$	$7,0 \cdot 10^3$
C.2	1	$2,3 \cdot 10^5$	$2,2 \cdot 10^4$	$3,4 \cdot 10^2$	$8,0 \cdot 10^3$
C.3	2	$2,2 \cdot 10^5$	$1,5 \cdot 10^4$	$2,9 \cdot 10^2$	$8,0 \cdot 10^3$
C.4	2	$1,9 \cdot 10^5$	$1,5 \cdot 10^4$	$3,1 \cdot 10^2$	$1,3 \cdot 10^4$
C.5	3	$2,4 \cdot 10^5$	$7,9 \cdot 10^3$	$1,9 \cdot 10^2$	$7,0 \cdot 10^3$
C.6	3	$1,3 \cdot 10^5$	$1,1 \cdot 10^4$	$1,8 \cdot 10^2$	$5,0 \cdot 10^3$

NR: não realizado

\* UFP/100 mL

**TABELA 5.29** - Valores estimados das doses aplicadas de radiação ultravioleta nos ensaios de desinfecção em sistema contínuo.

Ensaio	Posição no painel	Q (m <sup>3</sup> /h)	t (s)	D <sub>a</sub> * (mWs/cm <sup>2</sup> )
A.1	1	19,8	1,41	205
A.2	2	19,8	1,41	411
A.3	3	19,8	1,41	616
B.1	1	21,0	1,33	194
B.2	2	21,0	1,33	387
B.3	3	21,0	1,33	581
C.1	1	27,2	1,03	150
C.2	1	27,2	1,03	150
C.3	2	27,2	1,03	300
C.4	2	27,2	1,03	300
C.5	3	27,2	1,03	450
C.6	3	27,2	1,03	450

\*  $D_a = I_0 \cdot t$  ( $I_0 = 437 \text{ mW/cm}^2$ , considerando emissão das lâmpadas de 40 % e que apenas 50% desta emissão é de radiação ultravioleta em 254 nm)

Os valores da concentração inicial e sobrevivente, do logaritmo da fração sobrevivente e da porcentagem de eficiência de inativação obtidos para coliformes totais, *E. coli*, colifagos e *C. perfringens* nos ensaios em sistema contínuo estão mostrados nas Tabelas C.2, C.3, C.4 e C.5 (ensaio C) do Anexo C, respectivamente.

A instalação em sistema contínuo, mesmo operando com doses aplicadas de radiação ultravioleta superiores (Tabelas C.2 a C.5 do Anexo C) às da instalação em batelada (Tabelas B.9 a B.11 do Anexo B – ensaios IV, V, VI e VII), não forneceu eficiência igual ou superior. Isto pode ter ocorrido pelo fato do reduzido tempo de contato no interior da instalação não ter sido suficiente para inativação dos microrganismos em decorrência da baixa qualidade apresentada pelos efluentes da ETE de Lins.

## 6 – CONCLUSÕES

Tendo como base os estudos realizados, as características físico-químicas dos efluentes das duas ETEs e os resultados obtidos nesta pesquisa sobre o emprego de radiação ultravioleta, pode-se concluir que:

- Os valores da intensidade média de radiação ultravioleta incidente na superfície irradiada no interior da câmara de desinfecção obtidos pelo modelo ajustado às medições realizadas com radiômetro (radiometria) e por actinometria foram próximos, confirmando a validade dos dois métodos;
- a lâmpada de baixa pressão de vapor de mercúrio funcionou pelo mesmo período estipulado pelo fabricante, que é de aproximadamente 4500 horas;
- a emissão de radiação ultravioleta em 254 nm representou pequena parcela da potência nominal da lâmpada, sendo de 31,4 % no início e de 11,2 % no final da vida útil;
- a potência radiante da lâmpada em 254 nm apresentou uma queda mais significativa nas primeiras horas de funcionamento e menos acentuada no restante da vida útil;
- a redução na emissão de radiação ultravioleta durante a vida útil da lâmpada representa uma diminuição no poder de inativação dos microrganismos e, dependendo da eficiência desejada, se faz necessária a troca da lâmpada antes do final da vida útil;

- a determinação dos SST utilizando-se membranas com poros de diâmetros equivalentes de 1,2  $\mu\text{m}$ , convencionalmente adotada para águas residuárias, forneceu uma boa representação dos sólidos em suspensão para desinfecção com radiação ultravioleta;
- os microrganismos indicadores apresentaram a seguinte ordem decrescente de resistência à desinfecção com radiação ultravioleta: *C. perfringens*, coliformes totais, *E. coli* e colifagos;
- o aumento da absorvância dos efluentes das duas ETEs, como também o aumento da espessura da lâmina líquida reduziram a dose recebida por volume pelos microrganismos, resultando assim em maior consumo de energia, pois é necessário aumentar a dose aplicada por volume para manter a mesma eficiência de inativação;
- a desinfecção com radiação ultravioleta somente foi viável para efluentes da ETE de Araraquara que apresentaram baixa absorvância ( $A_{\text{bruta}} < 0,67$ ), isto é, baixa concentração de sólidos em suspensão ( $\text{SST} < 50 \text{ mg/L}$ ) e matéria orgânica ( $\text{DQO}_{\text{bruta}} < 131 \text{ mg/L}$ ), pois se obteve resultados satisfatórios sem elevar o consumo de energia ou reduzir a espessura da lâmina líquida para valores inferiores a 4 cm (os valores recomendados, segundo Germetec, para  $A_{\text{bruta}}$ , SST e  $\text{DQO}_{\text{bruta}}$  são inferiores a 0,26, 30 mg/L e 30 mg/L, respectivamente);
- ao se comparar os resultados obtidos com os efluentes da ETE de Araraquara com lâmina de 4 cm com os de 8 cm, quando se deseja elevada percentagem de eficiência de inativação é aconselhável a utilização de lâminas menores;
- a manutenção de uma concentração sobrevivente de *E. coli* e, principalmente de coliformes totais, pode ser resultante da proteção pelos sólidos em suspensão ou de microrganismos mais resistentes à desinfecção;
- os resultados de inativação obtidos para coliformes totais e *E. coli* apresentaram

ajustes pelo modelo de Hom com valores de  $R^2$  superiores a 0,81 e 0,76, respectivamente, e os obtidos para *C. perfringens* ajustes com  $R^2$  variando de 0,21 a 0,67;

- as equações fornecidas pelo modelo de Hom para a fração sobrevivente de coliformes totais, *E. coli* e *C. perfringens*, que incorporam a intensidade média e o tempo de irradiação, forneceram informações para dimensionamento, operação e monitoramento de futuras unidades de desinfecção com radiação ultravioleta de esgoto sanitário;
- as unidades em escala real apresentam escoamento em condições que fogem da mistura completa e pistão ideais, o que proporcionará desvios gerando perdas na eficiência de inativação, portanto, será necessário aumentar a dose aplicada com aumento da intensidade, do tempo de exposição ou ambos para se conseguir a mesma eficiência desta pesquisa (reator de mistura completa, ou próxima disto, em batelada e em escala de laboratório);
- pelos resultados de inativação dos microrganismos indicadores obtidos nos ensaios em sistema contínuo na instalação de desinfecção com radiação ultravioleta de alta intensidade comprova-se que sua utilização foi inadequada para os efluentes da ETE de Lins, que apresentaram elevadas concentrações de sólidos em suspensão e de matéria orgânica e, conseqüentemente, elevadas absorvâncias.

## 7 – RECOMENDAÇÕES

Visando-se futuras pesquisas sobre desinfecção de efluentes secundários ou terciários de esgoto sanitário empregando radiação ultravioleta, recomenda-se:

- Monitorar, por actinometria, a potência radiante da lâmpada de baixa pressão de vapor de mercúrio durante a vida útil em uma unidade construída com material resistente à radiação ultravioleta (para evitar a decomposição), distância mínima entre a parede externa do invólucro do tubo de quartzo da lâmpada e a parede interna do tubo de 10 mm, ventilação para evitar superaquecimento da lâmpada, proteção dos terminais da lâmpada e controle externo de temperatura e de tensão elétrica;
- determinar a potência radiante da lâmpada de baixa pressão de vapor de mercúrio por modelos matemáticos e compará-los aos obtidos por actinometria;
- analisar a influência do espaçamento entre lâmpadas na intensidade média de radiação ultravioleta incidente na superfície irradiada;
- realizar ensaios de desinfecção com efluentes filtrados, para verificar se as frações residuais de microrganismos indicadores sobreviventes que foram observadas nesta pesquisa estão realmente relacionadas aos sólidos suspensos;
- utilizar uma cepa de colifagos mais resistentes à radiação ultravioleta do que a adotada nesta pesquisa;

- estudar novos microrganismos indicadores como helmintos, giardia e *Cryptosporidium parvum*;
- pesquisar se ocorre formação de subprodutos na desinfecção com radiação ultravioleta em unidade de alta intensidade;
- estudar a fotorreativação dos indicadores colifagos e *Clostridium perfringens*;
- investigar o potencial de mutagenicidade da radiação ultravioleta.

## 8 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIETA, E. M.; BERG, J. D. (1986). A review of chlorine dioxide in drinking water treatment. *Research & Technology - Journal AWWA*, junho, p. 62-72.

APHA; AWWA; WPCF (1995). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 19. ed. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation, Washington, D. C.

AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (1990). *Water quality and treatment - A handbook of community water supplies*. 4 ed., New York, McGRAWHILL, INC. Cap. 14, p. 877-932: Disinfection.

BASTOS, R. K. X. (1993). Avaliação da qualidade microbiológicas das águas residuárias com vistas a sua utilização na agricultura - Organismos indicadores de contaminação. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE DESINFECÇÃO DE ÁGUAS DE ABASTECIMENTO E RESIDUÁRIAS EM PAÍSES EM DESENVOLVIMENTO, 1, Belo Horizonte, 1993. *Anais*. Minas Gerais, ABES, p. 173-183.

BATTIGELLI, D. A.; SOBSEY, M. D.; LOBE, D. C. (1993). The inactivation of hepatitis A virus and other model viruses by UV irradiation. *Water Science and Technology*, v. 27, n. 3-4, p. 339-342.

BILOTTA, P. (2000). *Estudo comparativo da ação do ozônio e radiação ultravioleta*



*na desinfecção de esgoto sanitário*. São Carlos - SP, 130 p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

BLATCHLEY, E. R. et al. (1996). Ultraviolet irradiation and chlorination / dechlorination for municipal wastewater disinfection: Assessment of performance limitations. *Water Environment Research*, v. 68, n. 2, p. 194-204.

BLATCHLEY III, E. R. et al. (1997). Effects of disinfectants on wastewater effluent toxicity. *Water Research*, v. 31, n. 7, p. 1581-1588.

BRANCO, S. M. (1986). *Hidrobiologia aplicada à engenharia sanitária*. São Paulo, CETESB, 3 ed., 616 p.

BRAUN, A. M.; MAURETTE, M. T.; OLIVEROS (1986). Radiométrie et actinométrie. *Technologie Photochimique*. Lausanne, Suíça, Presses Polytechniques Romandes, 542 p.

BRAUNSTEIN, J. L. et al. (1996). Ultraviolet disinfection of filtered activated sludge effluent for reuse applications. *Water Environment Research*, v. 68, n. 2, p. 152-161.

BULL, R. J. (1980). Health effects of alternative disinfectants and their reaction products. *JAWWA*, v. 75, n. 5, p. 299-303.

BURKHARDT III, W. et al. (2000). Inactivation of indicator microorganisms in estuarine waters. *Water Research*, v. 34, n. 8, p. 2207-2214.

CAMPOS, J. R. (1993). Uma abordagem sobre a desinfecção de esgotos no Brasil. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE DESINFECÇÃO DE ÁGUAS DE ABASTECIMENTO E RESIDUÁRIAS EM PAÍSES EM DESENVOLVIMENTO, 1, Belo Horizonte, 1993. *Anais*. Minas Gerais, ABES,

p. 137-167.

CAMPOS, J. R.; PIZZIRANI, J. A. (1977). *Desinfecção com radiação ultravioleta*. 9º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária, Belo Horizonte, 19 p.

CARNIMEO, D. et al. (1994). Wastewater disinfection by UV at Trani municipal plant. *Water Science and Technology*, v. 30, n. 4, p. 125-132.

CETESB (1993). *Clostridium perfringens: Determinação em amostras de água pela técnica dos tubos múltiplos*. 27 p. (Método de ensaio L5.213).

CETESB (1994). *Água, saúde e desinfecção*. São Paulo, CETESB, Série Manuais 13, 59 p.

CHEREMISINOFF, P. N. (1995). *Handbook of water and wastewater treatment technology*. New York, MARCEL DEKKER, INC. Cap. 12, p. 449-480: Disinfection.

CONDIE, L. W. (1986). Toxicological problems associated with chlorine dioxide. *Journal American Water Works Association*, v. 58, n. 6, p. 73-78, junho.

DANIEL, L. A. (1989). *Desinfecção de efluentes de esgoto sanitário pré-decantado empregando radiação ultravioleta*. São Carlos - SP, 124p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

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

DANIEL, L. A.; CAMPOS, J. R. (1993). Metodologia simplificada para determinação de parâmetros cinéticos de desinfecção com radiação ultravioleta.

- In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL - DESINFECÇÃO DE ÁGUAS DE ABASTECIMENTO E RESIDUÁRIAS EM PAÍSES EM DESENVOLVIMENTO, 1, Belo Horizonte, 1993. *Anais*. Minas Gerais, ABES, p.232-245.
- DANIEL, L. A. (1993). *Desinfecção de esgotos com radiação ultravioleta: Fotoreativação e obtenção dos parâmetros cinéticos*. São Carlos - SP, 184p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- DANIEL, L. A. (2001). *Processos de desinfecção e desinfetantes alternativos na produção de água potável*. Rio de Janeiro, ABES, PROSAB 2, 115 p.
- DI BERNARDO, L. (1993). *Métodos e técnicas de tratamento de água*. Rio de Janeiro, ABES. v. 2, Cap. 15, p. 402-498.
- DIAS, V. D. (2001). *Radiação ultravioleta e ozônio aplicados como métodos alternativos de desinfecção de efluentes secundários de esgoto sanitário*. São Carlos - SP, 150 p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- DIZER, H. et al. (1993). Use of ultraviolet radiation for inactivation of bacteria and coliphages in pretreated wastewater. *Water Research*, v. 27, n. 3, p. 397-403.
- EMERICK, R. W. et al. (1999). Factors influencing ultraviolet disinfection performance part II: Association of coliform bacteria with wastewater particles. *Water Environment Research*, v. 71, n. 6, p. 1178-1187, setembro/outubro.
- FEACHEM, R. G. et al. (1983). *Sanitation and disease - Health aspects of excreta and wastewater management*. Washington, D. C., John Wiley & Sons, 501 p.

GALAL-GORCHEV, H. (1994a). Disinfection of drinking water and by-products of health concern. In: WATER QUALITY IN LATIN AMERICA: BALANCING THE MICROBIAL AND CHEMICAL RISKS IN DRINKING WATER DISINFECTION, ILSI Argentina - Pan American Health Organization / World Health Organization, 1994. *Anais*. Washington, D. C., ILSI PRESS, Edição de CRAUN, G. F., p. 80-103.

GALAL-GORCHEV, H. (1994b). WHO Guidelines for drinking water quality and health risk assessment of disinfectants and disinfection by-products. In: WATER QUALITY IN LATIN AMERICA: BALANCING THE MICROBIAL AND CHEMICAL RISKS IN DRINKING WATER DISINFECTION, ILSI Argentina - Pan American Health Organization / World Health Organization, 1994. *Anais*. Washington, D. C., ILSI PRESS, Edição de CRAUN, G. F., p. 123-138.

GIESE, N.; DARBY, J. (2000). Sensitivity of microorganisms to different wavelengths of UV light: implications on modeling of medium pressure uv systems. *Water Research*, v. 34, n. 16, p. 4007-4013.

GRABOW, W. O. K. (1993). Pathogenic organisms and indicators of faecal pollution. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL - DESINFECÇÃO DE ÁGUAS DE ABASTECIMENTO E RESIDUÁRIAS EM PAÍSES EM DESENVOLVIMENTO, 1, Belo Horizonte, 1993. *Anais*. Minas Gerais, ABES, p. 17-31.

HARM, W. (1980). *Biological effects of ultraviolet radiation*. Nova York, Cambridge University Press, 216p.

HATCHARD, C. G.; PARKER, C. A. (1956). A new sensitive chemical actinometer. II. Potassium ferrioxalate as a standard chemical actinometer. *Proceedings of the Royal Society of London, Series A*, v. 235, p. 518-536.

- HO, T.-F. L.; BOLTON, J. R. (1998). Toxicity changes during the UV treatment of pentachlorophenol in dilute aqueous solution. *Water Research*, v. 32, n. 2, p. 489-497.
- HUNTER, G. L. et al. (1998). Medium-pressure ultraviolet lamps and other systems are considered for wastewater application. *Water Environment & Technology*, v. 10, n. 6, p. 41-44, junho.
- ICB (Instituto de Ciências Biológicas) (s.d.). Método de detecção de colifagos. *Mimeografado*.
- JOHNSON, J. D.; JENSEN, J. N. (1986). THM and TOX formation: Routes, rates, and precursors. *Research and Technology - Journal AWWA*, abril, p. 156-162.
- JOLLEY et al. (1990). *Water chlorination. Chemistry, environmental impact and health effects*. Lewis Publishers, Vol. 6.
- KILLOPS, S. D. (1986). Volatile ozonization products of aqueous humic material. *Water Research*, v. 20, n. 2, p. 153-165.
- KOLLER, L. R. (1952). *Ultraviolet radiation*. Londres, John Wiley & Sons, 270p.
- KUO, J. F. et al. (1997). Evaluation of tertiary filtration and disinfection system for upgrading high-purity oxygen-activated sludge plant effluent. *Water Environment Research*, v. 69, n. 1, p. 34-43.
- LANGLAIS, B.; RECKHOW, D. A.; BRINK, D. R. (1991). *Ozone in water treatment*. Lewis Publishers. Cap. 3, p. 218-262: Practical application of ozone.
- LAZAROVA, V. et al. (1998). Advanced wastewater disinfection technologies: Short and long term efficiency. *Water Science and Technology*, v.38, n. 12, p. 109-117.

- LOGE, F. J. et al. (1999). Factors influencing ultraviolet disinfection performance part I: Light penetration to wastewater particles. *Water Environment Research*, v. 71, n. 3, p. 377-381, maio/junho.
- LONGLEY, K. E. (1993). Disinfection of wastewater. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL - DESINFECÇÃO DE ÁGUAS DE ABASTECIMENTO E RESIDUÁRIAS EM PAÍSES EM DESENVOLVIMENTO, 1, Belo Horizonte, 1993. *Anais*. Minas Gerais, ABES, p. 121-134.
- MALLEVIALLE, J. (1993). Alternative disinfection techniques for a better control of the disinfection by-products. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL - DESINFECÇÃO DE ÁGUAS DE ABASTECIMENTO E RESIDUÁRIAS EM PAÍSES EM DESENVOLVIMENTO, 1, Belo Horizonte, 1993. *Anais*. Minas Gerais, ABES, p. 99-115.
- MASSCHELEIN, W. J. (1975). Ozone in water treatment. Conferência apresentada no seminário ECOCHEM, Bruxelas
- 
- MEDEMA, G. J.; BAHAR, M.; SCHETS, F. M. (1997). Survival of *Cryptosporidium parvum*, *Escherichia coli*, faecal enterococci and *Clostridium perfringens* in river water: influence of temperature and autochthonous microorganisms. *Water Science and Technology*, v. 35, n. 11-12, p. 249-252
- METCALF & EDDY (1991). *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse*. Nova York, McGraw-Hill. 3 ed., 1334 p.
- MONARCA, S. et al. (2000). The influence of different disinfectants on mutagenicity and toxicity of urban wastewater. *Water Research*, v. 34, n. 17, p. 4261-4269.
- OLIVER, B. G.; COSGROVE, E. G. (1975). The disinfection of sewage treatment plant effluents using ultraviolet light. *Canadian Journal of Chemical Engineering*,

v. 53, n. 4, p. 170-174, abril.

OLIVIERI, R. F.; RIBEIRO (1993). Ozônio na desinfecção em sistemas de tratamento de água. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL - DESINFECÇÃO DE ÁGUAS DE ABASTECIMENTO E RESIDUÁRIAS EM PAÍSES EM DESENVOLVIMENTO, 1, Belo Horizonte, 1993. *Anais*. Minas Gerais, ABES, p.265-273.

OPPENHEIMER, J. A. et al. (1997). Testing the equivalency of ultraviolet light and chlorine for disinfection of wastewater to reclamation standards. *Water Environment Research*, v. 69, n. 1, p. 14-24.

PAYMENT, P. (1991). Elimination of coliphages, *Clostridium perfringens* and human enteric viruses during drinking water treatment: results of large volume samplings. *Water Science Technology*, v. 24, n. 2, p. 213-215.

RAJALA-MUSTONEN, R.; HEINONEN-TANSKI, H. (1995). Effect of advanced oxidation processes on inactivation of coliphages. *Water Science and Technology*, v. 31, n. 5-6, p. 131-134.

PHILLIPS, R. (1983). *Source and applications of ultraviolet irradiation*. Londres, Academic Press, 434 p.

RICE, R. G. et al. (1981). Uses of ozone in drinking water treatment. *Journal American Water Works Association*, v. 72, n. 1, p. 44-57.

RIPPEY, S. R.; WATKINS, W. D. (1992). Comparative rates of disinfection of microbial indicator organisms in chlorinated sewage effluents. *Water Science and Technology*, v. 26, n. 9-11, p. 2185-2189.

SAMPAIO, A. de O. (1985). *Desinfecção de esgotos sanitários com radiação*

*ultravioleta*. São Carlos - SP, 96p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

SANT'ANA, T. D. C. (2001). *Desinfecção por radiação ultravioleta em efluentes de ETE associando reatores UASB e biofiltros aerados submersos*. Vitória - ES, 159p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Espírito Santo.

SCHIRCH, F. T.; RODRIGUES, L. M. (1993). Desinfecção de esgotos para disposição no mar. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL - DESINFECÇÃO DE ÁGUAS DE ABASTECIMENTO E RESIDUÁRIAS EM PAÍSES EM DESENVOLVIMENTO, 1, Belo Horizonte, 1993. *Anais*. Minas Gerais, ABES, p.313-322.

SHABAN, A. M.; EL-TAWEEL, G. E.; ALI, G. H. (1997). UV ability to inactivate microorganisms combined with factors affecting radiation. *Water Science and Technology*, v. 35, n. 11-12, p. 107-112.

SILVA, P. E. M.; HIGASHIAMA, H.; OLIVEIRA, M. C. Q. M. (1993). A importância da desinfecção no plano de monitoramento bacteriológico de mananciais. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL - DESINFECÇÃO DE ÁGUAS DE ABASTECIMENTO E RESIDUÁRIAS EM PAÍSES EM DESENVOLVIMENTO, 1, Belo Horizonte, 1993. *Anais*. Minas Gerais, ABES, p.187-202.

SMITH, R. P.; WILLHITE, C. C. (1990). Chlorine dioxide and hemodialysis. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, n. 11, p. 42-62.

SOMMER, R. et al. (1998). Time dose reciprocity in UV disinfection of water. *Water Science and Technology*, v. 38, n. 12, p. 145-150.

SOUZA, J. B. (2000). *Desinfecção de águas com cor e turbidez elevadas:*



*comparação técnica de processo alternativos ao cloro empregando radiação ultravioleta e ácido peracético.* São Carlos - SP, 130 p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

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<sup>+</sup> bacteriophage as a "viral indicator". *Water Science and Technology*, v. 35, n. 11-12, p. 227-232.

USEPA (United States Environmental Protection Agency) (1999a). Alternative desinfectantes and oxidants. Guidance Manual, EPA 815-R-99-014, abril.

USEPA (United States Environmental Protection Agency) (1999b). Ultraviolet disinfection - Wastewater technology fact sheet. Washington, D. C., EPA 832-F-99-064, setembro.

VIGNESWARAN, S.; VISVANATHAN, C. (1995). *Water treatment processes - Simple Options*. Flórida, CRC Press. Cap. 8, p. 191-208: Disinfection.

WIEDENMANN, A. et al. (1993). Disinfection of hepatitis A virus and MS-2 coliphage in water by ultraviolet irradiation: comparison of UV - susceptibility. *Water Science and Technology*, v. 27, n. 3-4, p. 335-338.

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

WITT, V. M.; REIFF, F. M. (1994). Water disinfection technologies for small communities and rural areas. In: WATER QUALITY IN LATIN AMERICA: BALANCING THE MICROBIAL AND CHEMICAL RISKS IN DRINKING WATER DISINFECTION, ILSI Argentina - Pan American Health Organization /

World Health Organization, 1994. *Anais*. Washington, D. C., ILSI PRESS, Edição de CRAUN, G. F., p. 139-168.

WRIGHT, H. B. (2000). Comparison and validation of UV dose calculations for low- and medium- pressure mercury arc lamps. *Water Environment Research*, v. 72, n. 4, p. 439-443, julho/agosto.

## **ANEXO A**

### ***INTENSIDADE MÉDIA DE RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA***

---

**TABELA A.1** - Intensidades pontuais de radiação ultravioleta obtidas nos 25 pontos do reator I com radiômetro para a lâmpada 1 ligada.

	<b>ENSAIO 1</b>		<b>ENSAIO 2</b>		<b>ENSAIO 3</b>		
	$T_{\text{ambiente}} = 26,5^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{ambiente}} = 25,5^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{ambiente}} = 26,0^{\circ}\text{C}$		
	$T_{\text{lâmpada}} = 44,0^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{lâmpada}} = 43,0^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{lâmpada}} = 44,0^{\circ}\text{C}$		
<b>Pontos</b>	$I_p(\text{mW}/\text{cm}^2)$	$T_{\text{sup}}(^{\circ}\text{C})$	$I_p(\text{mW}/\text{cm}^2)$	$T_{\text{sup}}(^{\circ}\text{C})$	$I_p(\text{mW}/\text{cm}^2)$	$T_{\text{sup}}(^{\circ}\text{C})$	$I_{\text{pm}}(\text{mW}/\text{cm}^2)$
<b>A1</b>	1,59	29,0	1,55	28,0	1,58	29,5	1,57
<b>B1</b>	1,43	29,0	1,46	28,0	1,40	29,5	1,43
<b>C1</b>	0,89	28,5	0,88	28,0	0,86	30,0	0,88
<b>D1</b>	0,46	28,5	0,42	28,0	0,45	29,5	0,44
<b>E1</b>	0,27	28,5	0,27	28,0	0,28	30,0	0,27
<b>A2</b>	2,42	29,5	2,42	29,5	2,34	29,5	2,39
<b>B2</b>	2,01	29,5	2,02	30,0	2,00	29,5	2,01
<b>C2</b>	1,12	29,0	1,12	29,0	1,13	29,0	1,12
<b>D2</b>	0,54	29,0	0,55	29,5	0,53	29,5	0,54
<b>E2</b>	0,32	29,0	0,32	29,0	0,31	29,0	0,32
<b>A3</b>	2,55	30,0	2,53	30,5	2,51	28,5	2,53
<b>B3</b>	2,13	30,0	2,18	30,0	2,10	27,5	2,14
<b>C3</b>	1,13	29,0	1,21	29,5	1,17	27,5	1,17
<b>D3</b>	0,55	29,0	0,57	30,0	0,55	28,0	0,56
<b>E3</b>	0,32	29,0	0,33	30,0	0,30	28,0	0,32
<b>A4</b>	2,28	29,0	2,25	30,5	2,25	28,5	2,26
<b>B4</b>	1,94	29,5	1,90	29,5	1,91	29,0	1,92
<b>C4</b>	1,04	29,0	1,00	29,0	1,05	28,5	1,03
<b>D4</b>	0,51	29,0	0,50	29,0	0,50	28,5	0,50
<b>E4</b>	0,29	29,0	0,29	29,0	0,28	29,0	0,29
<b>A5</b>	1,45	27,5	1,46	29,5	1,46	29,0	1,46
<b>B5</b>	1,35	27,5	1,32	29,5	1,34	29,0	1,34
<b>C5</b>	0,75	28,0	0,72	29,0	0,73	29,0	0,73
<b>D5</b>	0,38	28,0	0,37	29,0	0,38	28,5	0,38
<b>E5</b>	0,22	28,5	0,26	29,0	0,24	29,0	0,24

**TABELA A.2** - Intensidades pontuais de radiação ultravioleta obtidas nos 25 pontos do reator I com radiômetro para a lâmpada 2 ligada.

	<b>ENSAIO 1</b>		<b>ENSAIO 2</b>		<b>ENSAIO 3</b>		
	$T_{\text{ambiente}} = 27,0^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{ambiente}} = 27,0^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{ambiente}} = 26,0^{\circ}\text{C}$		
	$T_{\text{lâmpada}} = 43,0^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{lâmpada}} = 44,0^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{lâmpada}} = 43,5^{\circ}\text{C}$		
<b>Pontos</b>	$I_p(\text{mW/cm}^2)$	$T_{\text{sup}}(^{\circ}\text{C})$	$I_p(\text{mW/cm}^2)$	$T_{\text{sup}}(^{\circ}\text{C})$	$I_p(\text{mW/cm}^2)$	$T_{\text{sup}}(^{\circ}\text{C})$	$I_{\text{pm}}(\text{mW/cm}^2)$
<b>A1</b>	1,23	31,0	1,22	28,5	1,25	30,0	1,23
<b>B1</b>	1,31	31,0	1,29	28,5	1,29	29,5	1,30
<b>C1</b>	1,07	30,5	1,11	28,5	1,05	30,0	1,08
<b>D1</b>	0,63	30,5	0,62	29,0	0,64	30,0	0,63
<b>E1</b>	0,37	30,5	0,33	29,5	0,36	29,5	0,35
<b>A2</b>	1,83	30,5	1,94	30,5	1,89	29,5	1,89
<b>B2</b>	2,02	30,5	2,00	30,5	2,01	30,0	2,01
<b>C2</b>	1,55	30,0	1,56	30,0	1,54	30,0	1,55
<b>D2</b>	0,89	30,0	0,91	30,0	0,86	30,0	0,89
<b>E2</b>	0,44	30,0	0,44	30,0	0,44	30,0	0,44
<b>A3</b>	2,13	31,0	2,11	31,0	2,00	29,5	2,08
<b>B3</b>	2,20	31,0	2,21	31,0	2,17	29,0	2,19
<b>C3</b>	1,64	30,5	1,70	31,0	1,66	28,0	1,67
<b>D3</b>	0,89	31,0	0,96	31,0	0,93	29,0	0,93
<b>E3</b>	0,48	31,0	0,50	30,5	0,47	29,0	0,48
<b>A4</b>	1,96	29,5	1,99	31,0	1,89	30,5	1,95
<b>B4</b>	2,05	29,5	2,06	31,0	2,00	30,5	2,04
<b>C4</b>	1,54	29,5	1,53	30,0	1,51	30,0	1,53
<b>D4</b>	0,84	30,0	0,86	30,5	0,86	31,0	0,85
<b>E4</b>	0,41	30,0	0,42	30,5	0,42	30,0	0,42
<b>A5</b>	1,30	28,0	1,35	30,0	1,32	30,0	1,32
<b>B5</b>	1,37	28,5	1,36	30,0	1,35	30,0	1,36
<b>C5</b>	1,09	28,5	1,06	30,0	1,07	30,0	1,07
<b>D5</b>	0,64	28,5	0,61	30,0	0,61	30,5	0,62
<b>E5</b>	0,33	28,5	0,36	30,0	0,35	30,0	0,35

**TABELA A.3** - Intensidades pontuais de radiação ultravioleta obtidas nos 25 pontos do reator I com radiômetro para a lâmpada 3 ligada.

	<b>ENSAIO 1</b>		<b>ENSAIO 2</b>		<b>ENSAIO 3</b>		
	$T_{\text{ambiente}} = 26,5^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{ambiente}} = 28,0^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{ambiente}} = 28,5^{\circ}\text{C}$		
	$T_{\text{lâmpada}} = 42,0^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{lâmpada}} = 43,0^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{lâmpada}} = 44,0^{\circ}\text{C}$		
<b>Pontos</b>	$I_p(\text{mW}/\text{cm}^2)$	$T_{\text{sup}}(^{\circ}\text{C})$	$I_p(\text{mW}/\text{cm}^2)$	$T_{\text{sup}}(^{\circ}\text{C})$	$I_p(\text{mW}/\text{cm}^2)$	$T_{\text{sup}}(^{\circ}\text{C})$	$I_{\text{pm}}(\text{mW}/\text{cm}^2)$
<b>A1</b>	0,86	28,5	0,89	30,0	0,83	31,5	0,86
<b>B1</b>	1,11	28,5	1,11	29,5	1,07	31,5	1,10
<b>C1</b>	1,16	28,5	1,14	30,0	1,13	31,5	1,14
<b>D1</b>	0,95	29,0	0,92	30,5	0,90	31,5	0,92
<b>E1</b>	0,60	29,0	0,58	30,5	0,55	31,0	0,58
<b>A2</b>	1,27	29,0	1,31	30,0	1,25	31,0	1,28
<b>B2</b>	1,70	29,0	1,72	30,0	1,67	31,0	1,70
<b>C2</b>	1,79	29,0	1,79	30,0	1,74	31,0	1,77
<b>D2</b>	1,35	29,0	1,34	30,0	1,31	31,0	1,33
<b>E2</b>	0,79	29,0	0,76	30,0	0,74	31,5	0,76
<b>A3</b>	1,39	29,0	1,41	30,0	1,36	31,0	1,39
<b>B3</b>	1,88	29,5	1,89	30,5	1,87	30,0	1,88
<b>C3</b>	1,95	29,5	1,92	30,5	1,94	29,0	1,93
<b>D3</b>	1,51	29,5	1,40	30,5	1,46	29,5	1,46
<b>E3</b>	0,84	29,5	0,80	30,5	0,81	30,0	0,82
<b>A4</b>	1,33	29,0	1,31	28,5	1,24	31,0	1,29
<b>B4</b>	1,74	29,0	1,74	28,5	1,70	31,0	1,73
<b>C4</b>	1,78	29,0	1,76	29,5	1,74	31,0	1,77
<b>D4</b>	1,29	29,5	1,30	30,0	1,28	31,0	1,29
<b>E4</b>	0,74	29,5	0,74	30,0	0,76	31,0	0,75
<b>A5</b>	0,96	29,0	0,98	27,5	0,90	31,0	0,95
<b>B5</b>	1,15	29,0	1,15	28,0	1,13	31,0	1,14
<b>C5</b>	1,18	29,5	1,17	28,5	1,13	30,5	1,16
<b>D5</b>	0,93	29,5	0,90	28,5	0,89	31,0	0,91
<b>E5</b>	0,58	29,5	0,56	29,0	0,61	30,5	0,58

**TABELA A.4** - Intensidades pontuais de radiação ultravioleta obtidas nos 25 pontos do reator I com radiômetro para as lâmpadas 1 e 2 ligadas.

	<b>ENSAIO 1</b>		<b>ENSAIO 2</b>		<b>ENSAIO 3</b>		
	$T_{\text{ambiente}} = 26,0^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{ambiente}} = 27,0^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{ambiente}} = 24,0^{\circ}\text{C}$		
	$T_{\text{lâmpada}} = 52,0^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{lâmpada}} = 52,5^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{lâmpada}} = 50,0^{\circ}\text{C}$		
<b>Pontos</b>	$I_p(\text{mW}/\text{cm}^2)$	$T_{\text{sup}}(^{\circ}\text{C})$	$I_p(\text{mW}/\text{cm}^2)$	$T_{\text{sup}}(^{\circ}\text{C})$	$I_p(\text{mW}/\text{cm}^2)$	$T_{\text{sup}}(^{\circ}\text{C})$	$I_{\text{pm}}(\text{mW}/\text{cm}^2)$
<b>A1</b>	2,49	33,0	2,52	33,5	2,50	32,0	2,50
<b>B1</b>	2,45	32,5	2,39	32,0	2,41	31,0	2,42
<b>C1</b>	1,72	32,0	1,68	32,5	1,73	31,0	1,71
<b>D1</b>	1,00	32,0	0,89	32,0	0,91	31,5	0,93
<b>E1</b>	0,51	32,0	0,50	31,0	0,54	31,0	0,52
<b>A2</b>	3,92	33,0	3,85	35,0	3,87	32,0	3,88
<b>B2</b>	3,63	32,5	3,60	34,0	3,65	31,5	3,63
<b>C2</b>	2,37	33,0	2,33	33,0	2,40	31,5	2,37
<b>D2</b>	1,28	32,0	1,25	32,5	1,25	31,0	1,26
<b>E2</b>	0,63	32,0	0,64	32,5	0,67	31,0	0,65
<b>A3</b>	4,24	33,5	4,16	35,0	4,17	31,5	4,19
<b>B3</b>	3,97	33,5	3,96	34,0	3,96	31,5	3,96
<b>C3</b>	2,57	33,0	2,55	34,0	2,62	29,0	2,58
<b>D3</b>	1,24	33,0	1,31	33,5	1,36	30,0	1,30
<b>E3</b>	0,65	33,0	0,68	34,0	0,71	32,0	0,68
<b>A4</b>	3,82	32,5	3,91	34,5	3,92	31,5	3,88
<b>B4</b>	3,58	33,0	3,52	35,0	3,56	31,0	3,55
<b>C4</b>	2,24	33,0	2,25	34,0	2,26	31,0	2,25
<b>D4</b>	1,20	33,0	1,17	33,5	1,22	31,0	1,20
<b>E4</b>	0,59	33,0	0,58	33,5	0,63	31,5	0,60
<b>A5</b>	2,45	30,0	2,51	33,5	2,56	32,0	2,51
<b>B5</b>	2,39	30,5	2,40	33,5	2,35	31,5	2,38
<b>C5</b>	1,57	30,5	1,57	34,0	1,54	31,0	1,56
<b>D5</b>	0,86	32,0	0,82	34,0	0,84	31,0	0,84
<b>E5</b>	0,48	32,0	0,56	34,0	0,48	31,5	0,51

**TABELA A.5** - Intensidades pontuais de radiação ultravioleta obtidas nos 25 pontos do reator I com radiômetro para as lâmpadas 1 e 3 ligadas.

Pontos	ENSAIO 1		ENSAIO 2		ENSAIO 3		$I_{pm}(mW/cm^2)$
	$T_{ambiente} = 24,5^{\circ}C$		$T_{ambiente} = 24,0^{\circ}C$		$T_{ambiente} = 26,5^{\circ}C$		
	$T_{lâmpada} = 48,0^{\circ}C$		$T_{lâmpada} = 47,5^{\circ}C$		$T_{lâmpada} = 49,0^{\circ}C$		
	$I_p(mW/cm^2)$	$T_{sup}(^{\circ}C)$	$I_p(mW/cm^2)$	$T_{sup}(^{\circ}C)$	$I_p(mW/cm^2)$	$T_{sup}(^{\circ}C)$	
A1	2,21	30,0	2,23	31,5	2,22	32,5	2,22
B1	2,37	29,5	2,30	31,5	2,28	32,5	2,32
C1	1,88	30,0	1,81	31,0	1,82	32,0	1,84
D1	1,23	30,5	1,17	30,5	1,21	32,0	1,20
E1	0,74	30,5	0,74	30,5	0,72	32,0	0,73
A2	3,38	31,5	3,35	32,0	3,23	32,0	3,32
B2	3,51	32,0	3,46	31,0	3,39	32,5	3,45
C2	2,73	32,0	2,66	31,0	2,58	33,0	2,66
D2	1,78	32,0	1,67	31,0	1,70	32,0	1,72
E2	0,96	31,0	0,96	31,0	0,95	32,0	0,96
A3	3,62	32,5	3,61	33,0	3,46	32,0	3,56
B3	3,82	32,0	3,75	32,5	3,65	31,0	3,74
C3	2,96	32,0	2,90	31,5	2,84	32,5	2,90
D3	1,91	32,0	1,79	31,0	1,83	31,5	1,84
E3	1,06	32,0	1,02	31,0	1,04	31,5	1,04
A4	3,36	33,0	3,40	32,0	3,25	32,5	3,34
B4	3,47	32,0	3,43	31,5	3,28	32,0	3,39
C4	2,63	32,0	2,66	31,5	2,50	32,0	2,60
D4	1,72	31,0	1,67	31,5	1,63	32,0	1,67
E4	0,93	31,5	0,94	31,0	0,93	32,0	0,93
A5	2,26	31,0	2,30	31,0	2,24	32,5	2,27
B5	2,34	31,0	2,36	30,5	2,26	32,0	2,32
C5	1,78	31,0	1,75	30,5	1,75	32,0	1,76
D5	1,22	31,5	1,15	30,0	1,19	32,0	1,19
E5	0,73	31,5	0,72	29,5	0,75	32,5	0,73



**TABELA A.6** - Intensidades pontuais de radiação ultravioleta obtidas nos 25 pontos do reator I com radiômetro para as lâmpadas 1 e 4 ligadas.

Pontos	ENSAIO 1		ENSAIO 2		ENSAIO 3		$I_{pm}(mW/cm^2)$
	$T_{ambiente} = 24,0^{\circ}C$		$T_{ambiente} = 24,5^{\circ}C$		$T_{ambiente} = 24,0^{\circ}C$		
	$T_{lâmpada} = 46,0^{\circ}C$		$T_{lâmpada} = 46,5^{\circ}C$		$T_{lâmpada} = 46,0^{\circ}C$		
	$I_p(mW/cm^2)$	$T_{sup}(^{\circ}C)$	$I_p(mW/cm^2)$	$T_{sup}(^{\circ}C)$	$I_p(mW/cm^2)$	$T_{sup}(^{\circ}C)$	
A1	1,88	29,5	1,85	32,5	1,93	31,5	1,88
B1	2,09	30,0	2,05	33,0	2,12	31,0	2,09
C1	1,81	30,0	1,74	32,5	1,82	31,5	1,79
D1	1,39	30,0	1,32	32,0	1,46	31,5	1,39
E1	1,04	30,0	1,05	32,0	1,08	31,5	1,06
A2	2,84	31,5	2,77	33,0	2,85	31,5	2,82
B2	3,06	31,5	3,01	33,0	3,05	31,0	3,04
C2	2,59	31,0	2,60	33,0	2,70	31,5	2,63
D2	2,09	31,0	2,05	32,0	2,14	31,0	2,09
E2	1,42	31,0	1,44	32,5	1,47	31,0	1,44
A3	3,04	32,5	3,04	34,5	3,11	31,0	3,06
B3	3,31	33,0	3,28	33,0	3,28	30,5	3,29
C3	2,87	32,0	2,83	33,0	2,80	29,0	2,83
D3	2,31	32,0	2,23	33,0	2,23	29,5	2,26
E3	1,60	32,0	1,53	32,5	1,54	30,5	1,56
A4	2,89	32,0	2,80	33,0	2,89	31,0	2,86
B4	3,00	32,0	2,92	33,0	3,01	31,0	2,98
C4	2,56	32,0	2,51	32,5	2,62	31,0	2,56
D4	2,01	32,0	2,01	33,0	2,06	31,0	2,03
E4	1,40	32,0	1,39	33,0	1,46	31,5	1,42
A5	1,89	31,5	1,89	32,0	1,88	31,0	1,89
B5	2,06	31,5	2,07	31,0	2,07	31,5	2,07
C5	1,76	32,0	1,73	31,0	1,76	32,0	1,75
D5	1,38	32,0	1,32	30,0	1,37	32,0	1,36
E5	1,02	32,5	0,93	29,0	1,09	31,5	1,01

**TABELA A.7** - Intensidades pontuais de radiação ultravioleta obtidas nos 25 pontos do reator I com radiômetro para as lâmpadas 1 e 5 ligadas.

	ENSAIO 1		ENSAIO 2		ENSAIO 3		
	$T_{\text{ambiente}} = 27,0^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{ambiente}} = 25,0^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{ambiente}} = 26,5^{\circ}\text{C}$		
	$T_{\text{lâmpada}} = 49,0^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{lâmpada}} = 46,5^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{lâmpada}} = 48,0^{\circ}\text{C}$		
Pontos	$I_p(\text{mW}/\text{cm}^2)$	$T_{\text{sup}}(^{\circ}\text{C})$	$I_p(\text{mW}/\text{cm}^2)$	$T_{\text{sup}}(^{\circ}\text{C})$	$I_p(\text{mW}/\text{cm}^2)$	$T_{\text{sup}}(^{\circ}\text{C})$	$I_{\text{pm}}(\text{mW}/\text{cm}^2)$
A1	1,68	32,0	1,80	32,0	1,67	32,5	1,72
B1	1,84	32,0	1,89	31,5	1,86	32,0	1,86
C1	1,71	32,0	1,73	31,5	1,71	32,0	1,72
D1	1,59	32,0	1,60	31,0	1,59	32,0	1,59
E1	1,40	32,0	1,42	31,5	1,39	33,0	1,40
A2	2,48	32,5	2,54	32,0	2,48	33,0	2,50
B2	2,59	33,0	2,62	32,0	2,61	33,0	2,61
C2	2,36	33,0	2,40	32,0	2,35	33,5	2,37
D2	2,31	33,5	2,34	31,5	2,30	33,0	2,32
E2	1,98	34,0	1,97	31,5	2,02	33,0	1,99
A3	2,64	33,5	2,73	32,5	2,66	33,0	2,68
B3	2,79	34,0	2,86	32,5	2,74	32,0	2,80
C3	2,59	34,0	2,62	31,5	2,50	32,0	2,57
D3	2,50	34,0	2,54	32,0	2,49	32,0	2,51
E3	2,19	34,0	2,22	31,5	2,20	32,5	2,20
A4	2,46	34,0	2,55	31,0	2,44	32,0	2,48
B4	2,52	33,5	2,62	31,0	2,49	32,5	2,54
C4	2,28	33,0	2,39	31,0	2,22	32,0	2,30
D4	2,24	33,0	2,34	31,0	2,20	32,0	2,26
E4	1,87	33,5	2,00	31,0	1,89	32,0	1,92
A5	1,62	33,5	1,68	30,5	1,59	32,5	1,63
B5	1,75	33,0	1,79	30,5	1,74	32,0	1,76
C5	1,59	33,5	1,63	30,0	1,56	33,0	1,59
D5	1,47	32,5	1,49	30,5	1,46	32,5	1,47
E5	1,26	32,5	1,32	29,0	1,28	32,5	1,29

**TABELA A.8** - Intensidades pontuais de radiação ultravioleta obtidas nos 25 pontos do reator I com radiômetro para as lâmpadas 1 e 6 ligadas.

	<b>ENSAIO 1</b>		<b>ENSAIO 2</b>		<b>ENSAIO 3</b>		
	$T_{\text{ambiente}} = 28,5^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{ambiente}} = 26,5^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{ambiente}} = 27,0^{\circ}\text{C}$		
	$T_{\text{lâmpada}} = 50,5^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{lâmpada}} = 49,0^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{lâmpada}} = 49,5^{\circ}\text{C}$		
<b>Pontos</b>	$I_p(\text{mW}/\text{cm}^2)$	$T_{\text{sup}}(^{\circ}\text{C})$	$I_p(\text{mW}/\text{cm}^2)$	$T_{\text{sup}}(^{\circ}\text{C})$	$I_p(\text{mW}/\text{cm}^2)$	$T_{\text{sup}}(^{\circ}\text{C})$	$I_{\text{pm}}(\text{mW}/\text{cm}^2)$
<b>A1</b>	1,71	29,0	1,74	33,0	1,69	34,0	1,71
<b>B1</b>	1,66	30,5	1,69	32,5	1,61	34,0	1,65
<b>C1</b>	1,49	30,5	1,52	32,5	1,48	33,5	1,50
<b>D1</b>	1,61	31,0	1,63	32,0	1,58	34,0	1,61
<b>E1</b>	1,57	32,0	1,64	32,0	1,58	34,0	1,60
<b>A2</b>	2,46	33,5	2,50	33,5	2,45	34,0	2,47
<b>B2</b>	2,29	33,0	2,33	32,5	2,29	34,0	2,30
<b>C2</b>	1,98	33,5	1,99	34,0	1,99	33,5	1,99
<b>D2</b>	2,28	33,5	2,30	33,0	2,31	34,0	2,30
<b>E2</b>	2,46	33,5	2,46	33,0	2,41	34,5	2,44
<b>A3</b>	2,71	33,5	2,70	33,5	2,80	31,0	2,74
<b>B3</b>	2,43	34,5	2,50	33,0	2,52	29,5	2,48
<b>C3</b>	2,12	35,0	2,21	33,5	2,23	28,5	2,19
<b>D3</b>	2,52	34,5	2,61	34,0	2,60	31,0	2,58
<b>E3</b>	2,74	35,0	2,69	34,0	2,69	32,0	2,71
<b>A4</b>	2,36	35,0	2,48	32,5	2,48	32,5	2,44
<b>B4</b>	2,22	34,0	2,29	32,5	2,30	32,5	2,27
<b>C4</b>	1,92	34,0	2,04	33,0	2,04	33,0	2,00
<b>D4</b>	2,34	34,5	2,42	33,0	2,38	33,5	2,38
<b>E4</b>	2,56	34,0	2,53	33,5	2,58	33,5	2,56
<b>A5</b>	1,63	33,0	1,61	29,0	1,66	33,0	1,63
<b>B5</b>	1,60	32,5	1,63	29,5	1,57	33,0	1,60
<b>C5</b>	1,44	32,0	1,49	29,5	1,44	33,5	1,46
<b>D5</b>	1,65	33,0	1,73	30,5	1,65	33,5	1,68
<b>E5</b>	1,69	34,0	1,64	31,5	1,68	33,0	1,67

**TABELA A.9** - Intensidades pontuais de radiação ultravioleta obtidas nos 25 pontos do reator I com radiômetro para as lâmpadas 2 e 3 ligadas.

	<b>ENSAIO 1</b>		<b>ENSAIO 2</b>		<b>ENSAIO 3</b>		
	$T_{\text{ambiente}} = 26,5^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{ambiente}} = 27,5^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{ambiente}} = 26,5^{\circ}\text{C}$		
	$T_{\text{lâmpada}} = 49,0^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{lâmpada}} = 50,5^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{lâmpada}} = 50,0^{\circ}\text{C}$		
<b>Pontos</b>	$I_p(\text{mW}/\text{cm}^2)$	$T_{\text{sup}}(^{\circ}\text{C})$	$I_p(\text{mW}/\text{cm}^2)$	$T_{\text{sup}}(^{\circ}\text{C})$	$I_p(\text{mW}/\text{cm}^2)$	$T_{\text{sup}}(^{\circ}\text{C})$	$I_{\text{pm}}(\text{mW}/\text{cm}^2)$
<b>A1</b>	1,89	30,5	2,01	33,0	1,96	33,0	1,95
<b>B1</b>	2,11	31,0	2,19	33,0	2,19	32,5	2,16
<b>C1</b>	1,92	31,5	2,00	33,0	1,96	33,0	1,96
<b>D1</b>	1,35	32,0	1,39	32,5	1,39	32,5	1,38
<b>E1</b>	0,77	32,0	0,86	33,0	0,80	32,5	0,81
<b>A2</b>	2,82	33,0	2,96	34,0	2,80	34,0	2,86
<b>B2</b>	3,26	33,0	3,42	33,5	3,31	33,0	3,33
<b>C2</b>	2,91	33,5	2,98	33,0	2,97	33,0	2,95
<b>D2</b>	1,93	33,0	1,93	33,5	1,97	33,0	1,94
<b>E2</b>	1,03	32,5	1,05	33,0	1,02	32,5	1,03
<b>A3</b>	3,14	34,0	3,24	33,5	3,14	32,5	3,17
<b>B3</b>	3,66	33,5	3,70	34,0	3,57	33,0	3,64
<b>C3</b>	3,28	33,5	3,15	34,5	3,18	32,0	3,20
<b>D3</b>	2,11	33,5	2,00	33,5	2,18	32,0	2,10
<b>E3</b>	1,14	33,5	1,11	33,5	1,13	32,0	1,13
<b>A4</b>	2,90	34,0	2,98	34,0	2,92	32,5	2,93
<b>B4</b>	3,30	34,0	3,42	33,0	3,36	33,0	3,36
<b>C4</b>	2,90	33,5	2,93	34,0	2,93	32,5	2,92
<b>D4</b>	1,90	33,5	1,93	33,0	1,94	33,0	1,92
<b>E4</b>	0,98	33,0	1,00	32,5	1,03	33,0	1,00
<b>A5</b>	2,01	33,0	2,04	32,0	2,04	34,0	2,03
<b>B5</b>	2,19	33,0	2,23	32,5	2,20	33,5	2,21
<b>C5</b>	1,93	33,0	1,95	32,0	1,90	34,0	1,93
<b>D5</b>	1,37	32,0	1,27	31,5	1,32	33,5	1,32
<b>E5</b>	0,79	32,0	0,78	31,0	0,75	33,0	0,77

**TABELA A.10** - Intensidades pontuais de radiação ultravioleta obtidas nos 25 pontos do reator I com radiômetro para as lâmpadas 2 e 4 ligadas.

Pontos	ENSAIO 1		ENSAIO 2		ENSAIO 3		$I_{pm}(mW/cm^2)$
	$T_{ambiente} = 24,5^{\circ}C$		$T_{ambiente} = 26,0^{\circ}C$		$T_{ambiente} = 27,0^{\circ}C$		
	$T_{lâmpada} = 46,0^{\circ}C$		$T_{lâmpada} = 47,0^{\circ}C$		$T_{lâmpada} = 47,5^{\circ}C$		
	$I_p(mW/cm^2)$	$T_{sup}(^{\circ}C)$	$I_p(mW/cm^2)$	$T_{sup}(^{\circ}C)$	$I_p(mW/cm^2)$	$T_{sup}(^{\circ}C)$	
A1	1,53	30,0	1,63	32,5	1,63	32,5	1,60
B1	1,96	30,0	2,00	33,0	2,04	32,0	2,00
C1	2,03	30,0	2,01	33,0	2,08	32,5	2,04
D1	1,62	30,5	1,56	32,5	1,62	33,0	1,60
E1	1,18	30,5	1,16	32,0	1,14	32,5	1,16
A2	2,34	32,0	2,45	33,0	2,30	32,5	2,36
B2	3,00	32,0	3,02	33,0	2,92	32,5	2,98
C2	3,00	32,0	3,04	32,5	3,05	32,0	3,03
D2	2,37	32,5	2,41	32,0	2,43	32,0	2,40
E2	1,54	33,0	1,53	32,5	1,55	32,5	1,54
A3	2,51	33,5	2,65	32,5	2,50	32,5	2,55
B3	3,26	33,5	3,27	33,0	3,27	31,5	3,27
C3	3,30	33,5	3,32	33,0	3,26	30,5	3,29
D3	2,60	33,5	2,57	32,5	2,47	31,5	2,55
E3	1,67	33,5	1,63	32,0	1,56	32,0	1,62
A4	2,43	33,5	2,53	32,5	2,38	32,5	2,45
B4	3,02	33,0	3,05	32,0	2,96	32,0	3,01
C4	2,96	32,5	3,02	31,5	2,96	32,5	2,98
D4	2,34	32,5	2,37	31,0	2,37	33,0	2,36
E4	1,48	32,0	1,46	31,0	1,45	33,0	1,46
A5	1,73	32,5	1,75	30,5	1,71	32,0	1,73
B5	2,04	32,5	2,08	30,5	2,11	34,0	2,08
C5	1,96	32,5	1,99	30,0	2,08	32,5	2,01
D5	1,53	33,0	1,57	30,0	1,57	33,0	1,56
E5	1,04	33,0	1,03	29,0	1,11	33,0	1,06

**TABELA A.11** - Intensidades pontuais de radiação ultravioleta obtidas nos 25 pontos do reator I com radiômetro para as lâmpadas 2 e 5 ligadas.

	<b>ENSAIO 1</b>		<b>ENSAIO 2</b>		<b>ENSAIO 3</b>		
	$T_{\text{ambiente}} = 26,0^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{ambiente}} = 26,5^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{ambiente}} = 24,0^{\circ}\text{C}$		
	$T_{\text{lâmpada}} = 47,0^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{lâmpada}} = 46,5^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{lâmpada}} = 45,0^{\circ}\text{C}$		
<b>Pontos</b>	$I_p(\text{mW}/\text{cm}^2)$	$T_{\text{sup}}(^{\circ}\text{C})$	$I_p(\text{mW}/\text{cm}^2)$	$T_{\text{sup}}(^{\circ}\text{C})$	$I_p(\text{mW}/\text{cm}^2)$	$T_{\text{sup}}(^{\circ}\text{C})$	$I_{\text{pm}}(\text{mW}/\text{cm}^2)$
<b>A1</b>	1,37	29,5	1,40	33,5	1,40	32,0	1,39
<b>B1</b>	1,66	30,5	1,68	34,0	1,71	32,0	1,68
<b>C1</b>	1,91	31,0	1,90	33,0	1,90	31,5	1,90
<b>D1</b>	1,77	31,0	1,76	33,5	1,77	32,0	1,77
<b>E1</b>	1,46	31,5	1,48	33,0	1,48	32,0	1,47
<b>A2</b>	2,04	32,5	2,09	33,0	2,09	31,0	2,07
<b>B2</b>	2,48	33,5	2,59	33,0	2,55	31,5	2,54
<b>C2</b>	2,72	33,5	2,80	32,5	2,76	32,0	2,75
<b>D2</b>	2,61	33,0	2,61	32,0	2,66	32,0	2,63
<b>E2</b>	2,16	33,0	2,13	32,5	2,19	32,0	2,16
<b>A3</b>	2,28	33,5	2,38	33,5	2,19	31,0	2,28
<b>B3</b>	2,80	33,5	2,83	34,0	2,78	29,0	2,80
<b>C3</b>	3,01	33,5	3,04	33,5	2,98	28,5	3,01
<b>D3</b>	2,86	34,0	2,88	33,0	2,84	29,0	2,86
<b>E3</b>	2,34	34,0	2,32	33,0	2,31	31,0	2,32
<b>A4</b>	2,16	34,0	2,19	33,0	2,11	31,0	2,15
<b>B4</b>	2,58	33,0	2,60	32,5	2,61	31,0	2,60
<b>C4</b>	2,72	34,0	2,78	32,5	2,76	31,0	2,75
<b>D4</b>	2,59	33,0	2,62	32,0	2,60	31,5	2,60
<b>E4</b>	2,08	33,5	2,11	32,0	2,08	32,0	2,09
<b>A5</b>	1,50	33,0	1,50	32,0	1,54	31,5	1,51
<b>B5</b>	1,80	33,0	1,78	31,5	1,78	32,0	1,79
<b>C5</b>	1,92	33,0	1,90	31,5	1,89	31,0	1,90
<b>D5</b>	1,72	34,0	1,71	31,5	1,71	31,5	1,72
<b>E5</b>	1,41	33,5	1,36	30,0	1,36	31,5	1,38

**TABELA A.12** - Intensidades pontuais de radiação ultravioleta obtidas nos 25 pontos do reator I com radiômetro para as lâmpadas 3 e 4 ligadas.

	<b>ENSAIO 1</b>		<b>ENSAIO 2</b>		<b>ENSAIO 3</b>		
	$T_{\text{ambiente}} = 26,0^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{ambiente}} = 24,5^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{ambiente}} = 26,5^{\circ}\text{C}$		
	$T_{\text{lâmpada}} = 48,0^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{lâmpada}} = 46,0^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{lâmpada}} = 49,0^{\circ}\text{C}$		
<b>Pontos</b>	$I_p(\text{mW/cm}^2)$	$T_{\text{sup}}(^{\circ}\text{C})$	$I_p(\text{mW/cm}^2)$	$T_{\text{sup}}(^{\circ}\text{C})$	$I_p(\text{mW/cm}^2)$	$T_{\text{sup}}(^{\circ}\text{C})$	$I_{\text{pm}}(\text{mW/cm}^2)$
<b>A1</b>	1,33	32,0	1,37	28,5	1,28	33,5	1,33
<b>B1</b>	1,89	31,5	1,90	28,5	1,80	34,0	1,86
<b>C1</b>	2,19	31,0	2,17	29,0	2,05	34,0	2,14
<b>D1</b>	1,94	31,0	1,95	30,0	1,86	34,5	1,92
<b>E1</b>	1,42	31,5	1,44	30,0	1,33	34,5	1,40
<b>A2</b>	1,82	32,0	1,97	31,0	1,74	34,0	1,84
<b>B2</b>	2,77	32,0	2,84	31,5	2,76	33,0	2,79
<b>C2</b>	3,27	32,5	3,34	32,0	3,21	33,0	3,27
<b>D2</b>	2,76	32,0	2,90	32,0	2,85	33,0	2,84
<b>E2</b>	1,84	32,0	1,97	32,0	1,77	33,5	1,86
<b>A3</b>	2,01	32,0	1,98	33,0	2,02	31,5	2,00
<b>B3</b>	3,15	32,5	3,03	33,0	3,15	30,5	3,11
<b>C3</b>	3,60	33,0	3,63	33,0	3,69	28,5	3,64
<b>D3</b>	3,03	32,5	3,20	32,5	3,19	31,0	3,14
<b>E3</b>	1,94	33,0	2,11	33,0	1,94	32,0	2,00
<b>A4</b>	1,90	31,5	1,95	32,0	1,84	32,5	1,90
<b>B4</b>	2,89	31,5	2,88	31,5	2,89	32,5	2,89
<b>C4</b>	3,32	31,5	3,29	32,0	3,31	32,5	3,31
<b>D4</b>	2,81	31,5	2,84	32,5	2,82	33,5	2,82
<b>E4</b>	1,78	32,0	1,95	32,5	1,82	33,5	1,85
<b>A5</b>	1,33	28,5	1,47	32,5	1,40	32,5	1,40
<b>B5</b>	1,91	29,5	1,92	32,0	1,89	32,5	1,91
<b>C5</b>	2,09	29,5	2,19	32,0	2,11	32,5	2,13
<b>D5</b>	1,82	30,0	1,89	32,5	1,86	33,0	1,86
<b>E5</b>	1,27	30,5	1,31	32,5	1,29	34,0	1,29

**TABELA A.13** - Intensidades pontuais de radiação ultravioleta obtidas nos 25 pontos do reator I com radiômetro para as lâmpadas 1, 2 e 3 ligadas.

Pontos	ENSAIO 1		ENSAIO 2		ENSAIO 3		
	$T_{\text{ambiente}} = 29,0^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{ambiente}} = 28,5^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{ambiente}} = 28,5^{\circ}\text{C}$		
	$T_{\text{lâmpada}} = 59,0^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{lâmpada}} = 58,0^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{lâmpada}} = 56,0^{\circ}\text{C}$		
	$I_p(\text{mW}/\text{cm}^2)$	$T_{\text{sup}}(^{\circ}\text{C})$	$I_p(\text{mW}/\text{cm}^2)$	$T_{\text{sup}}(^{\circ}\text{C})$	$I_p(\text{mW}/\text{cm}^2)$	$T_{\text{sup}}(^{\circ}\text{C})$	$I_{\text{pm}}(\text{mW}/\text{cm}^2)$
<b>A1</b>	3,27	37,0	3,16	32,5	3,21	37,5	3,21
<b>B1</b>	3,34	36,5	3,41	33,5	3,30	37,0	3,35
<b>C1</b>	2,65	37,5	2,75	34,0	2,63	37,5	2,68
<b>D1</b>	1,65	37,0	1,75	35,5	1,62	37,5	1,67
<b>E1</b>	1,00	37,0	1,06	35,0	0,90	37,0	0,99
<b>A2</b>	4,82	38,5	4,81	37,0	4,85	36,5	4,83
<b>B2</b>	4,93	37,5	4,95	38,0	5,03	36,5	4,97
<b>C2</b>	3,85	38,0	3,84	37,0	3,78	37,5	3,82
<b>D2</b>	2,39	37,5	2,45	37,0	2,37	37,0	2,40
<b>E2</b>	1,23	37,0	1,29	36,0	1,24	37,0	1,25
<b>A3</b>	5,09	39,0	5,29	37,0	5,17	34,5	5,18
<b>B3</b>	5,32	38,5	5,38	37,0	5,47	33,5	5,39
<b>C3</b>	4,05	37,5	4,01	37,0	4,13	32,2	4,06
<b>D3</b>	2,42	38,5	2,44	36,0	2,55	34,5	2,47
<b>E3</b>	1,29	38,0	1,36	36,5	1,35	34,0	1,33
<b>A4</b>	4,76	36,0	4,90	36,5	4,69	38,0	4,78
<b>B4</b>	4,99	36,0	5,06	36,5	4,96	36,5	5,00
<b>C4</b>	3,78	35,0	3,82	35,5	3,70	36,5	3,77
<b>D4</b>	2,29	35,5	2,31	36,0	2,29	36,0	2,30
<b>E4</b>	1,28	36,0	1,23	35,5	1,20	37,0	1,24
<b>A5</b>	3,23	31,5	3,33	35,0	3,26	37,0	3,27
<b>B5</b>	3,40	32,5	3,40	35,5	3,31	36,5	3,37
<b>C5</b>	2,62	33,0	2,53	35,0	2,53	36,0	2,56
<b>D5</b>	1,67	34,0	1,61	35,0	1,62	36,5	1,63
<b>E5</b>	0,96	34,0	0,96	35,5	0,99	36,0	0,97



**TABELA A.14** - Intensidades pontuais de radiação ultravioleta obtidas nos 25 pontos do reator I com radiômetro para as lâmpadas 1, 2 e 4 ligadas.

Pontos	ENSAIO 1		ENSAIO 2		ENSAIO 3		
	$T_{\text{ambiente}} = 27,0^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{ambiente}} = 28,0^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{ambiente}} = 25,0^{\circ}\text{C}$		
	$T_{\text{lâmpada}} = 56,0^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{lâmpada}} = 58,0^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{lâmpada}} = 53,0^{\circ}\text{C}$		
	$I_p(\text{mW}/\text{cm}^2)$	$T_{\text{sup}}(^{\circ}\text{C})$	$I_p(\text{mW}/\text{cm}^2)$	$T_{\text{sup}}(^{\circ}\text{C})$	$I_p(\text{mW}/\text{cm}^2)$	$T_{\text{sup}}(^{\circ}\text{C})$	$I_{\text{pm}}(\text{mW}/\text{cm}^2)$
A1	2,85	31,5	2,85	36,0	2,85	35,5	2,85
B1	2,96	32,5	3,08	36,0	3,04	35,0	3,03
C1	2,59	33,5	2,54	35,5	2,54	35,0	2,56
D1	1,82	34,0	1,77	35,0	1,78	35,0	1,79
E1	1,21	34,0	1,26	35,5	1,25	34,0	1,24
A2	4,15	35,0	4,17	36,0	4,18	35,0	4,17
B2	4,45	35,5	4,42	35,5	4,52	34,5	4,46
C2	3,73	35,0	3,72	35,5	3,79	34,0	3,75
D2	2,67	35,5	2,60	35,5	2,61	34,0	2,63
E2	1,67	34,5	1,63	35,5	1,67	34,0	1,66
A3	4,62	36,0	4,58	37,5	4,67	34,0	4,62
B3	4,95	36,0	4,76	36,0	4,93	33,0	4,88
C3	4,07	35,5	3,96	37,0	3,96	32,0	4,00
D3	2,86	36,0	2,75	36,0	2,80	33,0	2,80
E3	1,82	36,0	1,77	35,5	1,78	33,0	1,79
A4	4,16	35,5	4,27	36,5	4,35	34,0	4,26
B4	4,44	35,0	4,44	35,0	4,53	34,0	4,47
C4	3,62	35,0	3,52	35,5	3,65	34,0	3,60
D4	2,60	35,5	2,61	34,0	2,60	34,0	2,60
E4	1,59	36,0	1,65	33,5	1,64	34,5	1,63
A5	2,80	35,0	2,85	33,5	2,83	35,0	2,83
B5	3,01	35,0	3,08	32,5	3,06	35,0	3,05
C5	2,44	34,5	2,51	32,5	2,46	34,0	2,47
D5	1,70	35,0	1,78	31,5	1,75	34,5	1,74
E5	1,17	35,0	1,19	30,0	1,25	34,0	1,20

**TABELA A.15** - Intensidades pontuais de radiação ultravioleta obtidas nos 25 pontos do reator I com radiômetro para as lâmpadas 1, 2 e 5 ligadas.

Pontos	ENSAIO 1		ENSAIO 2		ENSAIO 3		
	$T_{\text{ambiente}} = 25,0^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{ambiente}} = 25,5^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{ambiente}} = 25,0^{\circ}\text{C}$		
	$T_{\text{lâmpada}} = 51,0^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{lâmpada}} = 52,0^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{lâmpada}} = 51,5^{\circ}\text{C}$		
	$I_p(\text{mW}/\text{cm}^2)$	$T_{\text{sup}}(^{\circ}\text{C})$	$I_p(\text{mW}/\text{cm}^2)$	$T_{\text{sup}}(^{\circ}\text{C})$	$I_p(\text{mW}/\text{cm}^2)$	$T_{\text{sup}}(^{\circ}\text{C})$	$I_{\text{pm}}(\text{mW}/\text{cm}^2)$
A1	2,67	31,0	2,70	36,0	2,75	35,0	2,71
B1	2,84	33,0	2,86	35,5	2,88	35,0	2,86
C1	2,56	33,0	2,50	35,5	2,59	35,5	2,55
D1	2,07	33,5	2,03	35,0	2,06	35,5	2,05
E1	1,63	33,5	1,60	35,0	1,68	35,5	1,64
A2	4,07	34,5	4,00	36,0	4,05	35,0	4,04
B2	4,21	35,0	4,10	35,0	4,17	35,5	4,16
C2	3,64	35,0	3,56	35,0	3,65	35,5	3,62
D2	3,00	35,0	2,92	35,0	3,00	36,0	2,97
E2	2,33	35,0	2,38	35,0	2,36	36,0	2,36
A3	4,43	36,0	4,45	36,5	4,49	34,0	4,46
B3	4,54	36,0	4,53	36,5	4,61	32,0	4,56
C3	3,90	36,0	3,87	35,5	3,85	30,0	3,87
D3	3,22	36,0	3,12	35,0	3,15	33,0	3,16
E3	2,51	36,5	2,41	35,0	2,47	33,0	2,46
A4	4,06	35,5	4,12	36,0	4,17	33,5	4,12
B4	4,14	35,5	4,23	35,0	4,23	33,5	4,20
C4	3,56	35,0	3,59	34,5	3,57	34,0	3,57
D4	2,91	35,0	2,89	34,0	2,92	34,5	2,91
E4	2,24	35,0	2,24	33,5	2,24	35,0	2,24
A5	2,77	35,5	2,73	33,0	2,80	35,0	2,77
B5	2,95	35,5	2,89	33,0	2,90	35,5	2,91
C5	2,47	36,0	2,48	33,0	2,42	35,5	2,46
D5	1,95	36,0	1,97	33,0	1,94	36,0	1,95
E5	1,53	36,5	1,54	32,0	1,56	36,5	1,54

**TABELA A.16** - Intensidades pontuais de radiação ultravioleta obtidas nos 25 pontos do reator I com radiômetro para as lâmpadas 1, 2 e 6 ligadas.

	<b>ENSAIO 1</b>		<b>ENSAIO 2</b>		<b>ENSAIO 3</b>		
	$T_{\text{ambiente}} = 29,0^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{ambiente}} = 30,0^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{ambiente}} = 24,5^{\circ}\text{C}$		
	$T_{\text{lâmpada}} = 55,0^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{lâmpada}} = 56,0^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{lâmpada}} = 53,0^{\circ}\text{C}$		
<b>Pontos</b>	$I_p(\text{mW}/\text{cm}^2)$	$T_{\text{sup}}(^{\circ}\text{C})$	$I_p(\text{mW}/\text{cm}^2)$	$T_{\text{sup}}(^{\circ}\text{C})$	$I_p(\text{mW}/\text{cm}^2)$	$T_{\text{sup}}(^{\circ}\text{C})$	$I_{\text{pm}}(\text{mW}/\text{cm}^2)$
<b>A1</b>	2,48	34,0	2,42	39,0	2,54	34,5	2,48
<b>B1</b>	2,55	35,0	2,47	39,0	2,63	35,0	2,55
<b>C1</b>	2,27	35,5	2,18	38,0	2,25	35,5	2,23
<b>D1</b>	2,03	36,5	1,96	38,0	2,02	35,5	2,00
<b>E1</b>	1,83	37,0	1,86	37,5	1,71	35,5	1,80
<b>A2</b>	3,66	37,5	3,66	39,0	3,80	35,0	3,71
<b>B2</b>	3,76	37,0	3,65	38,0	3,90	34,0	3,77
<b>C2</b>	3,10	37,5	3,05	38,0	3,20	35,0	3,12
<b>D2</b>	2,90	37,5	2,85	37,0	2,96	35,0	2,90
<b>E2</b>	2,72	37,5	2,59	36,5	2,67	35,5	2,66
<b>A3</b>	4,00	38,5	4,09	39,0	4,16	34,0	4,08
<b>B3</b>	4,09	38,0	4,12	38,5	4,10	31,5	4,10
<b>C3</b>	3,42	38,0	3,35	37,5	3,38	30,5	3,38
<b>D3</b>	3,19	38,0	3,18	37,0	3,22	32,5	3,20
<b>E3</b>	3,00	38,0	2,87	36,5	2,89	34,0	2,92
<b>A4</b>	3,73	38,0	3,80	38,0	3,90	34,5	3,81
<b>B4</b>	3,70	38,0	3,76	37,5	3,83	35,0	3,76
<b>C4</b>	3,05	37,5	3,10	37,0	3,14	36,0	3,10
<b>D4</b>	2,91	37,5	2,94	37,0	2,96	36,0	2,94
<b>E4</b>	2,67	38,0	2,71	37,0	2,79	36,0	2,72
<b>A5</b>	2,54	38,5	2,50	36,5	2,53	36,0	2,52
<b>B5</b>	2,56	38,0	2,58	35,5	2,63	35,5	2,59
<b>C5</b>	2,15	38,5	2,23	34,5	2,22	35,5	2,20
<b>D5</b>	2,03	38,0	2,06	34,0	2,08	35,0	2,06
<b>E5</b>	1,73	38,5	1,79	32,5	1,84	35,0	1,79

**TABELA A.17** - Intensidades pontuais de radiação ultravioleta obtidas nos 25 pontos do reator I com radiômetro para as lâmpadas 1, 3 e 4 ligadas.

Pontos	ENSAIO 1		ENSAIO 2		ENSAIO 3		
	$T_{\text{ambiente}} = 26,5^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{ambiente}} = 24,5^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{ambiente}} = 22,5^{\circ}\text{C}$		
	$T_{\text{lâmpada}} = 53,0^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{lâmpada}} = 51,0^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{lâmpada}} = 50,0^{\circ}\text{C}$		
	$I_p(\text{mW}/\text{cm}^2)$	$T_{\text{sup}}(^{\circ}\text{C})$	$I_p(\text{mW}/\text{cm}^2)$	$T_{\text{sup}}(^{\circ}\text{C})$	$I_p(\text{mW}/\text{cm}^2)$	$T_{\text{sup}}(^{\circ}\text{C})$	$I_{\text{pm}}(\text{mW}/\text{cm}^2)$
<b>A1</b>	2,70	36,0	2,72	31,0	2,70	34,0	2,71
<b>B1</b>	3,03	35,5	3,12	31,5	3,16	33,5	3,10
<b>C1</b>	2,72	35,5	2,81	31,5	2,85	33,0	2,79
<b>D1</b>	2,08	35,5	2,20	32,0	2,22	34,0	2,17
<b>E1</b>	1,46	35,5	1,51	32,0	1,63	34,0	1,53
<b>A2</b>	3,86	36,5	3,92	33,0	4,00	33,5	3,93
<b>B2</b>	4,51	36,5	4,68	34,0	4,69	34,0	4,63
<b>C2</b>	4,15	36,0	4,28	34,0	4,30	34,0	4,24
<b>D2</b>	3,20	35,5	3,30	33,5	3,30	34,0	3,27
<b>E2</b>	2,02	35,5	2,14	34,0	2,08	33,5	2,08
<b>A3</b>	4,33	37,0	4,28	34,0	4,40	33,5	4,34
<b>B3</b>	4,95	37,0	5,06	34,0	5,08	33,0	5,03
<b>C3</b>	4,52	37,0	4,65	34,5	4,60	30,5	4,59
<b>D3</b>	3,43	37,5	3,55	34,5	3,50	32,0	3,49
<b>E3</b>	2,18	36,5	2,30	35,0	2,25	33,0	2,24
<b>A4</b>	3,95	37,0	4,00	34,5	4,07	34,0	4,01
<b>B4</b>	4,54	36,5	4,57	34,5	4,77	33,5	4,63
<b>C4</b>	4,10	36,0	4,20	34,5	4,26	33,5	4,19
<b>D4</b>	3,17	35,5	3,17	34,5	3,26	33,0	3,20
<b>E4</b>	1,96	35,0	1,98	35,0	2,15	34,0	2,03
<b>A5</b>	2,70	35,0	2,70	34,0	2,80	34,0	2,73
<b>B5</b>	3,06	33,5	3,07	34,0	3,14	34,0	3,09
<b>C5</b>	2,70	34,0	2,75	34,5	2,83	33,0	2,76
<b>D5</b>	2,17	34,0	2,17	35,0	2,19	33,5	2,18
<b>E5</b>	1,42	33,0	1,47	35,0	1,56	34,0	1,48

**TABELA A.18** - Intensidades pontuais de radiação ultravioleta obtidas nos 25 pontos do reator I com radiômetro para as lâmpadas 1, 3 e 5 ligadas.

Pontos	ENSAIO 1		ENSAIO 2		ENSAIO 3		$I_{pm}(mW/cm^2)$
	$T_{ambiente} = 23,5^{\circ}C$		$T_{ambiente} = 22,0^{\circ}C$		$T_{ambiente} = 21,5^{\circ}C$		
	$T_{lâmpada} = 51,0^{\circ}C$		$T_{lâmpada} = 49,5^{\circ}C$		$T_{lâmpada} = 48,0^{\circ}C$		
	$I_p(mW/cm^2)$	$T_{sup}(^{\circ}C)$	$I_p(mW/cm^2)$	$T_{sup}(^{\circ}C)$	$I_p(mW/cm^2)$	$T_{sup}(^{\circ}C)$	
A1	2,78	33,5	2,86	27,5	2,74	33,0	2,79
B1	3,00	33,5	3,19	27,5	3,08	32,0	3,09
C1	2,79	33,0	2,99	29,0	2,90	32,0	2,89
D1	2,44	33,0	2,67	28,5	2,52	33,0	2,54
E1	1,86	33,0	2,00	28,5	1,89	33,0	1,92
A2	3,81	35,0	4,09	30,5	4,00	32,0	3,97
B2	4,25	34,5	4,57	31,0	4,46	32,5	4,43
C2	4,13	33,5	4,33	31,0	4,22	33,5	4,23
D2	3,66	34,5	3,84	31,5	3,71	33,0	3,74
E2	2,69	33,0	2,83	32,0	2,68	33,0	2,73
A3	4,24	35,0	4,30	32,0	4,25	30,0	4,26
B3	4,82	34,5	4,91	34,0	4,86	28,5	4,86
C3	4,55	34,5	4,69	33,0	4,71	26,5	4,65
D3	3,94	34,0	4,08	34,0	4,04	31,0	4,02
E3	2,89	34,0	3,05	33,5	2,95	30,5	2,96
A4	3,90	34,5	4,05	33,0	3,97	32,5	3,97
B4	4,41	34,0	4,56	33,0	4,40	33,0	4,46
C4	4,20	33,0	4,35	32,5	4,13	33,0	4,23
D4	3,68	33,0	3,79	33,0	3,64	32,0	3,70
E4	2,67	33,0	2,78	33,0	2,72	33,0	2,72
A5	2,77	32,0	2,78	32,0	2,67	32,0	2,74
B5	3,08	31,0	3,09	32,5	3,11	32,5	3,09
C5	2,88	30,5	2,96	32,0	2,92	32,0	2,92
D5	2,56	29,5	2,55	32,0	2,52	31,0	2,54
E5	1,93	28,5	2,01	32,0	2,00	31,0	1,98

**TABELA A.19** - Intensidades pontuais de radiação ultravioleta obtidas nos 25 pontos do reator I com radiômetro para as lâmpadas 1, 3 e 6 ligadas.

Pontos	ENSAIO 1		ENSAIO 2		ENSAIO 3		
	$T_{\text{ambiente}} = 24,0^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{ambiente}} = 23,0^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{ambiente}} = 23,0^{\circ}\text{C}$		
	$T_{\text{lâmpada}} = 52,0^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{lâmpada}} = 49,0^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{lâmpada}} = 51,0^{\circ}\text{C}$		
	$I_p(\text{mW}/\text{cm}^2)$	$T_{\text{sup}}(^{\circ}\text{C})$	$I_p(\text{mW}/\text{cm}^2)$	$T_{\text{sup}}(^{\circ}\text{C})$	$I_p(\text{mW}/\text{cm}^2)$	$T_{\text{sup}}(^{\circ}\text{C})$	$I_{\text{pm}}(\text{mW}/\text{cm}^2)$
A1	2,30	30,5	2,30	34,0	2,32	33,0	2,31
B1	2,53	31,0	2,51	34,0	2,53	33,5	2,52
C1	2,39	31,5	2,38	33,5	2,39	33,5	2,39
D1	2,32	32,0	2,28	34,0	2,33	34,0	2,31
E1	2,01	32,5	1,99	34,0	2,10	34,5	2,03
A2	3,40	33,0	3,36	35,5	3,39	33,5	3,38
B2	3,77	33,5	3,67	35,0	3,71	34,0	3,72
C2	3,52	34,0	3,42	34,5	3,50	34,0	3,48
D2	3,34	34,0	3,34	34,0	3,41	34,0	3,36
E2	3,11	34,0	3,01	34,0	3,05	34,0	3,06
A3	3,72	35,5	3,75	36,0	3,76	34,0	3,74
B3	4,09	35,0	4,09	35,0	4,07	31,5	4,08
C3	3,80	35,0	3,80	35,0	3,79	30,0	3,80
D3	3,75	35,5	3,74	35,5	3,73	33,0	3,74
E3	3,38	35,0	3,29	35,0	3,31	34,0	3,33
A4	3,52	34,5	3,50	35,0	3,48	34,5	3,50
B4	3,75	34,0	3,73	35,5	3,68	35,0	3,72
C4	3,47	34,0	3,51	35,5	3,45	34,0	3,48
D4	3,41	34,0	3,44	35,0	3,38	33,5	3,41
E4	3,12	34,0	3,10	34,5	3,15	34,5	3,12
A5	2,38	34,0	2,35	32,5	2,35	33,5	2,36
B5	2,54	34,5	2,56	32,5	2,54	33,5	2,55
C5	2,40	34,5	2,48	32,0	2,42	34,0	2,43
D5	2,37	35,0	2,46	32,0	2,37	33,5	2,40
E5	2,08	35,0	2,08	30,0	2,07	34,0	2,08

**TABELA A.20** - Intensidades pontuais de radiação ultravioleta obtidas nos 25 pontos do reator I com radiômetro para as lâmpadas 1, 4 e 5 ligadas.

	<b>ENSAIO 1</b>		<b>ENSAIO 2</b>		<b>ENSAIO 3</b>		
	$T_{\text{ambiente}} = 25,0^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{ambiente}} = 26,0^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{ambiente}} = 27,5^{\circ}\text{C}$		
	$T_{\text{lâmpada}} = 51,0^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{lâmpada}} = 52,0^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{lâmpada}} = 53,0^{\circ}\text{C}$		
<b>Pontos</b>	$I_p(\text{mW}/\text{cm}^2)$	$T_{\text{sup}}(^{\circ}\text{C})$	$I_p(\text{mW}/\text{cm}^2)$	$T_{\text{sup}}(^{\circ}\text{C})$	$I_p(\text{mW}/\text{cm}^2)$	$T_{\text{sup}}(^{\circ}\text{C})$	$I_{\text{pm}}(\text{mW}/\text{cm}^2)$
<b>A1</b>	1,96	30,5	2,07	35,5	1,98	37,0	2,00
<b>B1</b>	2,48	31,5	2,47	35,0	2,41	37,0	2,45
<b>C1</b>	2,63	31,5	2,53	35,0	2,49	37,0	2,55
<b>D1</b>	2,48	31,5	2,42	35,0	2,37	37,0	2,42
<b>E1</b>	2,08	32,0	2,03	36,0	2,06	37,0	2,06
<b>A2</b>	2,94	33,5	2,95	35,5	2,86	36,5	2,92
<b>B2</b>	3,59	33,5	3,52	35,5	3,46	36,5	3,52
<b>C2</b>	3,80	34,5	3,70	35,5	3,64	36,5	3,71
<b>D2</b>	3,72	34,5	3,65	35,0	3,60	37,0	3,66
<b>E2</b>	2,88	34,0	2,86	35,5	2,84	37,0	2,86
<b>A3</b>	3,17	35,0	3,19	37,0	3,08	36,5	3,15
<b>B3</b>	3,86	35,0	3,81	36,5	3,73	35,0	3,80
<b>C3</b>	4,09	35,0	4,01	36,5	3,91	33,5	4,00
<b>D3</b>	4,03	35,0	3,94	36,0	3,85	35,5	3,94
<b>E3</b>	3,11	35,0	3,13	36,0	3,11	35,5	3,12
<b>A4</b>	2,97	35,0	3,02	36,0	2,96	36,5	2,98
<b>B4</b>	3,51	34,5	3,53	36,0	3,43	37,0	3,49
<b>C4</b>	3,69	35,0	3,71	35,0	3,57	37,5	3,66
<b>D4</b>	3,60	35,0	3,61	35,0	3,48	37,5	3,56
<b>E4</b>	2,80	35,0	2,82	35,0	2,79	37,0	2,80
<b>A5</b>	2,02	35,0	2,00	34,0	1,98	37,0	2,00
<b>B5</b>	2,45	35,0	2,44	33,5	2,37	37,0	2,42
<b>C5</b>	2,52	34,5	2,52	33,5	2,41	37,0	2,48
<b>D5</b>	2,40	34,5	2,38	33,0	2,33	36,5	2,37
<b>E5</b>	1,97	35,0	1,96	32,0	1,91	37,0	1,95

**TABELA A.21** - Intensidades pontuais de radiação ultravioleta obtidas nos 25 pontos do reator I com radiômetro para as lâmpadas 2, 3 e 4 ligadas.

Pontos	ENSAIO 1		ENSAIO 2		ENSAIO 3		
	$T_{\text{ambiente}} = 25,0^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{ambiente}} = 24,0^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{ambiente}} = 26,5^{\circ}\text{C}$		
	$T_{\text{lâmpada}} = 56,5^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{lâmpada}} = 55,5^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{lâmpada}} = 56,5^{\circ}\text{C}$		
	$I_p(\text{mW}/\text{cm}^2)$	$T_{\text{sup}}(^{\circ}\text{C})$	$I_p(\text{mW}/\text{cm}^2)$	$T_{\text{sup}}(^{\circ}\text{C})$	$I_p(\text{mW}/\text{cm}^2)$	$T_{\text{sup}}(^{\circ}\text{C})$	$I_{\text{pm}}(\text{mW}/\text{cm}^2)$
A1	2,20	30,0	2,18	35,5	2,18	35,5	2,19
B1	2,69	31,0	2,70	35,5	2,75	35,5	2,71
C1	2,80	33,0	2,78	34,5	2,80	36,0	2,79
D1	2,19	33,0	2,18	34,5	2,19	35,5	2,19
E1	1,52	33,5	1,50	34,5	1,50	35,0	1,51
A2	3,26	33,5	3,20	35,0	3,15	35,0	3,20
B2	4,18	35,0	4,22	35,0	4,18	35,5	4,19
C2	4,23	36,5	4,17	35,0	4,23	36,0	4,21
D2	3,36	36,0	3,26	34,5	3,28	35,5	3,30
E2	2,09	35,5	2,00	35,0	2,03	35,5	2,04
A3	3,40	36,0	3,60	36,0	3,42	35,0	3,47
B3	4,67	36,0	4,77	35,5	4,67	33,0	4,70
C3	4,71	37,0	4,72	36,0	4,70	30,0	4,71
D3	3,65	37,5	3,55	35,5	3,62	32,0	3,61
E3	2,24	37,0	2,08	35,0	2,22	34,0	2,18
A4	3,34	38,0	3,36	35,5	3,29	35,5	3,33
B4	4,33	35,5	4,35	36,0	4,26	35,0	4,31
C4	4,30	36,0	4,32	35,5	4,21	35,5	4,28
D4	3,20	36,0	3,29	34,5	3,23	35,5	3,24
E4	1,88	36,0	1,98	34,0	1,89	35,0	1,92
A5	2,34	35,0	2,36	33,0	2,32	35,5	2,34
B5	2,83	35,0	2,91	33,0	2,85	36,0	2,86
C5	2,78	35,0	2,85	32,0	2,82	35,0	2,82
D5	2,19	35,5	2,16	31,0	2,21	35,0	2,19
E5	1,46	35,0	1,36	30,0	1,40	35,0	1,41



**TABELA A.22** - Intensidades pontuais de radiação ultravioleta obtidas nos 25 pontos do reator I com radiômetro para as lâmpadas 2, 3 e 5 ligadas.

	<b>ENSAIO 1</b>		<b>ENSAIO 2</b>		<b>ENSAIO 3</b>		
	$T_{\text{ambiente}} = 27,0^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{ambiente}} = 25,5^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{ambiente}} = 24,5^{\circ}\text{C}$		
	$T_{\text{lâmpada}} = 56,0^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{lâmpada}} = 54,0^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{lâmpada}} = 53,0^{\circ}\text{C}$		
<b>Pontos</b>	$I_p(\text{mW}/\text{cm}^2)$	$T_{\text{sup}}(^{\circ}\text{C})$	$I_p(\text{mW}/\text{cm}^2)$	$T_{\text{sup}}(^{\circ}\text{C})$	$I_p(\text{mW}/\text{cm}^2)$	$T_{\text{sup}}(^{\circ}\text{C})$	$I_{\text{pm}}(\text{mW}/\text{cm}^2)$
<b>A1</b>	2,00	37,0	2,00	34,0	2,04	36,0	2,01
<b>B1</b>	2,45	36,0	2,51	34,0	2,48	35,0	2,48
<b>C1</b>	2,67	36,0	2,67	34,5	2,69	35,0	2,68
<b>D1</b>	2,35	36,0	2,34	34,0	2,42	35,0	2,38
<b>E1</b>	1,82	36,0	1,80	32,0	1,78	35,5	1,80
<b>A2</b>	2,87	37,0	2,94	36,0	3,01	34,5	2,94
<b>B2</b>	3,75	37,0	3,83	36,0	3,85	35,0	3,81
<b>C2</b>	3,97	37,0	4,05	36,0	4,10	34,0	4,04
<b>D2</b>	3,49	36,5	3,50	35,0	3,57	34,5	3,52
<b>E2</b>	2,62	36,5	2,59	35,0	2,60	35,0	2,60
<b>A3</b>	3,28	37,5	3,18	37,5	3,35	34,5	3,27
<b>B3</b>	4,28	37,5	4,14	36,5	4,34	34,0	4,25
<b>C3</b>	4,47	37,5	4,40	37,0	4,52	32,0	4,46
<b>D3</b>	3,75	37,5	3,80	36,5	3,96	33,0	3,84
<b>E3</b>	2,61	37,0	2,74	36,0	2,75	35,0	2,70
<b>A4</b>	3,06	35,5	3,00	36,0	2,93	36,0	3,00
<b>B4</b>	3,94	37,0	3,86	36,0	3,82	35,5	3,87
<b>C4</b>	4,05	36,5	3,97	36,0	3,99	35,0	4,00
<b>D4</b>	3,51	37,0	3,40	36,0	3,49	34,5	3,47
<b>E4</b>	2,44	37,0	2,42	36,0	2,47	35,0	2,44
<b>A5</b>	2,18	32,5	2,11	36,5	2,08	35,0	2,12
<b>B5</b>	2,59	33,0	2,61	36,0	2,61	35,0	2,60
<b>C5</b>	2,67	35,0	2,70	35,5	2,70	36,0	2,69
<b>D5</b>	2,30	35,5	2,29	36,0	2,35	36,0	2,31
<b>E5</b>	1,78	35,0	1,68	36,0	1,76	36,0	1,74

**TABELA A.23** - Intensidades pontuais de radiação ultravioleta obtidas nos 25 pontos do reator I com radiômetro para as lâmpadas 1, 2, 3 e 4 ligadas.

	<b>ENSAIO 1</b>		<b>ENSAIO 2</b>		<b>ENSAIO 3</b>		
	$T_{\text{ambiente}} = 29,0^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{ambiente}} = 28,0^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{ambiente}} = 31,0^{\circ}\text{C}$		
	$T_{\text{lâmpada}} = 62,0^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{lâmpada}} = 61,0^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{lâmpada}} = 63,5^{\circ}\text{C}$		
	$I_p(\text{mW}/\text{cm}^2)$	$T_{\text{sup}}(^{\circ}\text{C})$	$I_p(\text{mW}/\text{cm}^2)$	$T_{\text{sup}}(^{\circ}\text{C})$	$I_p(\text{mW}/\text{cm}^2)$	$T_{\text{sup}}(^{\circ}\text{C})$	$I_{\text{pm}}(\text{mW}/\text{cm}^2)$
<b>Pontos</b>							
<b>A1</b>	3,27	42,5	3,28	40,0	3,25	42,5	3,27
<b>B1</b>	3,50	42,5	3,61	40,5	3,48	43,0	3,53
<b>C1</b>	3,02	42,5	3,17	40,0	3,08	45,0	3,09
<b>D1</b>	2,26	42,5	2,32	39,5	2,28	43,0	2,29
<b>E1</b>	1,55	42,0	1,61	40,0	1,57	43,0	1,58
<b>A2</b>	4,88	43,5	4,76	42,0	4,71	43,0	4,78
<b>B2</b>	5,29	42,0	5,27	42,0	5,23	42,0	5,26
<b>C2</b>	4,59	42,5	4,62	42,0	4,56	42,5	4,59
<b>D2</b>	3,26	42,5	3,40	42,5	3,28	42,0	3,31
<b>E2</b>	2,02	42,0	2,09	41,0	2,05	41,5	2,05
<b>A3</b>	5,24	43,5	5,04	44,0	5,27	41,5	5,18
<b>B3</b>	5,76	44,0	5,75	44,0	5,88	40,0	5,80
<b>C3</b>	4,98	42,5	5,04	42,0	5,13	38,5	5,05
<b>D3</b>	3,60	41,5	3,69	43,0	3,80	38,5	3,70
<b>E3</b>	2,14	41,5	2,22	42,0	2,19	39,5	2,18
<b>A4</b>	5,01	41,0	4,62	42,0	4,74	41,5	4,79
<b>B4</b>	5,31	41,0	5,19	41,0	5,21	42,5	5,24
<b>C4</b>	4,61	40,0	4,57	41,0	4,59	41,0	4,59
<b>D4</b>	3,28	41,5	3,19	41,0	3,29	42,0	3,25
<b>E4</b>	2,00	41,5	1,96	40,0	2,03	41,5	2,00
<b>A5</b>	3,23	36,0	3,27	41,0	3,28	41,5	3,26
<b>B5</b>	3,70	37,5	3,61	41,0	3,63	40,5	3,65
<b>C5</b>	3,20	36,5	3,15	41,0	3,25	40,0	3,20
<b>D5</b>	2,36	37,5	2,31	40,0	2,38	40,0	2,35
<b>E5</b>	1,55	37,5	1,39	41,0	1,57	41,0	1,50

**TABELA A.24** - Intensidades pontuais de radiação ultravioleta obtidas nos 25 pontos do reator I com radiômetro para as lâmpadas 1, 2, 3 e 5 ligadas.

	ENSAIO 1		ENSAIO 2		ENSAIO 3		
	$T_{\text{ambiente}} = 24,0^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{ambiente}} = 25,0^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{ambiente}} = 25,0^{\circ}\text{C}$		
	$T_{\text{lâmpada}} = 57,5^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{lâmpada}} = 59,0^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{lâmpada}} = 58,0^{\circ}\text{C}$		
Pontos	$I_p(\text{mW}/\text{cm}^2)$	$T_{\text{sup}}(^{\circ}\text{C})$	$I_p(\text{mW}/\text{cm}^2)$	$T_{\text{sup}}(^{\circ}\text{C})$	$I_p(\text{mW}/\text{cm}^2)$	$T_{\text{sup}}(^{\circ}\text{C})$	$I_{\text{pm}}(\text{mW}/\text{cm}^2)$
A1	2,98	35,0	3,09	39,0	2,96	39,0	3,01
B1	3,29	37,0	3,35	39,0	3,32	38,5	3,32
C1	3,10	38,0	3,05	39,0	3,07	38,0	3,07
D1	2,55	38,0	2,47	38,0	2,42	38,0	2,48
E1	1,90	37,5	1,84	39,0	1,92	38,0	1,89
A2	4,51	39,0	4,52	40,0	4,44	38,0	4,49
B2	4,99	39,5	4,96	40,0	5,07	38,0	5,01
C2	4,59	40,0	4,55	39,0	4,55	39,0	4,56
D2	3,69	39,0	3,66	38,0	3,66	38,5	3,67
E2	2,66	39,0	2,56	39,0	2,60	38,0	2,61
A3	4,86	40,0	5,02	41,0	5,09	38,0	4,99
B3	5,50	40,0	5,50	40,5	5,47	36,0	5,49
C3	5,02	40,0	4,93	40,5	4,93	34,0	4,96
D3	4,02	40,0	3,89	39,5	3,98	37,0	3,96
E3	2,89	40,0	2,72	39,0	2,77	37,5	2,79
A4	4,71	39,0	4,56	40,0	4,59	38,0	4,62
B4	5,08	39,0	4,96	40,0	5,02	38,0	5,02
C4	4,48	39,0	4,48	40,0	4,48	38,5	4,48
D4	3,60	38,5	3,51	39,0	3,57	38,5	3,56
E4	2,53	39,0	2,50	39,0	2,52	39,0	2,52
A5	3,14	38,0	3,17	38,0	3,10	38,0	3,14
B5	3,39	37,0	3,35	37,0	3,34	38,0	3,36
C5	3,04	37,0	2,92	37,0	3,04	37,0	3,00
D5	2,41	38,0	2,32	37,0	2,40	37,0	2,38
E5	1,78	38,5	1,75	35,0	1,79	37,5	1,77

**TABELA A.25** - Intensidades pontuais de radiação ultravioleta obtidas nos 25 pontos do reator I com radiômetro para as lâmpadas 1, 2, 3 e 6 ligadas.

	<b>ENSAIO 1</b>		<b>ENSAIO 2</b>		<b>ENSAIO 3</b>		
	$T_{\text{ambiente}} = 26,0^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{ambiente}} = 24,0^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{ambiente}} = 28,5^{\circ}\text{C}$		
	$T_{\text{lâmpada}} = 58,0^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{lâmpada}} = 57,0^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{lâmpada}} = 60,0^{\circ}\text{C}$		
<b>Pontos</b>	$I_p(\text{mW}/\text{cm}^2)$	$T_{\text{sup}}(^{\circ}\text{C})$	$I_p(\text{mW}/\text{cm}^2)$	$T_{\text{sup}}(^{\circ}\text{C})$	$I_p(\text{mW}/\text{cm}^2)$	$T_{\text{sup}}(^{\circ}\text{C})$	$I_{\text{pm}}(\text{mW}/\text{cm}^2)$
<b>A1</b>	2,98	34,0	3,13	37,0	2,84	40,5	2,98
<b>B1</b>	3,20	35,5	3,35	37,0	3,04	41,0	3,20
<b>C1</b>	2,94	35,0	3,05	37,0	2,79	40,5	2,93
<b>D1</b>	2,57	36,0	2,70	37,0	2,49	40,5	2,59
<b>E1</b>	2,09	36,0	2,24	37,0	2,10	40,0	2,14
<b>A2</b>	4,50	37,0	4,66	38,0	4,30	41,0	4,49
<b>B2</b>	4,84	38,5	5,15	38,0	4,71	40,0	4,90
<b>C2</b>	4,34	38,0	4,55	38,0	4,16	40,5	4,35
<b>D2</b>	3,80	38,0	3,99	38,0	3,68	40,5	3,82
<b>E2</b>	3,23	38,0	3,27	38,5	3,03	41,0	3,18
<b>A3</b>	4,82	39,0	5,11	40,5	4,86	40,0	4,93
<b>B3</b>	5,25	39,5	5,58	39,5	5,24	38,0	5,36
<b>C3</b>	4,74	39,5	4,90	39,0	4,68	37,0	4,77
<b>D3</b>	4,19	39,0	4,32	39,0	4,13	38,0	4,21
<b>E3</b>	3,49	39,0	3,54	39,0	3,46	39,0	3,50
<b>A4</b>	4,54	39,0	4,69	39,0	4,36	40,0	4,53
<b>B4</b>	4,77	38,5	5,09	38,0	4,69	40,0	4,85
<b>C4</b>	4,18	38,0	4,55	38,5	4,21	40,5	4,31
<b>D4</b>	3,74	38,0	4,00	38,0	3,71	40,5	3,82
<b>E4</b>	3,14	37,5	3,33	37,0	3,06	41,0	3,18
<b>A5</b>	3,11	37,0	3,10	36,0	2,89	41,0	3,03
<b>B5</b>	3,20	37,0	3,44	35,0	3,11	40,5	3,25
<b>C5</b>	2,93	37,5	3,16	34,5	2,93	40,0	3,01
<b>D5</b>	2,60	37,5	2,81	33,5	2,60	40,0	2,67
<b>E5</b>	2,14	37,0	2,22	32,5	2,03	40,0	2,13

**TABELA A.26** - Intensidades pontuais de radiação ultravioleta obtidas nos 25 pontos do reator I com radiômetro para as lâmpadas 1, 2, 4 e 5 ligadas.

Pontos	ENSAIO 1		ENSAIO 2		ENSAIO 3		$I_{pm}(mW/cm^2)$
	$T_{ambiente} = 28,0^{\circ}C$		$T_{ambiente} = 30,0^{\circ}C$		$T_{ambiente} = 29,0^{\circ}C$		
	$T_{lâmpada} = 58,0^{\circ}C$		$T_{lâmpada} = 61,0^{\circ}C$		$T_{lâmpada} = 60,0^{\circ}C$		
	$I_p(mW/cm^2)$	$T_{sup}(^{\circ}C)$	$I_p(mW/cm^2)$	$T_{sup}(^{\circ}C)$	$I_p(mW/cm^2)$	$T_{sup}(^{\circ}C)$	
A1	2,76	34,0	2,73	43,0	2,75	41,0	2,75
B1	3,18	36,0	3,01	42,5	3,20	41,0	3,13
C1	3,08	37,0	2,93	42,5	3,08	41,0	3,03
D1	2,75	36,5	2,56	42,0	2,65	41,0	2,65
E1	2,20	37,0	2,07	42,0	2,18	41,0	2,15
A2	4,05	38,0	3,94	42,0	4,12	41,5	4,04
B2	4,75	38,0	4,57	42,0	4,79	41,0	4,70
C2	4,58	39,0	4,37	41,0	4,58	41,0	4,51
D2	4,08	39,0	3,88	41,0	4,04	41,5	4,00
E2	3,03	39,0	2,88	40,0	3,03	41,5	2,98
A3	4,53	39,5	4,38	43,0	4,54	41,0	4,48
B3	5,23	40,0	5,04	42,0	5,09	40,0	5,12
C3	5,05	40,0	4,83	42,0	4,92	39,0	4,93
D3	4,40	40,0	4,22	41,5	4,28	39,5	4,30
E3	3,25	40,5	3,08	42,0	3,20	40,0	3,18
A4	4,12	40,5	4,08	41,0	4,22	39,0	4,14
B4	4,67	40,5	4,61	41,0	4,69	39,5	4,66
C4	4,45	40,0	4,39	41,0	4,49	40,0	4,44
D4	3,89	40,0	3,78	41,0	3,83	40,5	3,83
E4	2,86	40,0	2,80	40,0	2,77	41,0	2,81
A5	2,85	40,0	2,74	40,0	2,75	40,0	2,78
B5	3,28	39,0	3,14	39,0	3,25	41,0	3,22
C5	3,12	39,0	3,01	38,5	3,05	40,5	3,06
D5	2,67	39,0	2,54	38,0	2,60	40,0	2,60
E5	2,00	39,0	1,87	38,0	2,03	40,0	1,97

**TABELA A.27** - Intensidades pontuais de radiação ultravioleta obtidas nos 25 pontos do reator I com radiômetro para as lâmpadas 1, 2, 4 e 6 ligadas.

	<b>ENSAIO 1</b>		<b>ENSAIO 2</b>		<b>ENSAIO 3</b>		
	$T_{\text{ambiente}} = 26,0^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{ambiente}} = 25,0^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{ambiente}} = 27,0^{\circ}\text{C}$		
	$T_{\text{lâmpada}} = 56,0^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{lâmpada}} = 55,0^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{lâmpada}} = 58,0^{\circ}\text{C}$		
<b>Pontos</b>	$I_p(\text{mW}/\text{cm}^2)$	$T_{\text{sup}}(^{\circ}\text{C})$	$I_p(\text{mW}/\text{cm}^2)$	$T_{\text{sup}}(^{\circ}\text{C})$	$I_p(\text{mW}/\text{cm}^2)$	$T_{\text{sup}}(^{\circ}\text{C})$	$I_{\text{pm}}(\text{mW}/\text{cm}^2)$
<b>A1</b>	2,86	33,5	3,00	38,0	2,68	40,0	2,85
<b>B1</b>	3,08	34,0	3,16	38,0	3,02	40,0	3,09
<b>C1</b>	3,04	35,5	3,08	37,5	2,90	40,0	3,01
<b>D1</b>	2,96	35,0	2,87	37,0	2,79	39,5	2,87
<b>E1</b>	2,53	36,0	2,51	37,0	2,53	40,0	2,52
<b>A2</b>	4,11	38,0	4,29	37,0	4,01	38,5	4,14
<b>B2</b>	4,69	38,0	4,71	37,0	4,54	39,0	4,65
<b>C2</b>	4,53	38,5	4,53	37,0	4,38	40,0	4,48
<b>D2</b>	4,36	37,5	4,30	37,0	4,19	40,0	4,28
<b>E2</b>	3,76	39,0	3,73	38,0	3,61	41,0	3,70
<b>A3</b>	4,56	39,5	4,66	38,5	4,49	41,0	4,57
<b>B3</b>	5,08	39,0	5,15	39,0	4,95	39,0	5,06
<b>C3</b>	4,88	39,5	4,91	38,0	4,80	37,0	4,86
<b>D3</b>	4,69	39,0	4,73	37,5	4,59	38,0	4,67
<b>E3</b>	4,05	39,0	3,99	38,0	3,86	40,0	3,97
<b>A4</b>	4,22	39,0	4,26	37,0	4,08	41,5	4,19
<b>B4</b>	4,63	39,0	4,68	38,5	4,48	41,5	4,60
<b>C4</b>	4,40	38,0	4,45	38,5	4,26	41,5	4,37
<b>D4</b>	4,21	38,0	4,29	37,0	4,11	41,5	4,20
<b>E4</b>	3,67	39,0	3,78	36,0	3,61	41,0	3,69
<b>A5</b>	2,81	38,5	2,83	35,0	2,78	40,5	2,81
<b>B5</b>	3,16	39,0	3,22	33,5	3,10	40,0	3,16
<b>C5</b>	3,06	38,0	3,11	33,5	3,01	39,5	3,06
<b>D5</b>	2,93	38,5	2,93	32,5	2,84	39,0	2,90
<b>E5</b>	2,52	38,5	2,46	33,0	2,48	39,5	2,49

**TABELA A.28** - Intensidades pontuais de radiação ultravioleta obtidas nos 25 pontos do reator I com radiômetro para as lâmpadas 1, 2, 5 e 6 ligadas.

	<b>ENSAIO 1</b>		<b>ENSAIO 2</b>		<b>ENSAIO 3</b>		
	$T_{\text{ambiente}} = 30,0^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{ambiente}} = 29,0^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{ambiente}} = 28,0^{\circ}\text{C}$		
	$T_{\text{lâmpada}} = 60,0^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{lâmpada}} = 59,0^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{lâmpada}} = 58,0^{\circ}\text{C}$		
<b>Pontos</b>	$I_p(\text{mW}/\text{cm}^2)$	$T_{\text{sup}}(^{\circ}\text{C})$	$I_p(\text{mW}/\text{cm}^2)$	$T_{\text{sup}}(^{\circ}\text{C})$	$I_p(\text{mW}/\text{cm}^2)$	$T_{\text{sup}}(^{\circ}\text{C})$	$I_{\text{pm}}(\text{mW}/\text{cm}^2)$
<b>A1</b>	2,52	35,5	2,63	36,0	2,49	40,5	2,55
<b>B1</b>	2,83	36,5	2,89	38,0	2,82	40,5	2,85
<b>C1</b>	2,90	37,0	2,89	39,0	2,86	40,0	2,88
<b>D1</b>	2,96	38,0	2,89	40,0	2,93	41,5	2,93
<b>E1</b>	2,62	38,5	2,67	40,0	2,63	40,5	2,64
<b>A2</b>	3,88	39,5	3,87	40,0	3,83	38,5	3,86
<b>B2</b>	4,15	41,0	4,20	39,5	4,20	38,5	4,18
<b>C2</b>	4,00	41,5	4,10	40,0	4,10	38,5	4,07
<b>D2</b>	4,20	41,5	4,33	39,0	4,35	38,5	4,29
<b>E2</b>	4,00	42,0	4,00	40,0	4,10	39,0	4,03
<b>A3</b>	4,10	42,5	4,20	41,5	4,14	38,0	4,15
<b>B3</b>	4,42	42,0	4,55	41,0	4,53	36,0	4,50
<b>C3</b>	4,34	42,0	4,45	41,5	4,39	34,0	4,39
<b>D3</b>	4,58	42,5	4,69	41,5	4,74	35,5	4,67
<b>E3</b>	4,28	42,5	4,40	41,5	4,51	37,0	4,40
<b>A4</b>	3,80	42,0	3,95	40,0	3,97	38,5	3,91
<b>B4</b>	4,03	41,0	4,17	40,0	4,21	38,5	4,14
<b>C4</b>	3,96	41,0	4,08	39,5	4,09	38,5	4,04
<b>D4</b>	4,24	41,0	4,34	39,0	4,30	39,0	4,29
<b>E4</b>	3,89	41,5	4,09	39,5	3,90	40,0	3,96
<b>A5</b>	2,52	41,5	2,58	38,0	2,53	39,5	2,54
<b>B5</b>	2,83	41,0	2,90	37,5	2,82	39,5	2,85
<b>C5</b>	2,80	41,0	2,90	37,0	2,77	39,5	2,82
<b>D5</b>	2,91	40,5	2,94	37,0	2,87	40,0	2,91
<b>E5</b>	2,63	41,0	2,60	36,0	2,55	40,5	2,59

**TABELA A.29** - Intensidades pontuais de radiação ultravioleta obtidas nos 25 pontos do reator I com radiômetro para as lâmpadas 1, 3, 4 e 5 ligadas.

Pontos	ENSAIO 1		ENSAIO 2		ENSAIO 3		$I_{pm}(mW/cm^2)$
	$T_{ambiente} = 27,5^{\circ}C$		$T_{ambiente} = 29,0^{\circ}C$		$T_{ambiente} = 26,0^{\circ}C$		
	$T_{lâmpada} = 59,0^{\circ}C$		$T_{lâmpada} = 61,0^{\circ}C$		$T_{lâmpada} = 57,0^{\circ}C$		
	$I_p(mW/cm^2)$	$T_{sup}(^{\circ}C)$	$I_p(mW/cm^2)$	$T_{sup}(^{\circ}C)$	$I_p(mW/cm^2)$	$T_{sup}(^{\circ}C)$	
A1	2,64	39,0	2,52	35,0	2,63	38,5	2,60
B1	3,14	39,0	3,06	36,0	3,20	38,0	3,13
C1	3,24	39,0	3,16	37,5	3,27	38,5	3,22
D1	2,93	40,0	2,88	38,0	2,98	38,5	2,93
E1	2,35	39,5	2,28	39,0	2,44	38,0	2,36
A2	3,63	40,0	3,58	40,0	3,77	38,5	3,66
B2	4,57	39,5	4,41	41,0	4,71	38,0	4,56
C2	4,83	39,0	4,70	41,0	4,90	39,0	4,81
D2	4,45	38,5	4,28	41,0	4,44	38,5	4,39
E2	3,18	39,0	3,20	41,0	3,30	38,0	3,23
A3	3,97	40,5	3,87	41,5	4,10	37,5	3,98
B3	5,01	40,5	4,84	42,0	5,00	36,0	4,95
C3	5,20	40,0	5,07	42,0	5,14	35,0	5,14
D3	4,70	40,0	4,65	42,5	4,73	36,5	4,69
E3	3,35	39,5	3,47	42,5	3,48	38,0	3,43
A4	3,72	40,0	3,64	42,0	3,81	39,0	3,72
B4	4,61	39,5	4,44	42,0	4,63	39,0	4,56
C4	4,80	38,0	4,61	42,0	4,84	39,0	4,75
D4	4,35	38,0	4,14	41,0	4,38	39,0	4,29
E4	3,15	37,0	3,07	41,0	3,24	39,0	3,15
A5	2,57	36,5	2,56	40,5	2,68	38,0	2,60
B5	3,21	36,0	3,07	40,0	3,17	38,0	3,15
C5	3,24	35,0	3,11	41,0	3,20	38,0	3,18
D5	2,89	34,0	2,78	41,0	2,87	38,5	2,85
E5	2,21	33,0	2,20	41,5	2,30	39,0	2,24



**TABELA A.30** - Intensidades pontuais de radiação ultravioleta obtidas nos 25 pontos do reator I com radiômetro para as lâmpadas 1, 3, 4 e 6 ligadas.

Pontos	ENSAIO 1		ENSAIO 2		ENSAIO 3		
	$T_{\text{ambiente}} = 31,0^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{ambiente}} = 26,5^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{ambiente}} = 24,5^{\circ}\text{C}$		
	$T_{\text{lâmpada}} = 62,0^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{lâmpada}} = 60,0^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{lâmpada}} = 59,0^{\circ}\text{C}$		
	$I_p(\text{mW}/\text{cm}^2)$	$T_{\text{sup}}(^{\circ}\text{C})$	$I_p(\text{mW}/\text{cm}^2)$	$T_{\text{sup}}(^{\circ}\text{C})$	$I_p(\text{mW}/\text{cm}^2)$	$T_{\text{sup}}(^{\circ}\text{C})$	$I_{\text{pm}}(\text{mW}/\text{cm}^2)$
A1	2,41	39,0	2,60	39,0	2,58	38,5	2,53
B1	2,87	40,0	3,04	39,0	3,06	38,0	2,99
C1	2,90	39,5	3,03	39,0	3,13	38,0	3,02
D1	2,99	40,0	3,02	39,0	3,15	38,0	3,05
E1	2,50	41,0	2,56	39,0	2,68	38,0	2,58
A2	3,50	42,0	3,57	40,0	3,67	39,0	3,58
B2	4,24	43,0	4,34	40,0	4,59	39,0	4,39
C2	4,42	43,0	4,52	40,0	4,71	39,0	4,55
D2	4,45	43,0	4,60	39,5	4,71	38,0	4,59
E2	3,68	43,0	3,80	40,0	3,97	39,0	3,82
A3	3,75	43,0	3,96	41,0	4,15	39,0	3,95
B3	4,65	43,0	4,90	40,5	4,99	38,0	4,85
C3	4,80	43,0	5,10	40,0	5,22	36,0	5,04
D3	4,81	43,5	5,02	41,0	5,11	36,5	4,98
E3	4,00	43,5	4,17	40,0	4,25	38,0	4,14
A4	3,40	42,5	3,66	39,5	3,71	39,0	3,59
B4	4,13	42,0	4,44	40,0	4,46	39,0	4,34
C4	4,31	42,0	4,59	40,0	4,62	38,5	4,51
D4	4,32	41,5	4,59	39,5	4,64	39,0	4,52
E4	3,66	42,5	3,84	39,0	3,87	40,0	3,79
A5	2,38	42,5	2,51	38,0	2,64	38,0	2,51
B5	2,87	42,5	3,02	37,5	3,14	38,0	3,01
C5	3,02	42,0	3,11	37,0	3,25	37,5	3,13
D5	2,99	42,0	3,10	35,5	3,23	38,0	3,11
E5	2,49	42,0	2,53	34,5	2,80	38,0	2,61

**TABELA A.31** - Intensidades pontuais de radiação ultravioleta obtidas nos 25 pontos do reator I com radiômetro para as lâmpadas 2, 3, 4 e 5 ligadas.

	<b>ENSAIO 1</b>		<b>ENSAIO 2</b>		<b>ENSAIO 3</b>		
	$T_{\text{ambiente}} = 29,5^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{ambiente}} = 29,0^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{ambiente}} = 24,0^{\circ}\text{C}$		
	$T_{\text{lâmpada}} = 62,0^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{lâmpada}} = 60,0^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{lâmpada}} = 58,0^{\circ}\text{C}$		
<b>Pontos</b>	$I_p(\text{mW}/\text{cm}^2)$	$T_{\text{sup}}(^{\circ}\text{C})$	$I_p(\text{mW}/\text{cm}^2)$	$T_{\text{sup}}(^{\circ}\text{C})$	$I_p(\text{mW}/\text{cm}^2)$	$T_{\text{sup}}(^{\circ}\text{C})$	$I_{\text{pm}}(\text{mW}/\text{cm}^2)$
<b>A1</b>	2,23	37,0	2,20	41,0	2,33	38,0	2,25
<b>B1</b>	2,90	38,0	2,90	41,0	3,12	37,5	2,97
<b>C1</b>	3,28	38,0	3,27	41,0	3,59	37,0	3,38
<b>D1</b>	3,00	38,0	2,95	41,0	3,23	37,0	3,06
<b>E1</b>	2,36	39,0	2,34	41,0	2,54	37,0	2,41
<b>A2</b>	3,14	40,0	3,20	41,0	3,34	37,5	3,23
<b>B2</b>	4,50	41,0	4,40	41,0	4,57	38,5	4,49
<b>C2</b>	5,00	41,0	4,95	41,0	5,15	38,5	5,03
<b>D2</b>	4,51	41,0	4,50	41,0	4,72	38,5	4,58
<b>E2</b>	3,29	41,0	3,24	41,0	3,39	38,5	3,31
<b>A3</b>	3,47	42,0	3,50	41,5	3,61	37,0	3,53
<b>B3</b>	4,78	42,0	4,86	42,0	4,98	37,0	4,87
<b>C3</b>	5,33	42,0	5,40	41,5	5,55	33,0	5,43
<b>D3</b>	4,79	42,0	4,80	41,0	5,13	35,5	4,91
<b>E3</b>	3,45	43,0	3,42	41,5	3,71	37,0	3,53
<b>A4</b>	3,20	42,0	3,32	40,5	3,43	38,0	3,32
<b>B4</b>	4,48	42,0	4,50	41,0	4,65	39,0	4,54
<b>C4</b>	4,92	41,5	4,97	41,5	5,14	39,0	5,01
<b>D4</b>	4,47	41,5	4,44	41,5	4,62	39,0	4,51
<b>E4</b>	3,16	41,5	3,20	41,5	3,33	38,5	3,23
<b>A5</b>	2,26	41,0	2,37	39,0	2,50	38,5	2,38
<b>B5</b>	2,98	41,0	3,03	38,5	3,17	38,0	3,06
<b>C5</b>	3,23	41,0	3,30	38,5	3,47	38,0	3,33
<b>D5</b>	2,88	41,0	2,88	38,0	3,08	38,0	2,95
<b>E5</b>	2,21	41,0	2,28	37,5	2,36	38,0	2,28

**TABELA A.32** - Intensidades pontuais de radiação ultravioleta obtidas nos 25 pontos do reator I com radiômetro para as lâmpadas 1, 2, 3, 4 e 5 ligadas.

Pontos	ENSAIO 1		ENSAIO 2		ENSAIO 3		
	$T_{\text{ambiente}} = 28,0^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{ambiente}} = 24,0^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{ambiente}} = 24,0^{\circ}\text{C}$		
	$T_{\text{lâmpada}} = 67,0^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{lâmpada}} = 63,0^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{lâmpada}} = 63,0^{\circ}\text{C}$		
	$I_p(\text{mW}/\text{cm}^2)$	$T_{\text{sup}}(^{\circ}\text{C})$	$I_p(\text{mW}/\text{cm}^2)$	$T_{\text{sup}}(^{\circ}\text{C})$	$I_p(\text{mW}/\text{cm}^2)$	$T_{\text{sup}}(^{\circ}\text{C})$	$I_{\text{pm}}(\text{mW}/\text{cm}^2)$
A1	3,34	42,5	3,80	33,0	3,38	38,0	3,51
B1	3,86	42,0	4,25	32,5	3,94	37,0	3,84
C1	3,78	41,5	4,11	34,0	3,88	37,0	3,92
D1	3,19	41,5	3,49	35,0	3,22	37,5	3,30
E1	2,49	42,0	2,79	35,5	2,41	38,0	2,56
A2	5,09	41,5	5,26	37,5	4,94	40,5	5,10
B2	5,92	42,5	6,20	38,0	5,89	40,0	6,00
C2	5,65	43,0	5,90	39,0	5,81	41,0	5,79
D2	4,68	42,5	4,95	39,0	4,86	40,0	4,83
E2	3,44	42,0	3,58	39,5	3,47	39,5	3,50
A3	5,29	42,5	5,48	41,5	5,34	41,5	5,37
B3	6,26	42,5	6,40	42,0	6,37	39,0	6,34
C3	6,10	42,0	6,16	42,0	6,24	36,0	6,17
D3	4,97	43,0	5,10	42,5	5,13	39,0	5,07
E3	3,47	43,0	3,70	41,5	3,66	38,0	3,61
A4	5,03	40,0	5,02	38,0	4,88	39,5	4,98
B4	5,81	40,0	5,96	38,0	5,89	40,0	5,89
C4	5,63	40,0	5,65	38,0	5,63	39,0	5,64
D4	4,71	40,0	4,70	39,0	4,64	40,5	4,68
E4	3,34	40,5	3,44	39,0	3,29	40,5	3,36
A5	3,36	36,5	3,61	38,0	3,32	38,0	3,43
B5	3,97	37,0	4,17	37,5	3,99	37,0	4,04
C5	3,91	37,5	4,03	37,0	3,80	37,0	3,91
D5	3,26	37,5	3,34	38,0	3,11	37,0	3,24
E5	2,44	38,0	2,54	37,5	2,35	36,0	2,44

**TABELA A.33** - Intensidades pontuais de radiação ultravioleta obtidas nos 25 pontos do reator I com radiômetro para as lâmpadas 1, 2, 3, 4 e 6 ligadas.

Pontos	ENSAIO 1		ENSAIO 2		ENSAIO 3		
	$T_{\text{ambiente}} = 23,5^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{ambiente}} = 29,0^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{ambiente}} = 24,0^{\circ}\text{C}$		
	$T_{\text{lâmpada}} = 61,0^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{lâmpada}} = 64,0^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{lâmpada}} = 61,5^{\circ}\text{C}$		
	$I_p(\text{mW}/\text{cm}^2)$	$T_{\text{sup}}(^{\circ}\text{C})$	$I_p(\text{mW}/\text{cm}^2)$	$T_{\text{sup}}(^{\circ}\text{C})$	$I_p(\text{mW}/\text{cm}^2)$	$T_{\text{sup}}(^{\circ}\text{C})$	$I_{\text{pm}}(\text{mW}/\text{cm}^2)$
A1	3,30	36,0	3,23	41,0	3,33	38,0	3,29
B1	3,80	36,5	3,67	41,0	3,87	38,0	3,78
C1	3,73	37,0	3,58	41,0	3,79	37,0	3,70
D1	3,37	38,0	3,25	41,0	3,48	38,0	3,37
E1	2,71	38,0	2,65	41,0	2,70	38,0	2,69
A2	4,88	40,0	4,70	42,0	4,88	40,0	4,82
B2	5,62	39,5	5,47	41,5	5,64	39,5	5,58
C2	5,54	40,0	5,30	41,5	5,56	39,0	5,47
D2	5,00	40,5	4,83	41,0	5,07	38,5	4,97
E2	4,01	41,0	3,97	42,0	4,04	39,0	4,01
A3	5,21	41,5	5,12	44,5	5,21	38,5	5,18
B3	6,06	41,5	5,97	44,0	6,10	37,5	6,04
C3	6,00	41,0	5,89	44,0	5,96	35,0	5,95
D3	5,49	41,0	5,32	43,5	5,43	37,0	5,41
E3	4,41	41,5	4,30	43,0	4,33	37,5	4,35
A4	4,93	40,0	4,79	42,5	4,84	38,5	4,85
B4	5,60	39,0	5,55	41,5	5,63	39,0	5,59
C4	5,42	40,0	5,37	41,0	5,50	39,0	5,43
D4	4,90	39,5	4,90	41,0	4,99	39,5	4,93
E4	3,92	40,5	3,93	41,0	4,01	39,0	3,95
A5	3,41	39,0	3,37	40,0	3,36	38,0	3,38
B5	3,84	38,0	3,79	38,5	3,84	38,0	3,82
C5	3,73	38,5	3,63	38,0	3,70	37,5	3,69
D5	3,41	39,0	3,30	38,0	3,30	38,0	3,34
E5	2,79	39,0	2,69	37,0	2,70	37,5	2,73

**TABELA A.34** - Intensidades pontuais de radiação ultravioleta obtidas nos 25 pontos do reator I com radiômetro para as lâmpadas 1, 2, 3, 5 e 6 ligadas.

	<b>ENSAIO 1</b>		<b>ENSAIO 2</b>		<b>ENSAIO 3</b>		
	$T_{\text{ambiente}} = 23,0^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{ambiente}} = 23,5^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{ambiente}} = 27,0^{\circ}\text{C}$		
	$T_{\text{lâmpada}} = 60,0^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{lâmpada}} = 61,5^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{lâmpada}} = 63,0^{\circ}\text{C}$		
<b>Pontos</b>	$I_p(\text{mW}/\text{cm}^2)$	$T_{\text{sup}}(^{\circ}\text{C})$	$I_p(\text{mW}/\text{cm}^2)$	$T_{\text{sup}}(^{\circ}\text{C})$	$I_p(\text{mW}/\text{cm}^2)$	$T_{\text{sup}}(^{\circ}\text{C})$	$I_{\text{pm}}(\text{mW}/\text{cm}^2)$
<b>A1</b>	3,23	36,0	3,10	38,0	3,05	40,5	3,13
<b>B1</b>	3,63	36,0	3,55	38,0	3,45	40,5	3,54
<b>C1</b>	3,74	35,5	3,61	38,0	3,51	40,0	3,62
<b>D1</b>	3,59	36,0	3,46	38,0	3,40	40,0	3,48
<b>E1</b>	3,09	37,0	3,02	38,0	2,90	40,0	3,00
<b>A2</b>	4,64	39,0	4,64	39,0	4,50	41,5	4,59
<b>B2</b>	5,35	39,0	5,25	38,0	5,14	40,0	5,25
<b>C2</b>	5,36	40,0	5,28	38,0	5,16	40,0	5,27
<b>D2</b>	5,17	40,0	5,17	38,0	5,00	40,0	5,11
<b>E2</b>	4,51	40,0	4,54	39,0	4,31	40,0	4,45
<b>A3</b>	5,00	41,0	5,08	40,0	5,07	40,5	5,05
<b>B3</b>	5,71	41,0	5,87	41,0	5,73	39,0	5,77
<b>C3</b>	5,75	40,5	5,85	41,0	5,75	37,0	5,78
<b>D3</b>	5,66	40,5	5,70	40,0	5,57	38,0	5,64
<b>E3</b>	4,95	41,0	4,85	40,0	4,71	40,0	4,84
<b>A4</b>	4,67	40,0	4,62	41,0	4,52	40,0	4,60
<b>B4</b>	5,22	40,0	5,23	41,0	5,27	41,0	5,24
<b>C4</b>	5,21	39,5	5,20	41,0	5,24	40,5	5,22
<b>D4</b>	5,10	40,5	5,15	39,0	5,06	40,0	5,10
<b>E4</b>	4,44	40,0	4,40	38,0	4,33	41,0	4,39
<b>A5</b>	3,25	39,0	3,30	37,0	3,15	40,5	3,23
<b>B5</b>	3,60	38,5	3,65	36,5	3,51	40,0	3,59
<b>C5</b>	3,64	38,5	3,64	36,5	3,55	40,0	3,61
<b>D5</b>	3,47	38,5	3,46	36,5	3,40	41,0	3,44
<b>E5</b>	2,97	38,0	2,90	36,0	2,93	41,0	2,93

**TABELA A.35** - Intensidades pontuais de radiação ultravioleta obtidas nos 25 pontos do reator I com radiômetro para as lâmpadas 1, 2, 3, 4, 5 e 6 ligadas.

Pontos	ENSAIO 1		ENSAIO 2		ENSAIO 3		
	$T_{\text{ambiente}} = 22,5^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{ambiente}} = 22,5^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{ambiente}} = 25,0^{\circ}\text{C}$		
	$T_{\text{lâmpada}} = 65,0^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{lâmpada}} = 63,0^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{lâmpada}} = 66,0^{\circ}\text{C}$		
	$I_p(\text{mW}/\text{cm}^2)$	$T_{\text{sup}}(^{\circ}\text{C})$	$I_p(\text{mW}/\text{cm}^2)$	$T_{\text{sup}}(^{\circ}\text{C})$	$I_p(\text{mW}/\text{cm}^2)$	$T_{\text{sup}}(^{\circ}\text{C})$	$I_{\text{pm}}(\text{mW}/\text{cm}^2)$
A1	3,65	41,5	3,75	43,5	3,51	45,0	3,64
B1	4,35	39,5	4,60	42,0	4,08	44,0	4,34
C1	4,61	38,5	4,80	41,0	4,30	44,0	4,57
D1	4,39	37,5	4,54	41,0	4,25	45,5	4,39
E1	3,76	35,0	3,86	43,0	3,58	46,0	3,73
A2	5,24	44,0	5,30	43,0	5,10	41,0	5,21
B2	6,30	44,0	6,39	42,5	6,30	42,0	6,33
C2	6,64	42,5	6,71	43,5	6,50	45,0	6,62
D2	6,35	43,0	6,52	42,5	6,36	44,0	6,41
E2	5,43	42,5	5,58	44,0	5,30	45,0	5,44
A3	5,82	44,5	5,85	42,0	5,78	45,0	5,82
B3	7,00	45,0	7,01	44,0	6,98	44,0	7,00
C3	7,42	44,0	7,54	44,0	7,48	40,5	7,48
D3	7,21	42,0	7,15	45,5	7,23	41,0	7,20
E3	5,83	44,0	5,84	46,0	5,71	44,0	5,79
A4	5,41	45,0	5,58	45,0	5,40	45,0	5,46
B4	6,48	45,0	6,53	44,5	6,35	45,0	6,45
C4	6,73	43,5	6,70	44,5	6,55	46,0	6,66
D4	6,49	44,5	6,47	45,5	6,34	47,0	6,43
E4	5,50	44,0	5,33	46,0	5,40	48,5	5,41
A5	3,68	44,0	3,75	36,0	3,54	43,0	3,66
B5	4,38	44,0	4,62	37,5	4,24	43,0	4,41
C5	4,58	44,0	4,81	39,0	4,35	45,0	4,58
D5	4,43	43,0	4,61	39,5	4,25	44,0	4,43
E5	3,82	43,5	3,69	42,0	3,51	45,0	3,67

TABELA A.36 - Parâmetros do modelo quadrático obtidos para 1, 5 e 6 lâmpadas ligadas com o Programa STATISTICA da Statsoft de 1993.

Número de lâmpadas	Lâmpadas ligadas	Modelo: $Z = aX^2 + bY^2 + cXY + dX + eY + f$						$R^2$
		Parâmetros do Modelo ( $\pm$ erro padrão)						
		a	b	c	d	e	f	
1	1	0,000406 ( $\pm 0,000186$ )	-0,00144 ( $\pm 0,00017$ )	nulo	-0,0548 ( $\pm 0,0019$ )	0,002842 ( $\pm 0,001854$ )	1,28872 ( $\pm 0,04686$ )	0,92662
	2	-0,00104 ( $\pm 0,00015$ )	-0,0017 ( $\pm 0,0001$ )	nulo	-0,0408 ( $\pm 0,0016$ )	nulo	1,64314 ( $\pm 0,03778$ )	0,92529
	3	-0,0020 ( $\pm 0,0001$ )	-0,0017 ( $\pm 0,0001$ )	nulo	-0,0141 ( $\pm 0,0009$ )	nulo	1,80288 ( $\pm 0,02276$ )	0,94023
5	1, 2, 3, 4, 5	-0,0042 ( $\pm 0,0002$ )	-0,0059 ( $\pm 0,0002$ )	nulo	-0,0434 ( $\pm 0,0024$ )	nulo	6,0468 ( $\pm 0,0576$ )	0,95326
	1, 2, 3, 4, 6	-0,0031 ( $\pm 0,0001$ )	-0,0062 ( $\pm 0,0001$ )	nulo	-0,0238 ( $\pm 0,0013$ )	nulo	5,9188 ( $\pm 0,0321$ )	0,98107
	1, 2, 3, 5, 6	-0,0024 ( $\pm 0,0001$ )	-0,0062 ( $\pm 0,0001$ )	nulo	-0,00590 ( $\pm 0,00097$ )	nulo	5,7942 ( $\pm 0,0237$ )	0,98799
6	1, 2, 3, 4, 5, 6	-0,0040 ( $\pm 0,0002$ )	-0,0076 ( $\pm 0,0001$ )	nulo	nulo	nulo	7,2822 ( $\pm 0,0403$ )	0,97843

TABELA A.37 - Parâmetros do modelo quadrático obtidos para 2 lâmpadas ligadas com o Programa STATISTICA da Statsoft de 1993.

Número de Lâmpadas	Lâmpadas ligadas	Modelo: $Z = aX^2 + bY^2 + cXY + dX + eY + f$						R <sup>2</sup>
		Parâmetros do Modelo ( $\pm$ erro padrão)						
		a	b	c	d	e	f	
2	1, 2	-0,00048 ( $\pm$ 0,00030)	-0,0029 ( $\pm$ 0,0003)	nulo	-0,0878 ( $\pm$ 0,0031)	nulo	2,63213 ( $\pm$ 0,07655)	0,92600
	1, 3	-0,00152 ( $\pm$ 0,00022)	-0,0029 ( $\pm$ 0,0002)	nulo	-0,0645 ( $\pm$ 0,0023)	nulo	2,86790 ( $\pm$ 0,05509)	0,93773
	1, 4	-0,0014 ( $\pm$ 0,0001)	-0,0030 ( $\pm$ 0,0001)	nulo	-0,0375 ( $\pm$ 0,0013)	nulo	2,84080 ( $\pm$ 0,03279)	0,95501
	1, 5	-0,00060 ( $\pm$ 0,00006)	-0,0029 ( $\pm$ 0,0001)	nulo	-0,0133 ( $\pm$ 0,0007)	0,003033 ( $\pm$ 0,000626)	2,6524 ( $\pm$ 0,0158)	0,97716
	1, 6	0,000902 ( $\pm$ 0,000096)	-0,0028 ( $\pm$ 0,0001)	nulo	nulo	nulo	2,40579 ( $\pm$ 0,02422)	0,93794
	2, 3	-0,0026 ( $\pm$ 0,0002)	-0,0031 ( $\pm$ 0,0002)	nulo	-0,0513 ( $\pm$ 0,0021)	nulo	3,06389 ( $\pm$ 0,04985)	0,93806
	2, 4	-0,0029 ( $\pm$ 0,0001)	-0,0030 ( $\pm$ 0,0001)	nulo	-0,0241 ( $\pm$ 0,0014)	nulo	3,12794 ( $\pm$ 0,03288)	0,95262
	2, 5	-0,0019 ( $\pm$ 0,0001)	-0,0031 ( $\pm$ 0,0001)	nulo	nulo	nulo	2,9620 ( $\pm$ 0,0155)	0,98168
	3, 4	-0,0038 ( $\pm$ 0,0001)	-0,0032 ( $\pm$ 0,0001)	nulo	nulo	nulo	3,37568 ( $\pm$ 0,03723)	0,94413



TABELA A.38 - Parâmetros do modelo quadrático obtidos para 3 lâmpadas ligadas com o Programa STATISTICA da Statsoft de 1993.

Número de lâmpadas	Lâmpadas ligadas	Modelo: $Z = aX^2 + bY^2 + cXY + dX + eY + f$						R <sup>2</sup>
		Parâmetros do Modelo ( $\pm$ erro padrão)						
		a	b	c	d	e	f	
3	1, 2, 3	-0,00228 ( $\pm 0,00033$ )	-0,0041 ( $\pm 0,0003$ )	nulo	-0,0974 ( $\pm 0,0035$ )	nulo	4,09040 ( $\pm 0,08402$ )	0,93477
	1, 2, 4	-0,00218 ( $\pm 0,00024$ )	-0,0041 ( $\pm 0,0002$ )	nulo	-0,0703 ( $\pm 0,0025$ )	nulo	3,97962 ( $\pm 0,06095$ )	0,94435
	1, 2, 5	-0,00135 ( $\pm 0,00016$ )	-0,0042 ( $\pm 0,0001$ )	nulo	-0,0488 ( $\pm 0,0017$ )	nulo	3,94750 ( $\pm 0,04044$ )	0,96053
	1, 2, 6	-0,00018 ( $\pm 0,00014$ )	-0,0040 ( $\pm 0,0001$ )	nulo	-0,0300 ( $\pm 0,0014$ )	nulo	3,5919 ( $\pm 0,0344$ )	0,95386
	1, 3, 4	-0,0033 ( $\pm 0,0002$ )	-0,0046 ( $\pm 0,0002$ )	nulo	-0,0522 ( $\pm 0,0022$ )	nulo	4,48171 ( $\pm 0,05303$ )	0,95074
	1, 3, 5	-0,0027 ( $\pm 0,0001$ )	-0,0046 ( $\pm 0,0001$ )	nulo	-0,0325 ( $\pm 0,0014$ )	nulo	4,5856 ( $\pm 0,0333$ )	0,97103
	1, 3, 6	-0,0010 ( $\pm 0,0001$ )	-0,0043 ( $\pm 0,0001$ )	nulo	-0,0108 ( $\pm 0,0008$ )	nulo	3,9089 ( $\pm 0,0189$ )	0,98324
	1, 4, 5	-0,0024 ( $\pm 0,0001$ )	-0,0041 ( $\pm 0,0001$ )	nulo	nulo	0,001553 ( $\pm 0,000918$ )	3,9996 ( $\pm 0,0232$ )	0,97677
	2, 3, 4	-0,0044 ( $\pm 0,0002$ )	-0,0044 ( $\pm 0,0002$ )	nulo	-0,0348 ( $\pm 0,0021$ )	nulo	4,43139 ( $\pm 0,05135$ )	0,94750
	2, 3, 5	-0,0035 ( $\pm 0,0001$ )	-0,0043 ( $\pm 0,0001$ )	nulo	-0,01286 ( $\pm 0,00142$ )	nulo	4,2622 ( $\pm 0,0344$ )	0,96450

TABELA A.39 - Parâmetros do modelo quadrático obtidos para 4 lâmpadas ligadas com o Programa STATISTICA da Statsoft de 1993.

Número de lâmpadas	Lâmpadas ligadas	Modelo: $Z = aX^2 + bY^2 + cXY + dX + eY + f$						R <sup>2</sup>
		Parâmetros do Modelo ( $\pm$ erro padrão)						
		a	b	c	d	e	f	
4	1, 2, 3, 4	-0,0034 ( $\pm$ 0,0003)	-0,0049 ( $\pm$ 0,0002)	nulo	-0,0743 ( $\pm$ 0,0027)	nulo	4,90789 ( $\pm$ 0,06667)	0,94801
	1, 2, 3, 5	-0,0028 ( $\pm$ 0,0002)	-0,0052 ( $\pm$ 0,0002)	nulo	-0,0537 ( $\pm$ 0,0021)	nulo	4,88720 ( $\pm$ 0,05022)	0,95891
	1, 2, 3, 6	-0,00172 ( $\pm$ 0,00018)	-0,0054 ( $\pm$ 0,0002)	nulo	-0,0369 ( $\pm$ 0,0019)	nulo	4,8374 ( $\pm$ 0,0460)	0,95402
	1, 2, 4, 5	-0,0029 ( $\pm$ 0,0001)	-0,0051 ( $\pm$ 0,0001)	nulo	-0,0312 ( $\pm$ 0,0015)	nulo	4,8671 ( $\pm$ 0,0375)	0,96806
	1, 2, 4, 6	-0,0017 ( $\pm$ 0,0001)	-0,0054 ( $\pm$ 0,0001)	nulo	-0,0137 ( $\pm$ 0,0011)	nulo	4,9174 ( $\pm$ 0,0266)	0,97975
	1, 2, 5, 6	-0,00089 ( $\pm$ 0,00010)	-0,0052 ( $\pm$ 0,0001)	nulo	0,004145 ( $\pm$ 0,000990)	nulo	4,6075 ( $\pm$ 0,0241)	0,98013
	1, 3, 4, 5	-0,0037 ( $\pm$ 0,0001)	-0,0050 ( $\pm$ 0,0001)	nulo	-0,01262 ( $\pm$ 0,00152)	nulo	5,0565 ( $\pm$ 0,0368)	0,96682
	1, 3, 4, 6	-0,0026 ( $\pm$ 0,0001)	-0,0053 ( $\pm$ 0,0001)	nulo	0,005036 ( $\pm$ 0,001525)	nulo	5,0020 ( $\pm$ 0,0371)	0,96257
	2, 3, 4, 5	-0,0047 ( $\pm$ 0,0002)	-0,0051 ( $\pm$ 0,0002)	nulo	nulo	nulo	5,2345 ( $\pm$ 0,0463)	0,95602

**TABELA A.40** - Intensidade média de radiação ultravioleta incidente na superfície irradiada no interior da câmara de desinfecção, considerando a área do reator I abrangida pelo sensor do radiômetro ( $I_{0R}$ ) e a área total do reator I ( $I_{0T}$ ), ambas obtidas por radiometria.

Número de lâmpadas	Lâmpadas ligadas	Integral <sub>R</sub> (mW)	$I_{0R}$ * (mW/cm <sup>2</sup> )	Integral <sub>T</sub> (mW)	$I_{0T}$ ** (mW/cm <sup>2</sup> )
1	1	1492,07	1,17	1985,65	1,10
	2	1718,97	1,35	2194,92	1,22
	3	1797,63	1,41	2249,78	1,25
2	1, 2	2882,97	2,26	3750,42	2,08
	1, 3	3048,09	2,39	3922,79	2,18
	1, 4	3015,10	2,37	3872,97	2,15
	1, 5	2893,19	2,27	3757,82	2,09
	1, 6	2788,42	2,19	3708,09	2,06
	2, 3	3129,19	2,46	3953,58	2,20
	2, 4	3185,84	2,50	4026,29	2,24
	2, 5	3090,42	2,43	3939,86	2,19
	3, 4	3356,28	2,63	4193,94	2,33
3	1, 2, 3	4337,91	3,40	5578,68	3,10
	1, 2, 4	4209,78	3,30	5403,42	3,00
	1, 2, 5	4262,74	3,35	5516,76	3,06
	1, 2, 6	3990,00	3,13	5220,35	2,90
	1, 3, 4	4633,45	3,64	5885,42	3,27
	1, 3, 5	4843,84	3,80	6218,04	3,45
	1, 3, 6	4245,02	3,33	5502,01	3,05
	1, 4, 5	4206,63	3,30	5386,05	2,99
	2, 3, 4	4454,42	3,50	5588,25	3,10
	2, 3, 5	4369,99	3,43	5531,95	3,07
4	1, 2, 3, 4	5121,20	4,02	6538,33	3,63
	1, 2, 3, 5	5130,67	4,03	6556,23	3,64
	1, 2, 3, 6	5179,55	4,07	6668,23	3,70
	1, 2, 4, 5	5106,13	4,01	6525,90	3,62
	1, 2, 4, 6	5284,08	4,15	6817,16	3,79
	1, 2, 5, 6	5022,74	3,94	6515,74	3,62
	1, 3, 4, 5	5257,45	4,13	6703,09	3,72
	1, 3, 4, 6	5288,87	4,15	6781,36	3,77
	2, 3, 4, 5	5340,10	4,19	6751,00	3,75
5	1, 2, 3, 4, 5	6327,46	4,97	8094,22	4,49
	1, 2, 3, 4, 6	6265,25	4,92	8040,12	4,46
	1, 2, 3, 5, 6	6197,55	4,86	7985,50	4,43
6	1, 2, 3, 4, 5, 6	7688,24	6,03	9855,56	5,47

$$\text{Integral}_R = \int_{-17,5}^{17,5} \int_{-18,2}^{18,2} (aX^2 + bY^2 + cXY + dX + eY + f) dy dx$$

$$* I_{0R} = \text{Integral}_R / (\text{Área}_R = 1274 \text{ cm}^2)$$

$$\text{Integral}_T = \int_{-20,1}^{20,1} \int_{-22,4}^{22,4} (aX^2 + bY^2 + cXY + dX + eY + f) dy dx$$

$$** I_{0T} = \text{Integral}_T / (\text{Área}_T = 1801 \text{ cm}^2)$$

**TABELA A.41** - Valores determinados para construção da curva de calibração de  $\text{Fe}^{2+}$  que foi utilizada nos ensaios de actinometria.

Concentração de $\text{Fe}^{2+}$ ( $C_{\text{medida}}$ ) (mg/L)	Absorvância a 510 nm (A) (adimensional)
0	0
0,55	0,111
1,10	0,216
1,65	0,327
2,20	0,434
2,75	0,545
3,30	0,652
3,85	0,761
4,40	0,867
4,95	0,979
5,50	1,084

- Equação fornecida pelo espectrofotômetro marca SHIMADZU modelo UV-160 A:

$$\Rightarrow C_{\text{medida}} = 5,0700 \times A - 0,0042$$

- Equação obtida pelo método dos mínimos quadrados (MMQ):

$$\Rightarrow C_{\text{medida}} = 5,0707 \times A - 0,0048 \quad (r^2 = 0,99998)$$

TABELA A.42 - Monitoramento da potência radiante de uma lâmpada de baixa pressão de vapor de mercúrio durante sua vida útil por actinometria.

Ensaio	Tempo Funcionamento (minuto)	Tempo Funcionamento (h)	Tempo Irradiação (s)	T (°C)		A (510 nm)		C <sub>Fe<sup>2+</sup></sub> (mg/L)		D (mWs/cm <sup>3</sup> )	P (W)	
				Ambiente	Solução Antes Irradiação	Solução Depois Irradiação	Antes Irradiação	Depois Irradiação	Antes Irradiação			Depois Irradiação
1	15,5	0,26	30			22,5	0,033	0,264	8,15	66,63	392,55	4,71
	31,5	0,53	60	22,0	19,5	23,0	0,027	0,422	6,57	106,86	673,17	4,04
	48,0	0,80	90			23,5	0,030	0,496	7,50	125,43	791,53	3,17
2	375,5	6,26	30			27,0	0,023	0,277	5,67	70,04	432,01	5,18
	391,5	6,53	60	27,0	22,0	28,0	0,038	0,402	9,38	101,69	619,58	3,72
	408,0	6,80	90			28,0	0,021	0,509	5,02	128,83	831,00	3,32
3	735,5	12,26	30			25,0	0,028	0,220	6,91	55,49	326,10	3,91
	751,5	12,53	60	21,0	20,0	24,5	0,034	0,338	8,33	85,94	520,88	3,13
	768,0	12,80	90			25,0	0,027	0,439	6,57	111,04	701,19	2,80
4	1095,5	18,26	30			23,5	0,035	0,204	8,95	51,50	285,62	3,43
	1111,5	18,53	60	19,0	20,5	24,0	0,028	0,324	6,82	82,01	504,70	3,03
	1128,0	18,80	90			24,0	0,030	0,432	7,46	109,34	683,77	2,74
5	1455,5	24,26	30			23,0	0,039	0,216	9,63	54,56	301,57	3,62
	1471,5	24,53	60	16,5	22,0	23,5	0,028	0,353	6,85	89,25	553,09	3,32
	1488,0	24,80	90			24,0	0,046	0,458	11,52	115,93	700,79	2,80
6	2175,5	36,26	30			20,0	0,028	0,154	6,88	38,81	214,34	2,57
	2191,5	36,53	60	11,5	18,5	20,5	0,032	0,291	7,81	73,44	440,54	2,64
	2208,0	36,80	90			20,5	0,037	0,345	9,29	87,37	524,03	2,10

TABELA A.42 - Monitoramento da potência radiante de uma lâmpada de baixa pressão de vapor de mercúrio durante sua vida útil por actinometria.

Ensaio	Tempo Funcionamento (minuto)	Tempo Funcionamento (h)	Tempo Irradiação (s)	T (°C)		A (510 nm)		C <sub>Fe<sup>2+</sup></sub> (mg/L)		D (mWs/cm <sup>3</sup> )	P (W)	
				Ambiente	Solução Antes Irradiação	Solução Depois Irradiação	Antes Irradiação	Depois Irradiação	Antes Irradiação			Depois Irradiação
7	2895,5	48,26	30			19,5	0,015	0,159	3,69	40,05	244,04	2,93
	2911,5	48,53	60	14,0	18,0	20,0	0,017	0,270	4,22	68,15	429,09	2,57
	2928,0	48,80	90			20,0	0,014	0,353	3,26	89,31	577,59	2,31
8	3615,5	60,26	30			19,0	0,017	0,138	4,18	34,73	205,01	2,46
	3631,5	60,53	60	15,0	16,0	19,5	0,017	0,244	4,18	61,68	385,93	2,32
	3648,0	60,80	90			19,5	0,018	0,376	4,40	95,16	609,17	2,44
9	4335,5	72,26	30			20,0	0,012	0,171	2,88	43,14	270,22	3,24
	4351,5	72,53	60	14,5	18,0	21,0	0,016	0,278	3,81	70,28	446,14	2,68
	4368,0	72,80	90			21,5	0,013	0,352	3,07	88,94	576,35	2,31
10	5055,5	84,26	30			19,0	0,016	0,119	3,81	29,84	174,68	2,10
	5071,5	84,53	60	18,5	16,5	19,5	0,017	0,256	4,15	64,81	407,11	2,44
	5088,0	84,80	90			20,0	0,021	0,301	5,24	76,19	476,24	1,90
11	5775,5	96,26	30			20,5	0,025	0,159	6,01	40,05	228,44	2,74
	5791,5	96,53	60	17,5	18,0	21,0	0,016	0,274	3,88	69,32	439,26	2,64
	5808,0	96,80	90			21,0	0,019	0,388	4,53	98,26	629,11	2,52
12	7216,0	120,27	60			23,0	0,029	0,308	7,27	77,83	473,62	2,84
	7232,5	120,54	90	20,0	19,0	23,0	0,022	0,391	5,36	98,91	627,86	2,51
	7249,5	120,83	120			23,5	0,028	0,503	7,00	127,38	807,94	2,42

TABELA A.42 - Monitoramento da potência radiante de uma lâmpada de baixa pressão de vapor de mercúrio durante sua vida útil por actinometria.

Ensaio	Tempo Funcionamento (minuto)	Tempo Funcionamento (h)	Tempo Irradiação (s)	T (°C)		A (510 nm)		C <sub>Fe<sup>2+</sup></sub> (mg/L)		D (mWs/cm <sup>3</sup> )	P (W)	
				Ambiente	Solução Antes Irradiação	Solução Depois Irradiação	Antes Irradiação	Depois Irradiação	Antes Irradiação			Depois Irradiação
13	8656,0	144,27	60			24,5	0,027	0,307	6,60	77,71	477,32	2,86
	8672,5	144,54	90	20,0	21,0	24,0	0,031	0,426	7,74	107,79	671,49	2,69
	8689,5	144,83	120			24,5	0,028	0,507	6,97	128,27	814,19	2,44
14	14366,5	239,44	90			25,0	0,023	0,405	5,55	102,40	650,08	2,60
	14383,5	239,73	120	22,5	21,5	25,5	0,017	0,494	4,15	125,09	811,70	2,44
	14401,0	240,02	150			26,0	0,020	0,621	4,93	157,15	1021,68	2,45
15	24347,5	405,79	90			21,0	0,024	0,320	5,92	80,99	503,90	2,02
	24364,5	406,08	120	15,0	19,5	21,0	0,027	0,411	6,60	104,08	654,28	1,96
	24382,0	406,37	150			21,5	0,025	0,460	6,23	116,39	739,42	1,77
16	34438,5	573,98	90			26,5	0,023	0,397	5,61	100,55	637,23	2,55
	34455,5	574,26	120	24,0	22,5	27,0	0,030	0,508	7,37	128,62	813,78	2,44
	34473,0	574,55	150			27,5	0,020	0,587	4,96	148,70	964,77	2,32
17	43009,5	716,83	90			26,0	0,028	0,406	6,94	102,59	642,03	2,57
	43026,5	717,11	120	24,0	22,5	26,0	0,026	0,529	6,26	133,78	855,93	2,57
	43044,0	717,40	150			27,0	0,026	0,619	6,38	156,71	1009,00	2,42
18	53060,5	884,34	90			27,0	0,035	0,425	8,58	107,60	664,65	2,66
	53077,5	884,63	120	23,5	23,0	27,0	0,034	0,535	8,29	135,33	852,71	2,56
	53095,0	884,92	150			27,5	0,027	0,606	6,57	153,53	986,38	2,37

TABELA A.42 - Monitoramento da potência radiante de uma lâmpada de baixa pressão de vapor de mercúrio durante sua vida útil por actinometria.

Ensaio	Tempo Funcionamento (minuto)	Tempo Funcionamento (h)	Tempo Irradiação (s)	T (°C)		A (510 nm)		C <sub>Fe<sup>2+</sup></sub> (mg/L)		D (mWs/cm <sup>3</sup> )	P (W)	
				Ambiente	Solução Antes Irradiação	Solução Depois Irradiação	Antes Irradiação	Depois Irradiação	Antes Irradiação			Depois Irradiação
19	61611,5	1026,86	90			27,5	0,030	0,416	7,43	105,22	656,36	2,63
	61628,5	1027,14	120	24,0	23,0	27,0	0,027	0,541	6,75	136,91	873,59	2,62
	61646,0	1027,43	150			27,5	0,024	0,646	5,83	163,43	1057,79	2,54
20	73992,5	1233,21	90			25,5	0,041	0,379	10,19	95,97	575,75	2,30
	74009,5	1233,49	120	22,5	22,0	26,0	0,037	0,505	9,26	127,81	795,70	2,39
	74027,0	1233,78	150			26,5	0,040	0,603	9,94	152,60	957,49	2,30
21	82673,5	1377,89	90			26,5	0,039	0,423	9,76	107,11	653,40	2,61
	82690,5	1378,18	120	24,0	22,5	26,0	0,034	0,526	8,39	133,13	837,24	2,51
	82708,0	1378,47	150			27,0	0,031	0,623	7,62	157,61	1006,75	2,42
22	135909,5	2265,16	90			28,0	0,029	0,327	7,19	82,72	506,98	2,03
	135926,5	2265,44	120	26,0	23,0	28,5	0,029	0,438	7,19	110,88	695,99	2,09
	135944,0	2265,73	150			28,5	0,026	0,553	6,26	139,91	897,08	2,15
23	175190,4	2919,84	90			29,5	0,031	0,258	7,59	65,18	386,54	1,55
	175207,5	2920,13	120	30,0	25,0	29,5	0,032	0,349	7,84	88,39	540,64	1,62
	175225,0	2920,42	150			30,0	0,033	0,449	8,18	113,70	708,24	1,70
24	225701,5	3761,69	90			29,5	0,015	0,270	3,69	68,18	432,85	1,73
	225718,5	3761,98	120	28,0	26,0	29,5	0,016	0,354	3,88	89,47	574,47	1,72
	225736,0	3762,27	150			30,0	0,020	0,460	4,93	116,36	747,94	1,80
25	266097,5	4434,96	90	24,0	26,5	29,0	0,023	0,270	5,61	68,33	421,00	1,68



TABELA A.43 - Taxa de formação de  $\text{Fe}^{2+}$ , dose e intensidade média de radiação UV na superfície obtidos por actinometria para 1 e 2 lâmpadas.

Número Lâmpadas	Tempo Irradiação (minutos)	T (°C)			A (510 nm)		$C_{\text{Fe}^{2+}}$ (mg/L)		Taxa de Formação (mol/min)	D (mWs/cm <sup>3</sup> )	I <sub>0</sub> (mW/cm <sup>2</sup> )
		Ambiente	Solução Antes Irradiação	Solução Depois Irradiação	Antes Irradiação	Depois Irradiação	Antes Irradiação	Depois Irradiação			
1	18,0	24,0	24,5	27,0	0,060	0,389	14,95	198,88	0,000330	1234,52	1,14
		27,0	25,0	28,0	0,032	0,394	7,87	199,11	0,000343	1283,58	1,19
		27,0	25,0	28,5	0,035	0,389	8,67	197,01	0,000338	1264,12	1,17
	24,0	24,0	24,5	28,0	0,061	0,510	15,23	258,28	0,000327	1631,33	1,13
		27,0	25,0	29,0	0,033	0,482	8,08	244,04	0,000317	1583,74	1,10
		26,0	25,0	29,0	0,041	0,497	10,28	251,41	0,000324	1618,44	1,12
	30,0	24,0	24,5	27,5	0,062	0,591	15,51	299,06	0,000305	1903,16	1,06
		24,0	24,5	28,0	0,080	0,606	20,03	307,05	0,000309	1926,45	1,07
		27,0	25,0	29,5	0,044	0,584	11,05	295,54	0,000306	1909,47	1,06
2	9,0	27,0	25,0	27,5	0,038	0,362	9,41	183,33	0,000623	1167,33	2,16
		27,0	25,0	27,5	0,029	0,374	7,25	189,39	0,000653	1222,50	2,26
		26,0	25,0	28,0	0,058	0,382	14,61	193,35	0,000641	1199,68	2,22
	12,0	29,0	26,5	28,0	0,072	0,477	18,14	241,57	0,000601	1499,64	2,08
		29,0	26,5	28,0	0,046	0,464	11,33	235,01	0,000601	1501,32	2,09
		27,0	26,0	27,5	0,048	0,476	11,98	241,13	0,000616	1538,03	2,14
	15,0	27,0	25,0	28,0	0,039	0,551	9,60	278,95	0,000579	1807,85	2,01
		27,0	25,0	28,5	0,028	0,572	6,85	289,72	0,000608	1898,59	2,11
		26,0	25,0	28,5	0,068	0,568	17,09	287,61	0,000582	1815,70	2,02

TABELA A.44 - Taxa de formação de  $\text{Fe}^{2+}$ , dose e intensidade média de radiação UV na superfície obtidos por actinometria para 3 e 4 lâmpadas.

Número Lâmpadas	Tempo Irradiação (minutos)	T (°C)			A (510 nm)		$C_{\text{Fe}^{2+}}$ (mg/L)		Taxa de Formação (mol/min)	D (mWs/cm <sup>3</sup> )	I <sub>0</sub> (mW/cm <sup>2</sup> )
		Ambiente	Solução Antes Irradiação	Solução Depois Irradiação	Antes Irradiação	Depois Irradiação	Antes Irradiação	Depois Irradiação			
3	6,0	23,0	24,5	25,5	0,042	0,366	10,50	185,37	0,000940	1173,71	3,26
		27,0	25,0	26,5	0,053	0,373	13,19	188,53	0,000943	1176,86	3,27
		27,0	25,0	27,0	0,024	0,363	5,79	183,39	0,000955	1192,03	3,31
	8,0	23,0	24,5	26,0	0,046	0,479	11,55	242,19	0,000930	1548,03	3,23
		27,0	25,0	27,0	0,051	0,469	12,69	237,42	0,000906	1508,36	3,14
		27,0	25,0	27,5	0,031	0,455	7,77	230,30	0,000897	1493,60	3,11
	10,0	23,0	24,5	26,5	0,052	0,576	13,07	291,70	0,000899	1870,14	3,12
		27,0	25,0	27,5	0,047	0,553	11,67	279,88	0,000865	1800,20	3,00
		27,0	25,0	28,0	0,027	0,537	6,66	272,08	0,000856	1781,47	2,97
4	4,5	25,5	25,5	26,5	0,039	0,345	9,72	174,29	0,001180	1104,58	4,09
		26,0	25,0	26,5	0,029	0,317	7,16	160,37	0,001098	1028,33	3,81
		26,0	25,0	27,0	0,051	0,361	12,79	182,59	0,001217	1139,68	4,22
	6,0	26,0	25,5	27,0	0,043	0,447	10,68	226,22	0,001159	1446,68	4,02
		26,0	25,0	27,0	0,034	0,453	8,39	229,25	0,001187	1482,39	4,12
		24,0	25,0	26,5	0,037	0,457	9,11	231,23	0,001194	1490,85	4,14
	7,5	22,5	24,0	26,0	0,040	0,543	10,03	275,11	0,001140	1779,19	3,95
		24,0	25,0	27,5	0,089	0,569	22,26	288,05	0,001143	1783,95	3,96
		26,0	25,0	27,5	0,049	0,544	12,14	275,61	0,001133	1768,38	3,93

TABELA A.45 - Taxa de formação de  $\text{Fe}^{2+}$ , dose e intensidade média de radiação UV na superfície obtidos por actinometria para 5 e 6 lâmpadas.

Número Lâmpadas	Tempo Irradiação (minutos)	T (°C)			A (510 nm)		$C_{\text{Fe}^{2+}}$ (mg/L)		Taxa de Formação (mol/min)	D (mWs/cm <sup>3</sup> )	I <sub>0</sub> (mW/cm <sup>2</sup> )
		Ambiente	Solução Antes Irradiação	Solução Depois Irradiação	Antes Irradiação	Depois Irradiação	Antes Irradiação	Depois Irradiação			
5	3,6	25,5	25,0	26,0	0,025	0,335	6,23	169,59	0,001464	1096,46	5,08
		26,0	25,0	26,0	0,019	0,336	4,68	169,77	0,001479	1108,07	5,13
		26,0	25,0	26,5	0,054	0,354	13,59	179,00	0,001482	1110,21	5,14
	4,8	25,0	25,0	26,5	0,031	0,432	7,53	218,85	0,001420	1418,36	4,92
		26,0	25,0	27,0	0,030	0,406	7,50	205,18	0,001328	1326,81	4,61
		24,0	25,0	26,5	0,057	0,442	14,12	223,68	0,001408	1406,54	4,88
	6,0	25,5	25,0	27,0	0,028	0,527	6,97	267,00	0,001398	1745,29	4,85
		26,0	25,0	27,5	0,027	0,499	6,54	252,77	0,001324	1652,67	4,59
		24,0	25,0	27,0	0,049	0,527	12,11	266,63	0,001368	1708,31	4,75
6	1,0	26,0	24,5	25,0	0,031	0,120	7,98	60,66	0,001699	353,58	5,89
		24,0	24,5	25,0	0,042	0,135	10,50	68,27	0,001864	387,75	6,46
		26,0	25,0	25,5	0,041	0,257	10,22	65,05	0,001769	368,01	6,13
	2,0	24,0	24,5	25,0	0,049	0,245	12,14	123,54	0,001797	747,71	6,23
		24,0	25,0	26,0	0,068	0,260	22,04	131,40	0,001764	734,01	6,12
		26,0	25,0	26,0	0,040	0,443	10,00	112,18	0,001648	685,82	5,72
	3,0	26,0	25,0	26,0	0,034	0,341	8,39	172,68	0,001767	1102,70	6,13
		24,0	24,5	25,5	0,050	0,333	12,45	168,54	0,001678	1047,66	5,82
		24,0	25,0	26,5	0,059	0,344	14,64	174,11	0,001715	1070,35	5,95

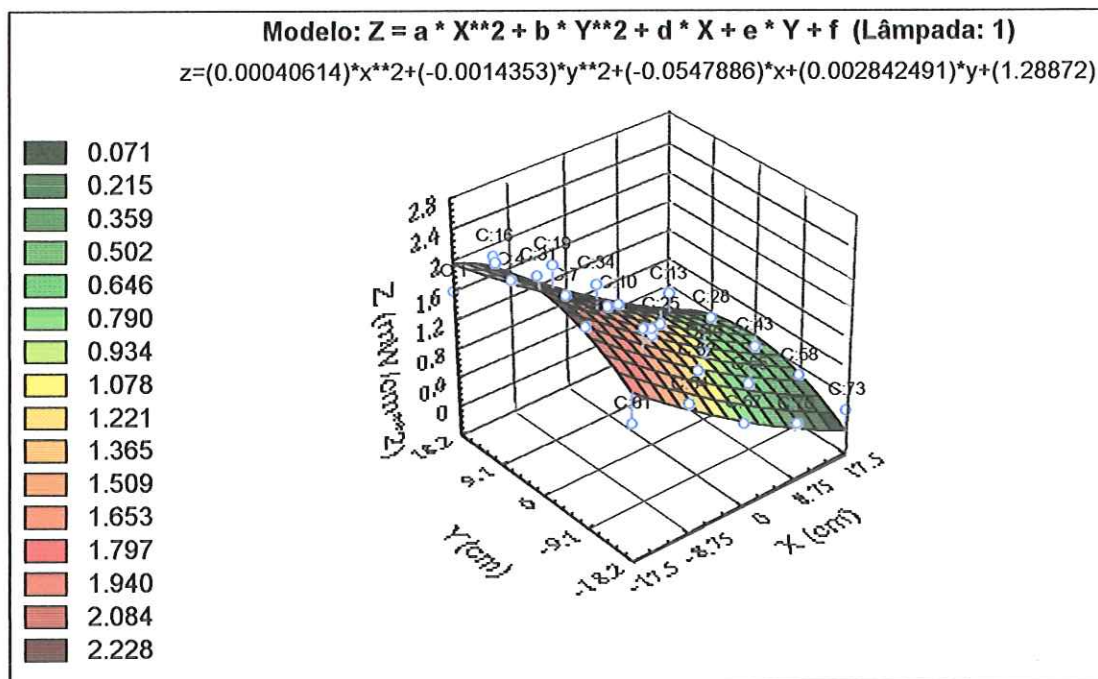


FIGURA A.1 - Superfície de resposta fornecida pelo Programa STATISTICA utilizando-se os dados de radiometria obtidos com a lâmpada 1 ligada.

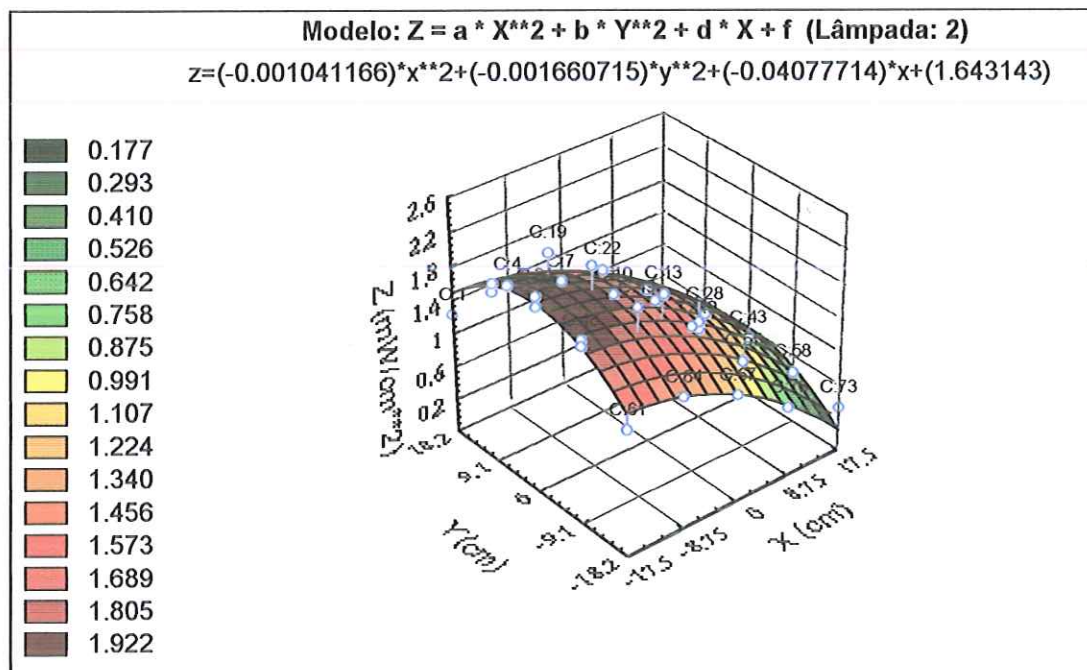


FIGURA A.2 - Superfície de resposta fornecida pelo Programa STATISTICA utilizando-se os dados de radiometria obtidos com a lâmpada 2 ligada.

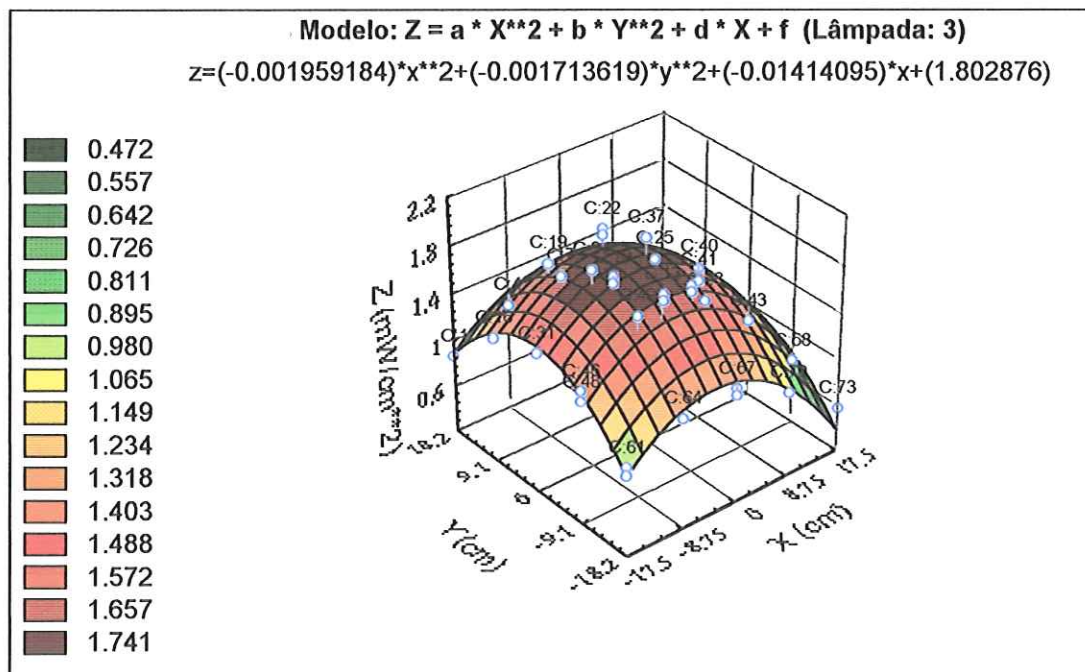


FIGURA A.3 - Superfície de resposta fornecida pelo Programa STATISTICA utilizando-se os dados de radiometria obtidos com a lâmpada 3 ligada.

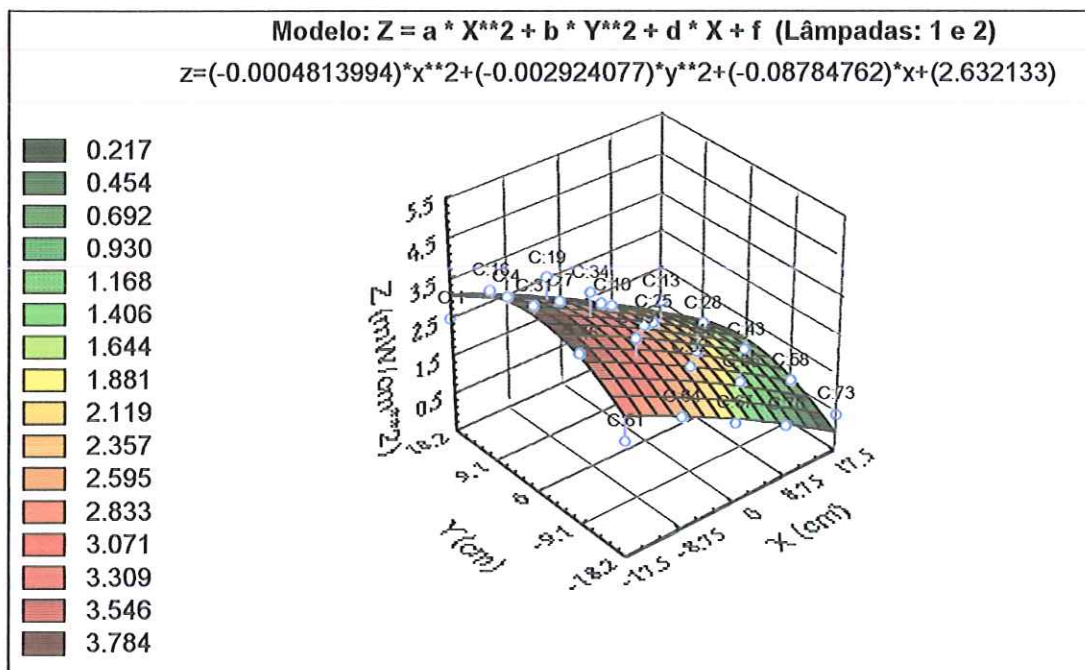


FIGURA A.4 - Superfície de resposta fornecida pelo Programa STATISTICA utilizando-se os dados de radiometria obtidos com as lâmpadas 1 e 2 ligadas.

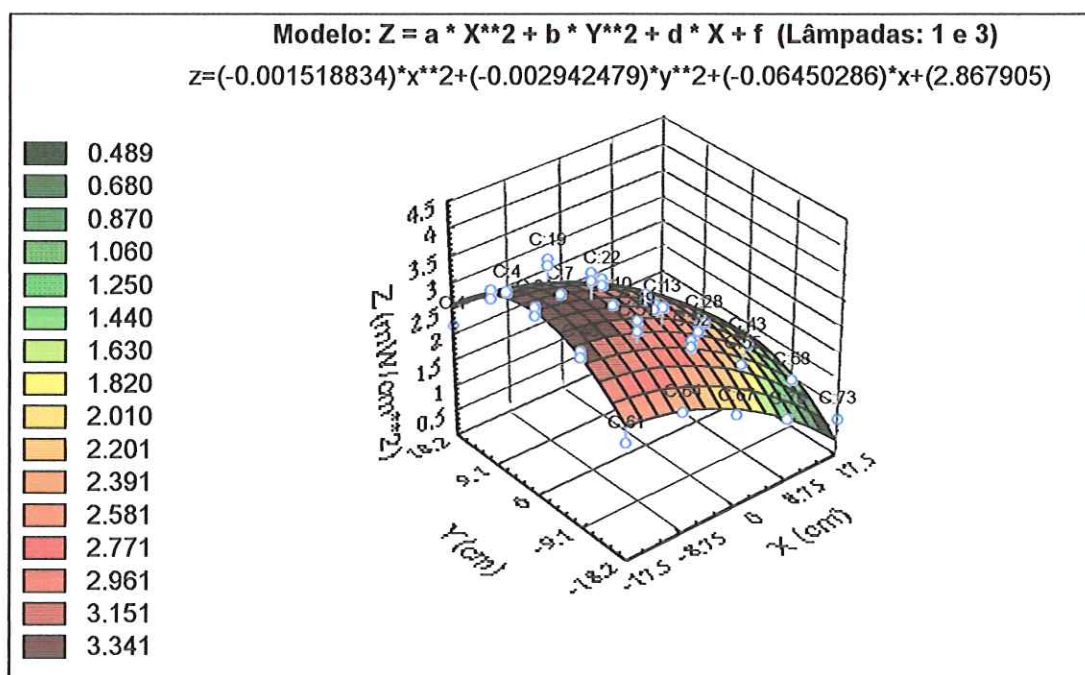


FIGURA A.5 - Superfície de resposta fornecida pelo Programa STATISTICA utilizando-se os dados de radiometria obtidos com as lâmpadas 1 e 3 ligadas.

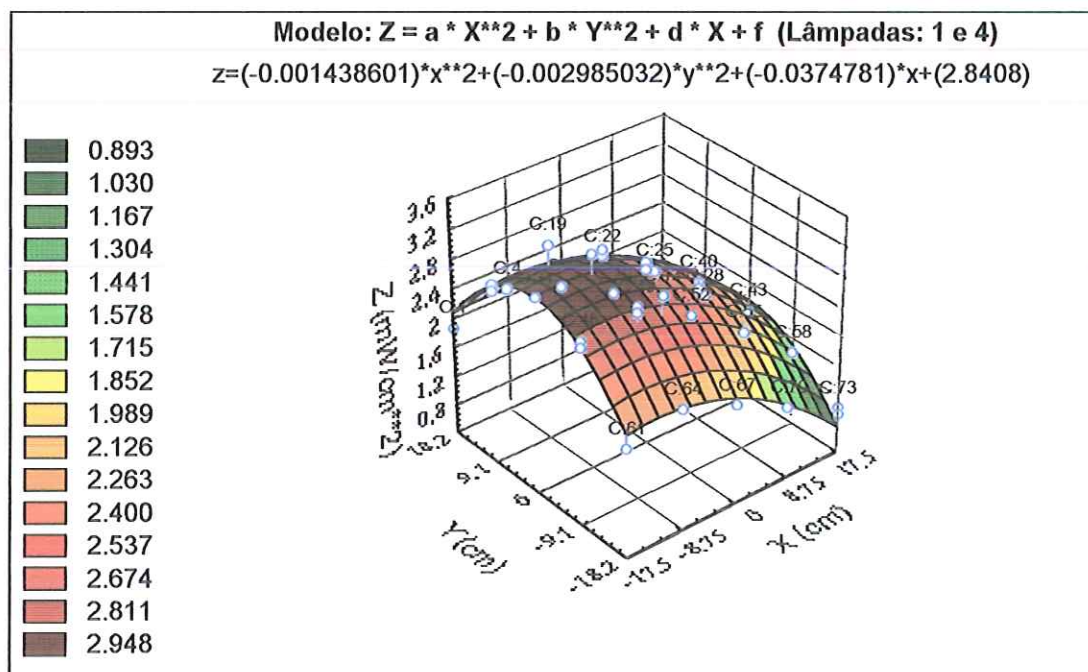


FIGURA A.6 - Superfície de resposta fornecida pelo Programa STATISTICA utilizando-se os dados de radiometria obtidos com as lâmpadas 1 e 4 ligadas.

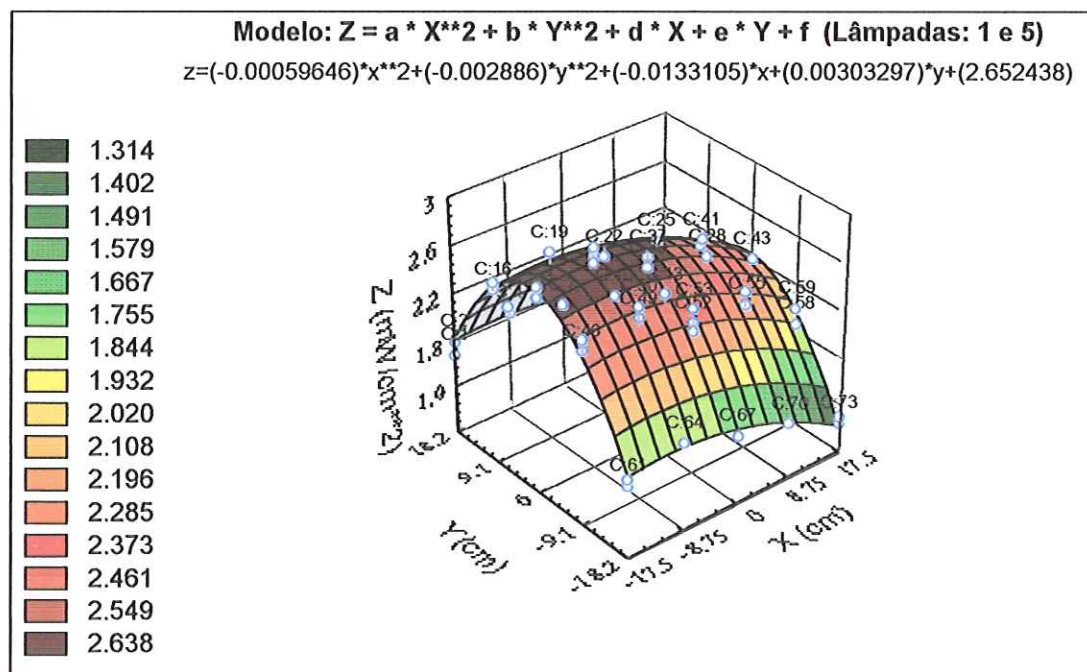


FIGURA A.7 - Superfície de resposta fornecida pelo Programa STATISTICA utilizando-se os dados de radiometria obtidos com as lâmpadas 1 e 5 ligadas.

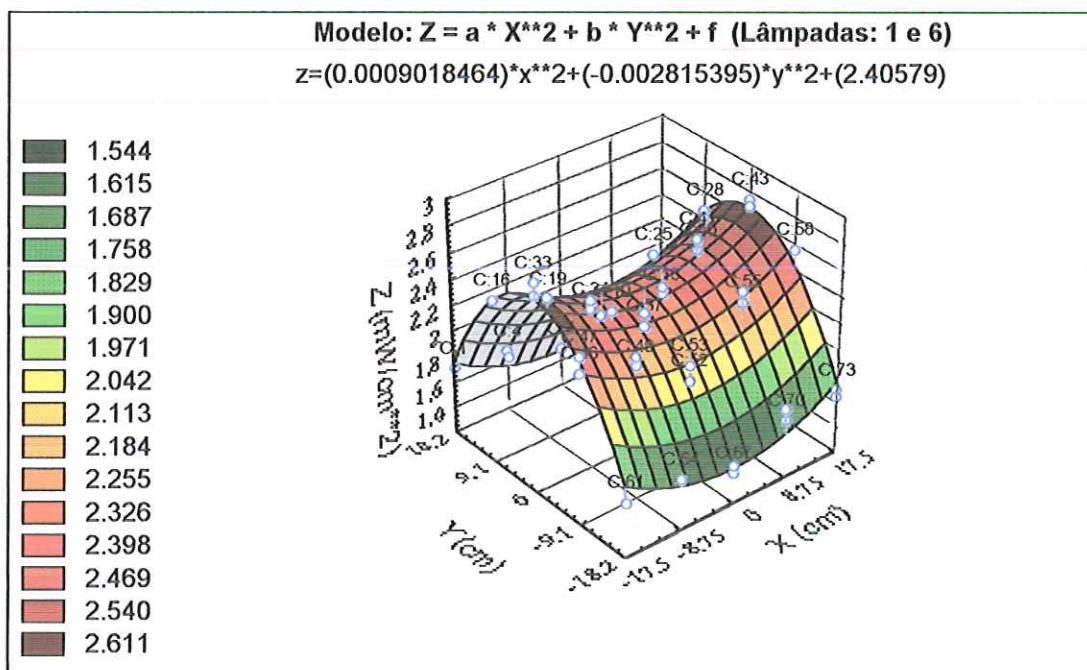


FIGURA A.8 - Superfície de resposta fornecida pelo Programa STATISTICA utilizando-se os dados de radiometria obtidos com as lâmpadas 1 e 6 ligadas.

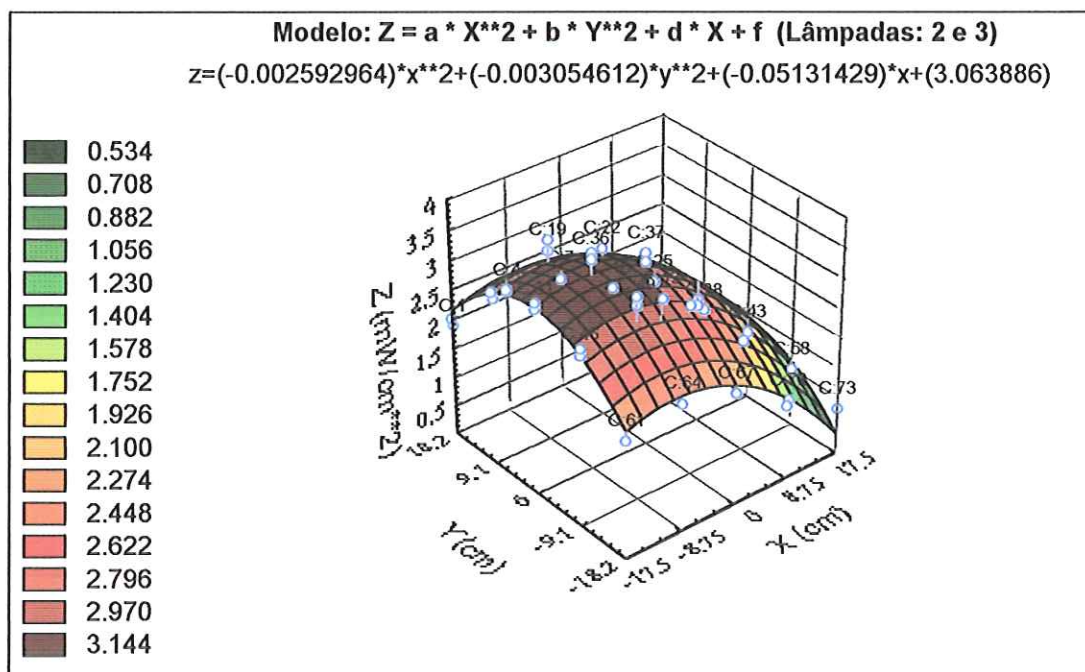


FIGURA A.9 - Superfície de resposta fornecida pelo Programa STATISTICA utilizando-se os dados de radiometria obtidos com as lâmpadas 2 e 3 ligadas.

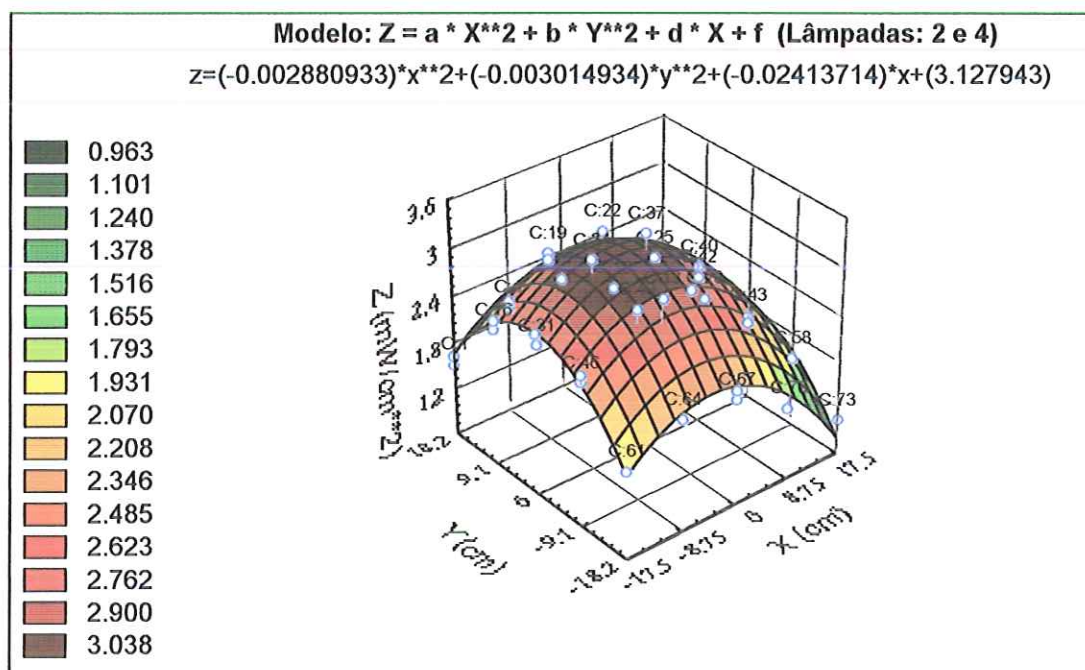


FIGURA A.10 - Superfície de resposta fornecida pelo Programa STATISTICA utilizando-se os dados de radiometria obtidos com as lâmpadas 2 e 4 ligadas.



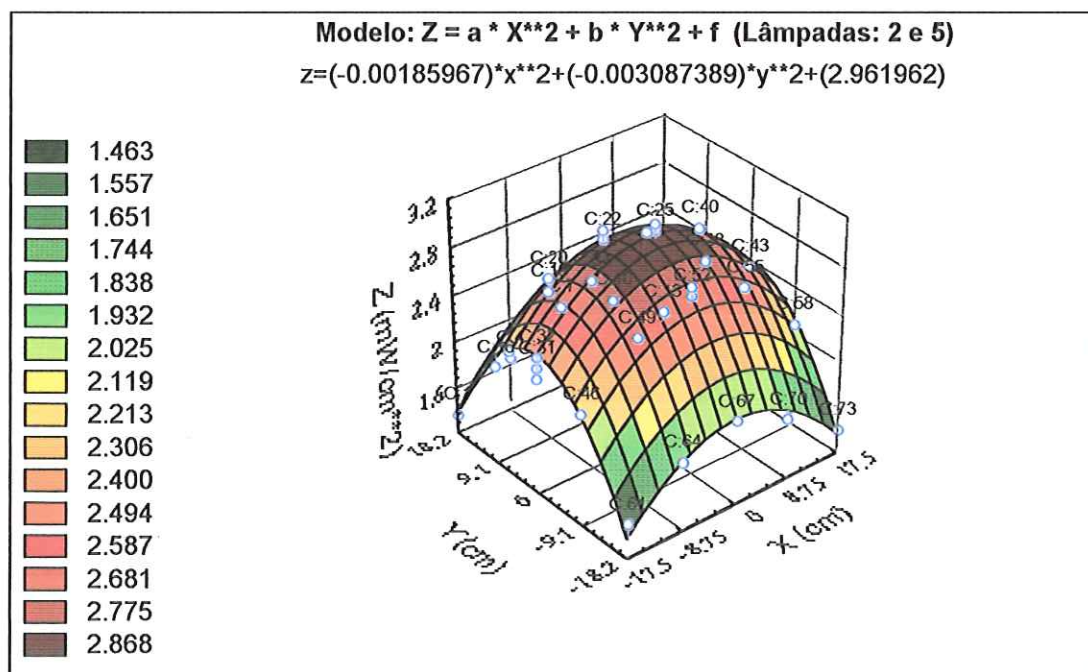


FIGURA A.11 - Superfície de resposta fornecida pelo Programa STATISTICA utilizando-se os dados de radiometria obtidos com as lâmpadas 2 e 5 ligadas.

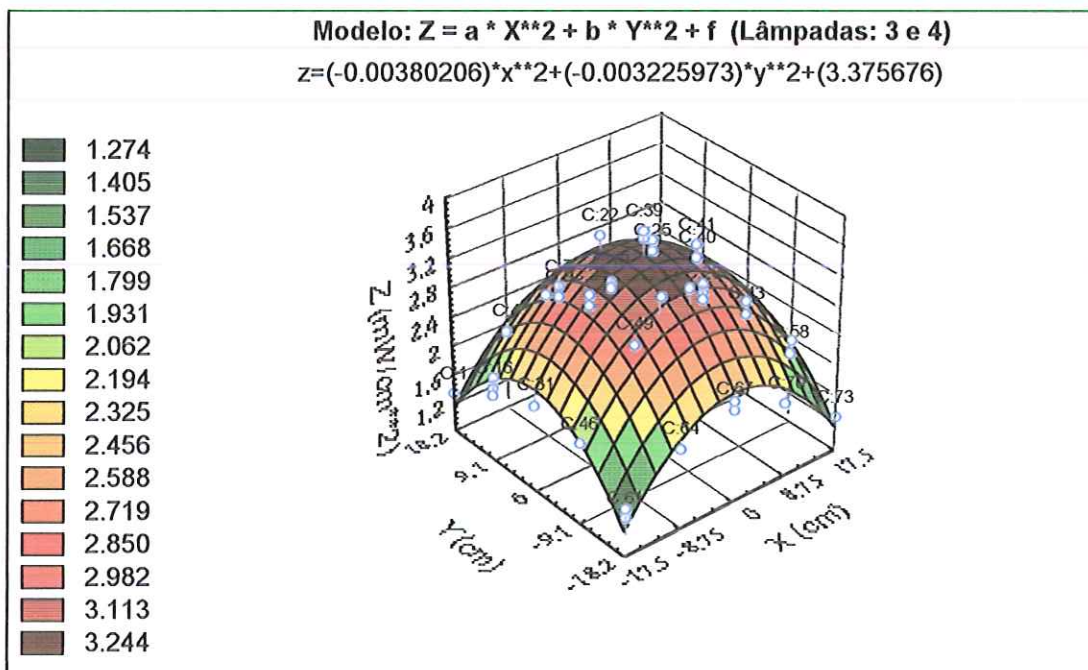


FIGURA A.12 - Superfície de resposta fornecida pelo Programa STATISTICA utilizando-se os dados de radiometria obtidos com as lâmpadas 3 e 4 ligadas.

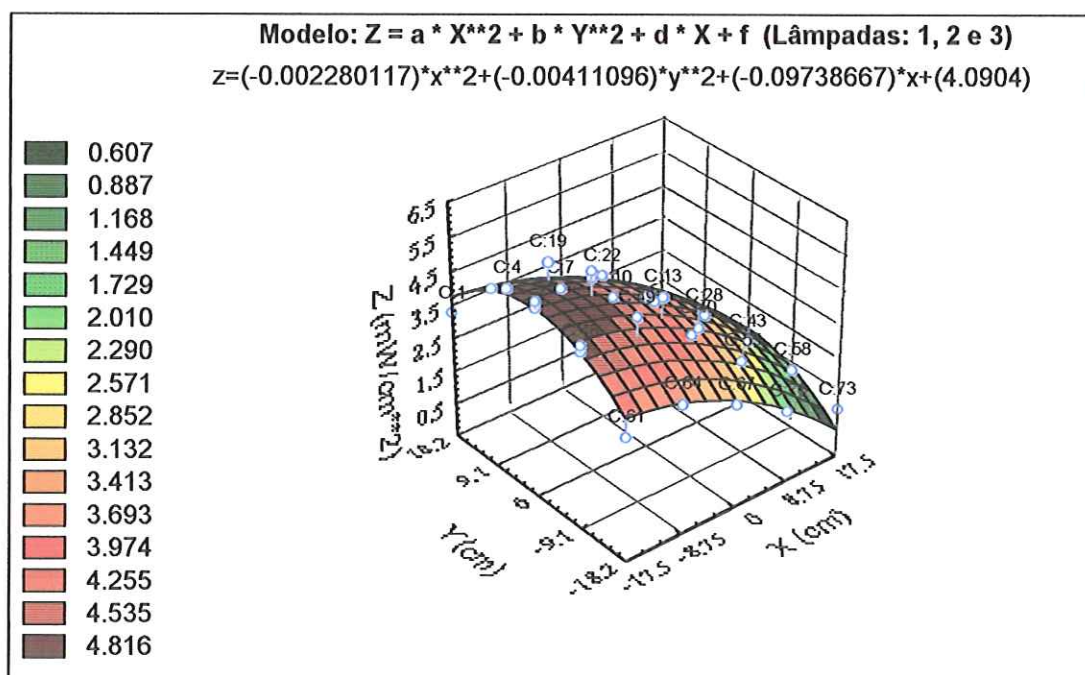


FIGURA A.13 - Superfície de resposta fornecida pelo Programa STATISTICA utilizando-se os dados de radiometria obtidos com as lâmpadas 1, 2 e 3 ligadas.

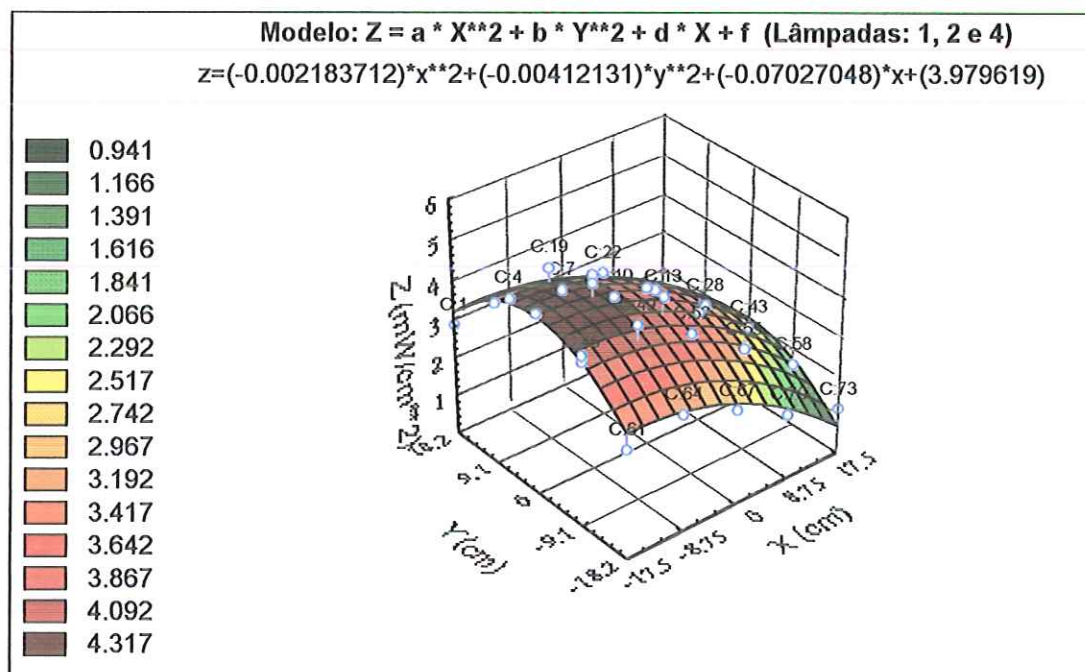


FIGURA A.14 - Superfície de resposta fornecida pelo Programa STATISTICA utilizando-se os dados de radiometria obtidos com as lâmpadas 1, 2 e 4 ligadas.

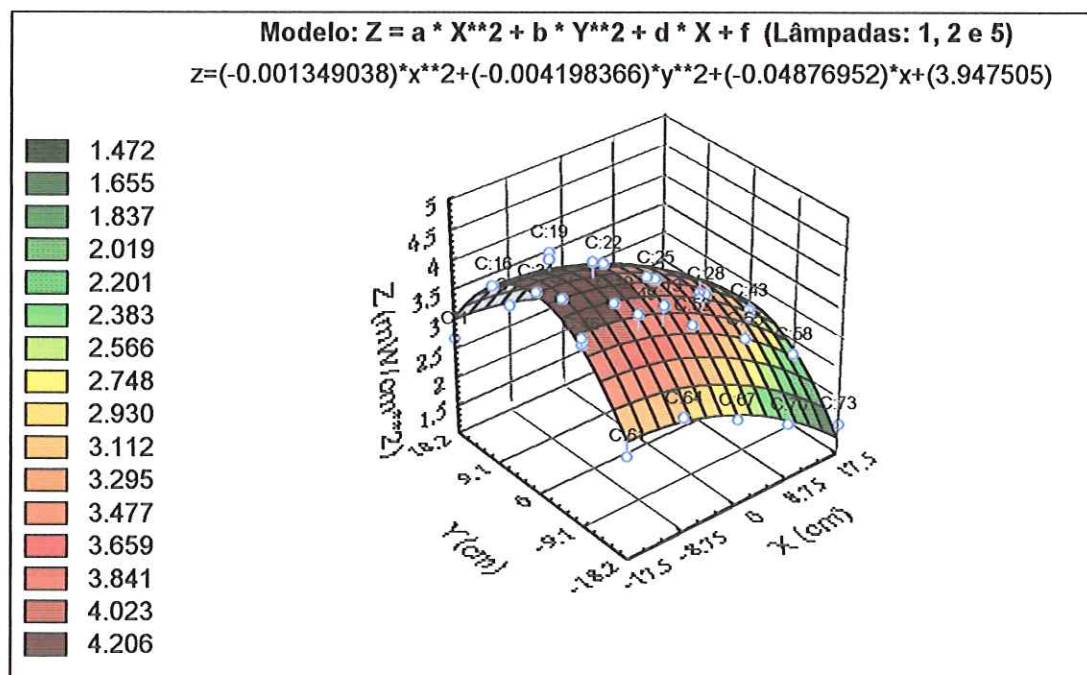


FIGURA A.15 - Superfície de resposta fornecida pelo Programa STATISTICA utilizando-se os dados de radiometria obtidos com as lâmpadas 1, 2 e 5 ligadas.

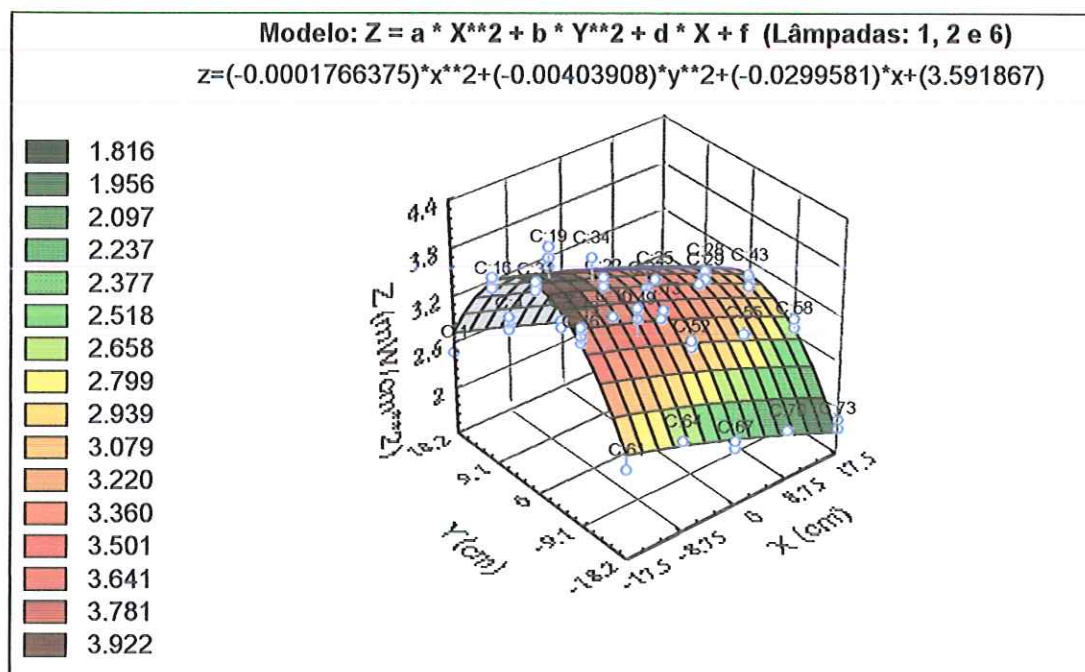


FIGURA A.16 - Superfície de resposta fornecida pelo Programa STATISTICA utilizando-se os dados de radiometria obtidos com as lâmpadas 1, 2 e 6 ligadas.

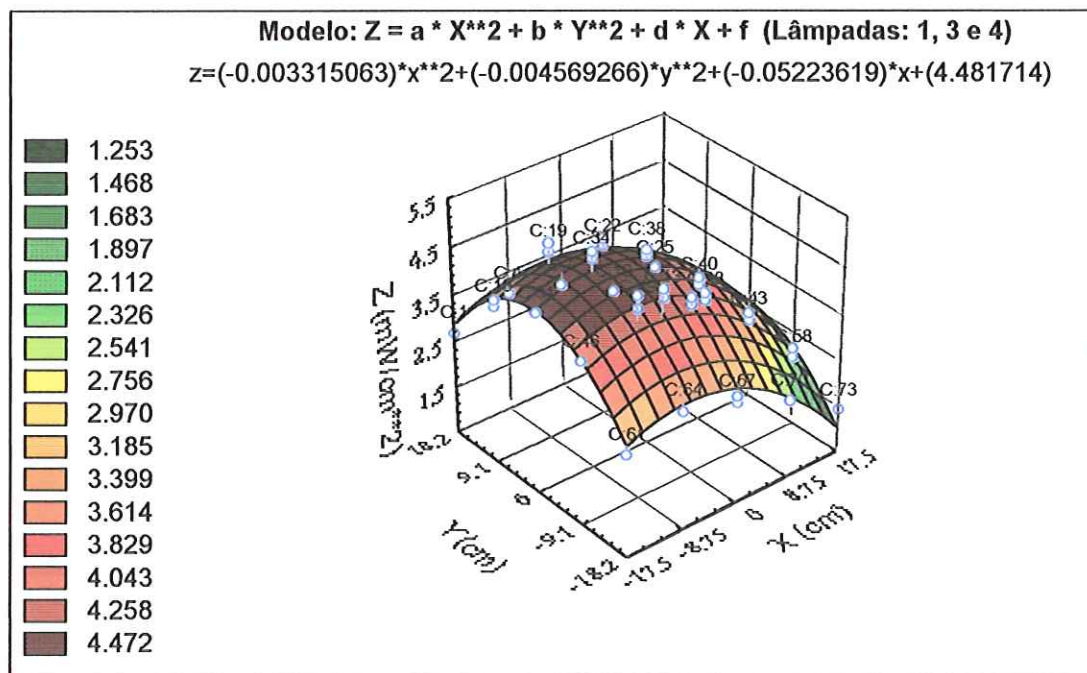


FIGURA A.17 - Superfície de resposta fornecida pelo Programa STATISTICA utilizando-se os dados de radiometria obtidos com as lâmpadas 1, 3 e 4 ligadas.

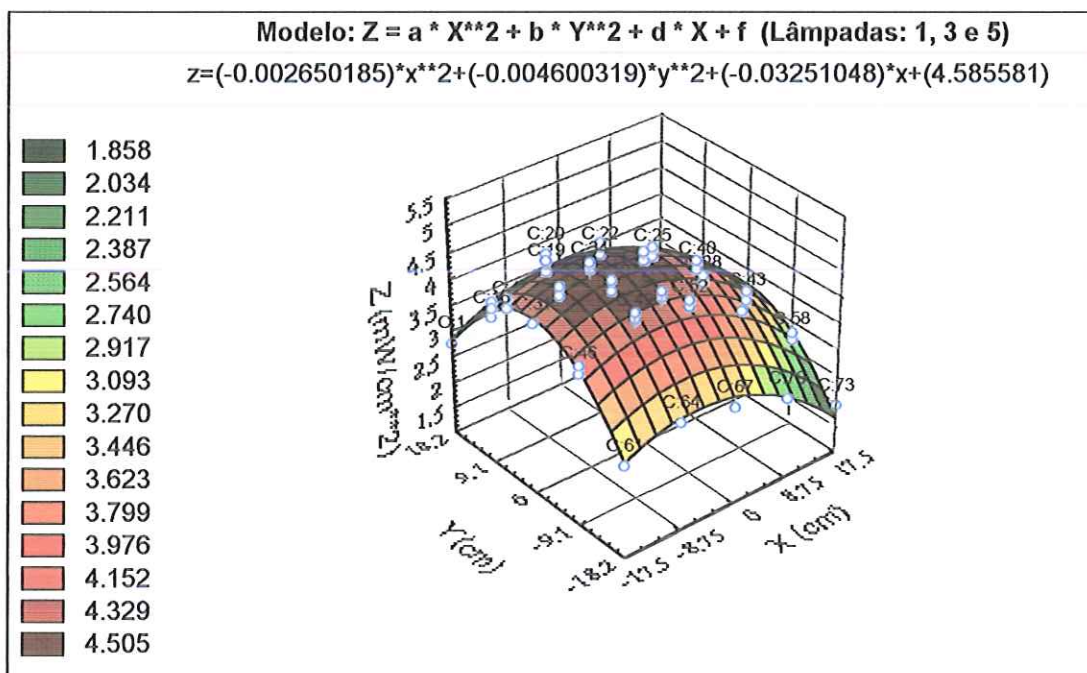


FIGURA A.18 - Superfície de resposta fornecida pelo Programa STATISTICA utilizando-se os dados de radiometria obtidos com as lâmpadas 1, 3 e 5 ligadas.

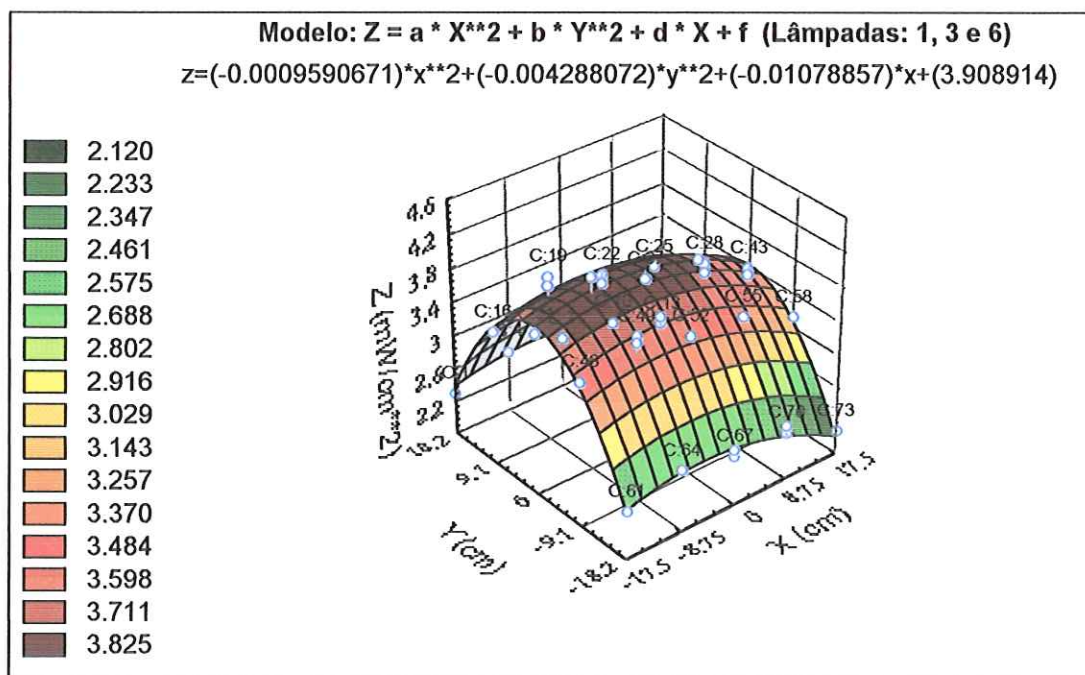


FIGURA A.19 - Superfície de resposta fornecida pelo Programa STATISTICA utilizando-se os dados de radiometria obtidos com as lâmpadas 1, 3 e 6 ligadas.

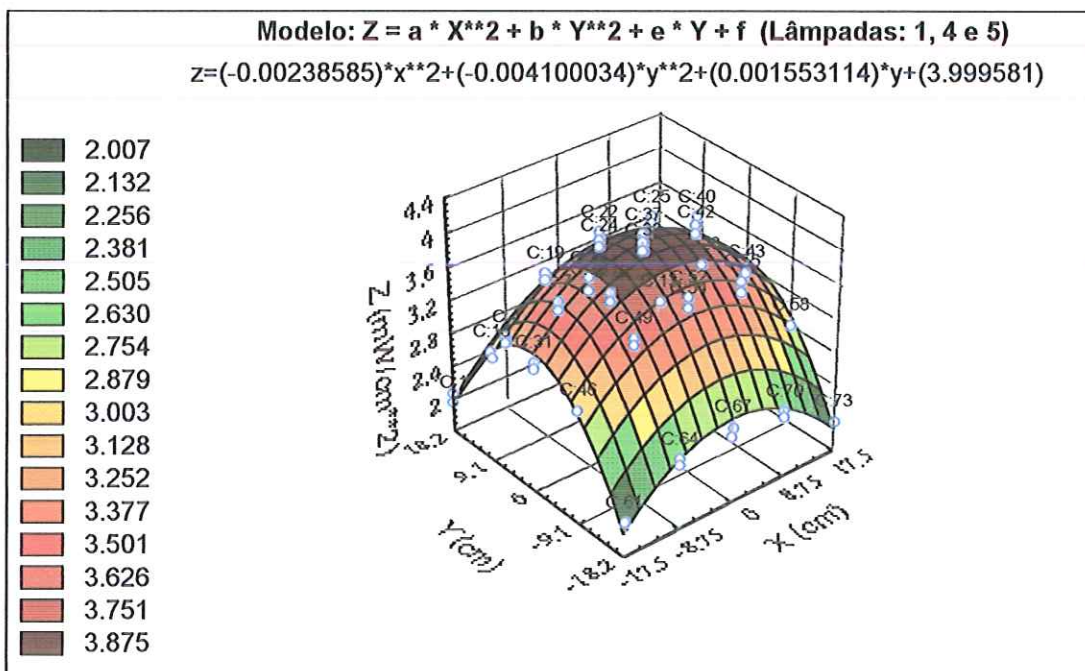


FIGURA A.20 - Superfície de resposta fornecida pelo Programa STATISTICA utilizando-se os dados de radiometria obtidos com as lâmpadas 1, 4 e 5 ligadas.

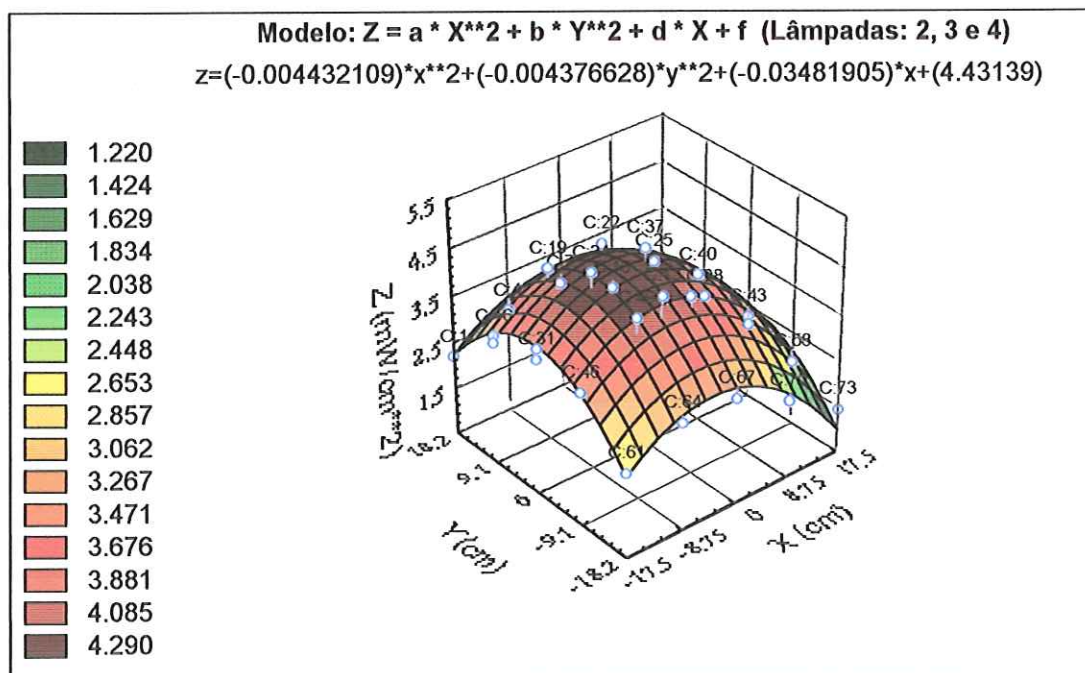


FIGURA A.21 - Superfície de resposta fornecida pelo Programa STATISTICA utilizando-se os dados de radiometria obtidos com as lâmpadas 2, 3 e 4 ligadas.

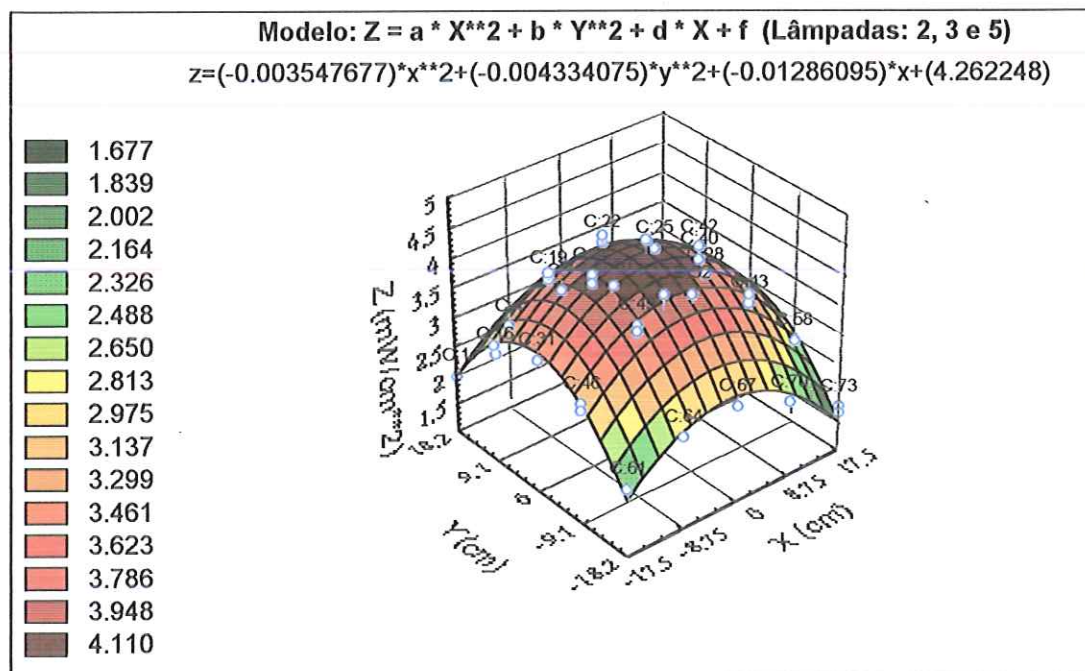


FIGURA A.22 - Superfície de resposta fornecida pelo Programa STATISTICA utilizando-se os dados de radiometria obtidos com as lâmpadas 2, 3 e 5 ligadas.

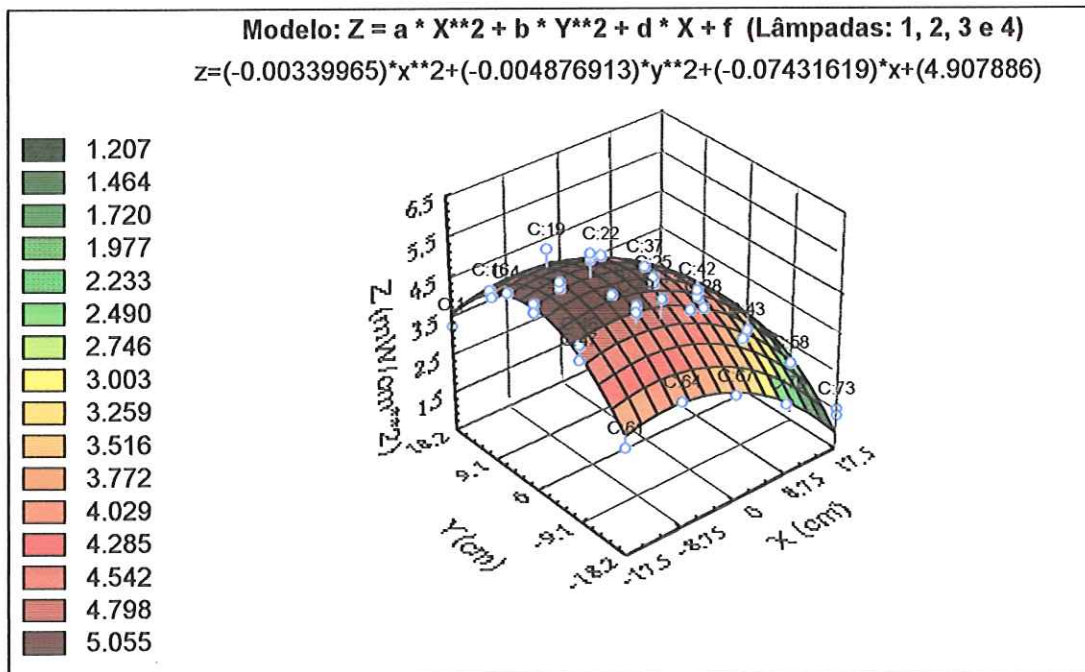


FIGURA A.23 - Superfície de resposta fornecida pelo Programa STATISTICA utilizando-se os dados de radiometria obtidos com as lâmpadas 1, 2, 3 e 4 ligadas.

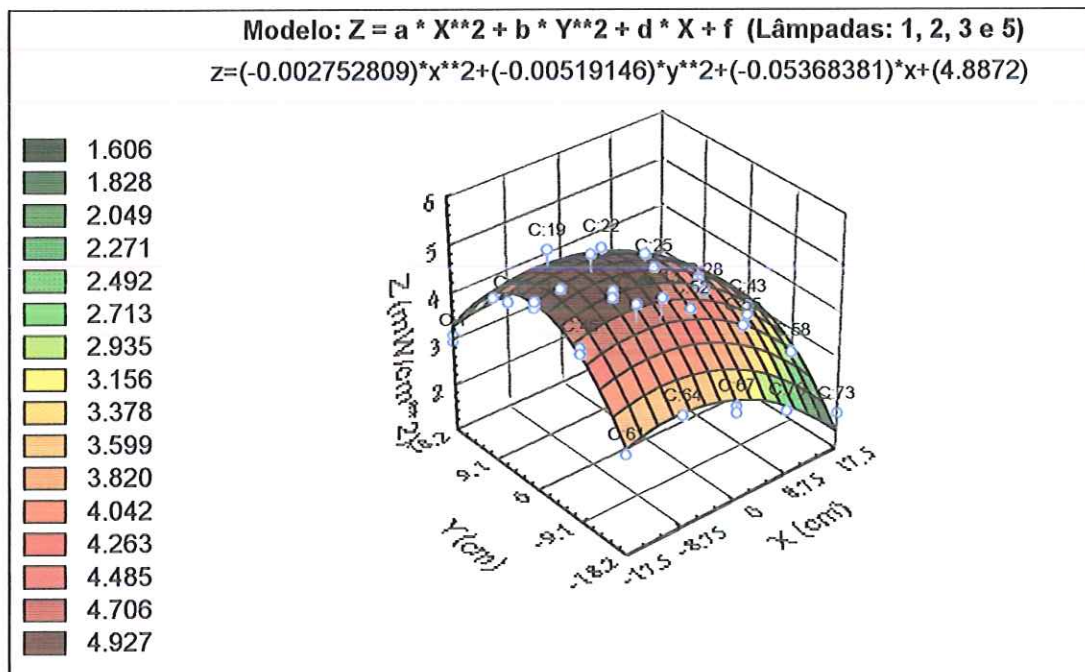


FIGURA A.24 - Superfície de resposta fornecida pelo Programa STATISTICA utilizando-se os dados de radiometria obtidos com as lâmpadas 1, 2, 3 e 5 ligadas.

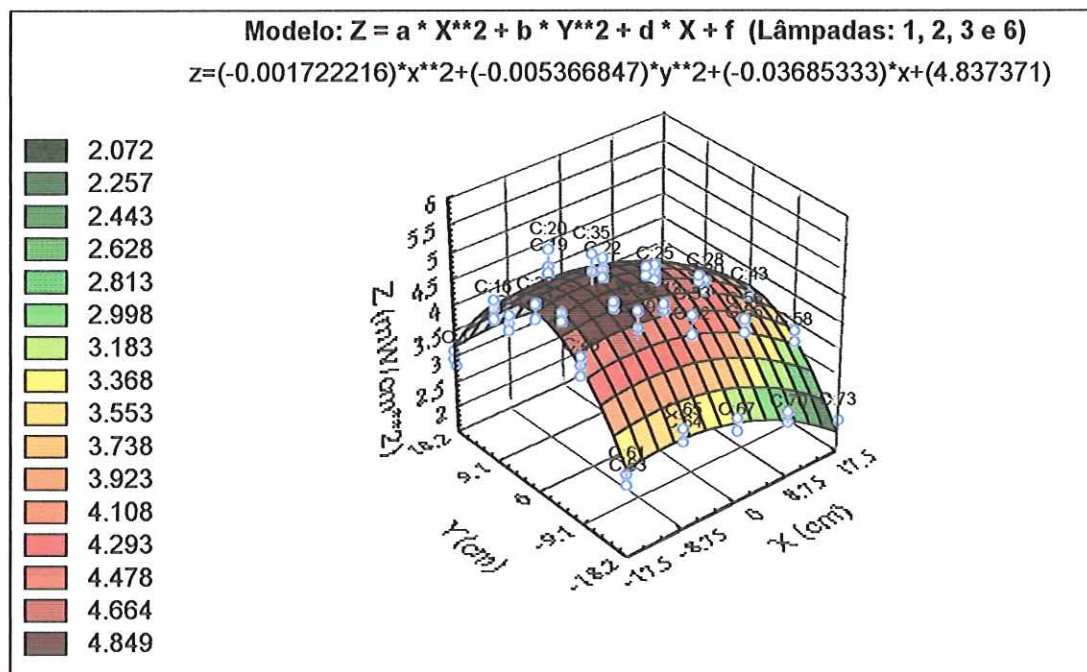


FIGURA A.25 - Superfície de resposta fornecida pelo Programa STATISTICA utilizando-se os dados de radiometria obtidos com as lâmpadas 1, 2, 3 e 6 ligadas.

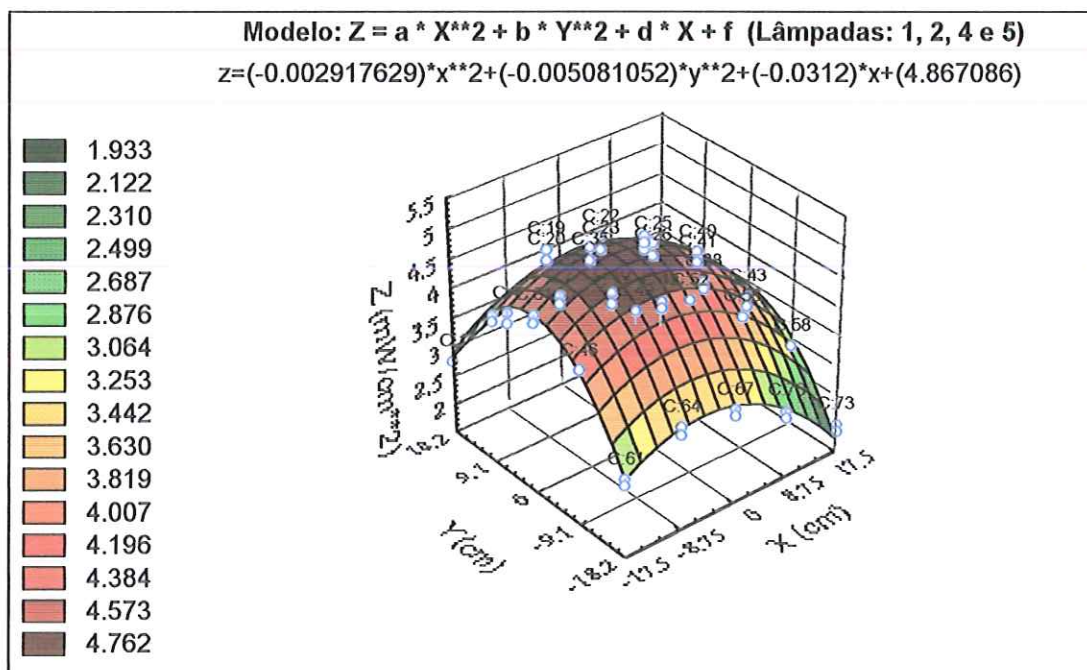


FIGURA A.26 - Superfície de resposta fornecida pelo Programa STATISTICA utilizando-se os dados de radiometria obtidos com as lâmpadas 1, 2, 4 e 5 ligadas.



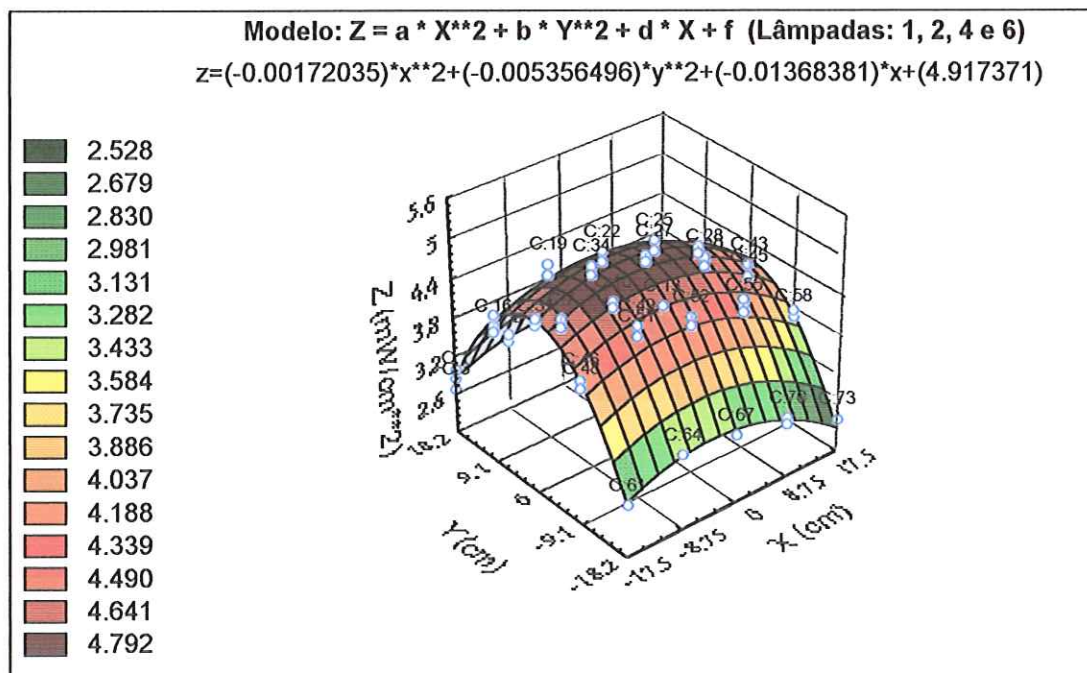


FIGURA A.27 - Superfície de resposta fornecida pelo Programa STATISTICA utilizando-se os dados de radiometria obtidos com as lâmpadas 1, 2, 4 e 6 ligadas.

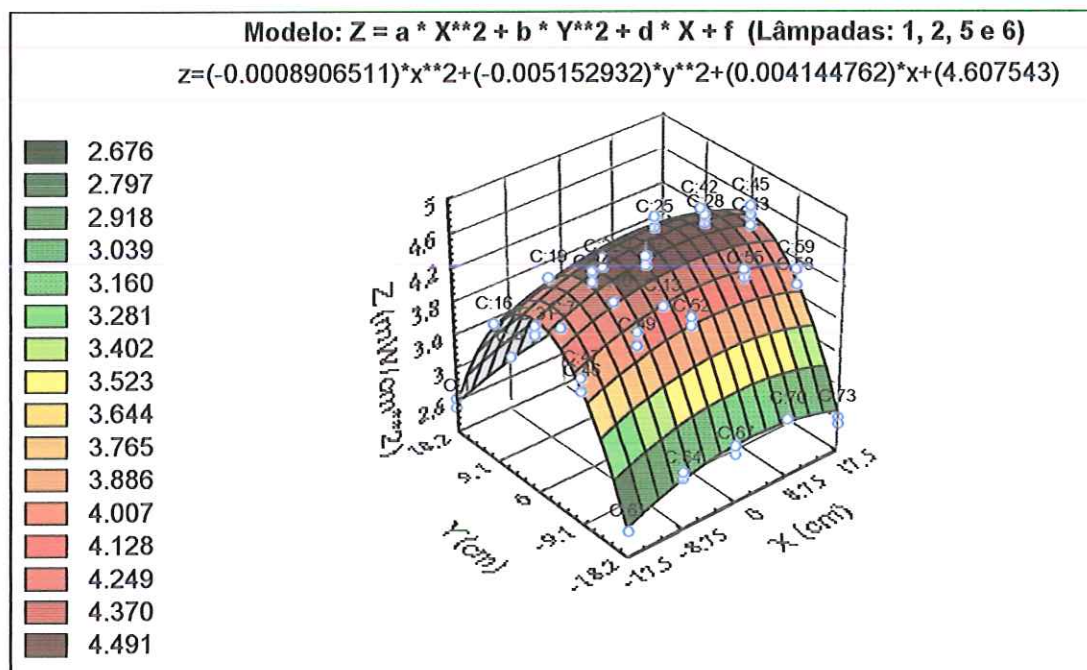


FIGURA A.28 - Superfície de resposta fornecida pelo Programa STATISTICA utilizando-se os dados de radiometria obtidos com as lâmpadas 1, 2, 5 e 6 ligadas.

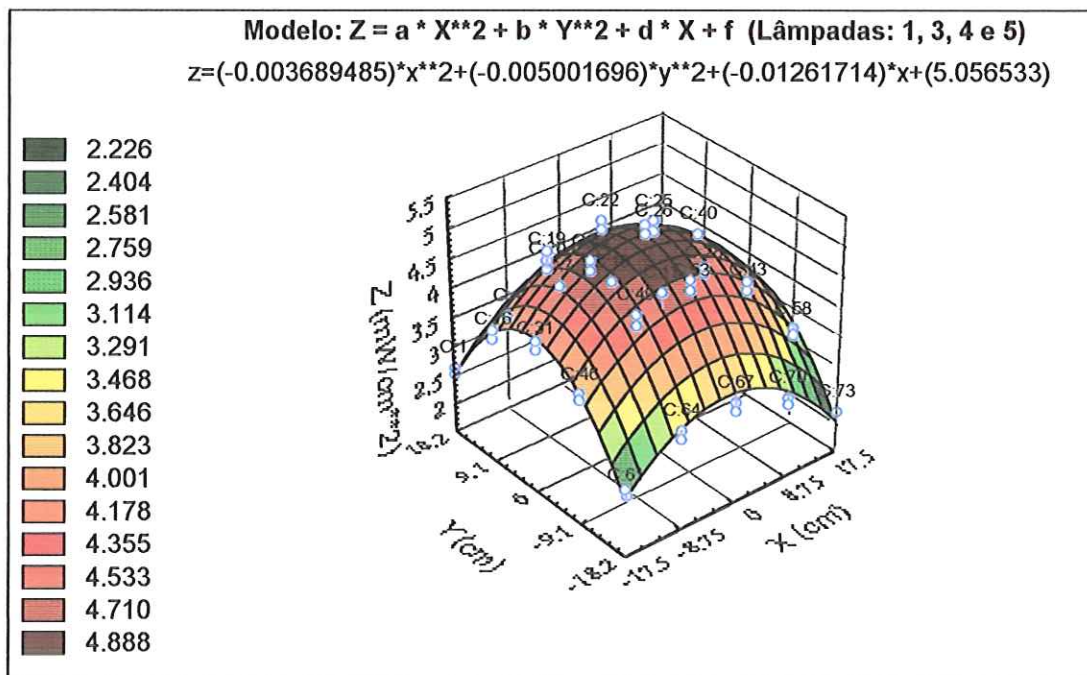


FIGURA A.29 - Superfície de resposta fornecida pelo Programa STATISTICA utilizando-se os dados de radiometria obtidos com as lâmpadas 1, 3, 4 e 5 ligadas.

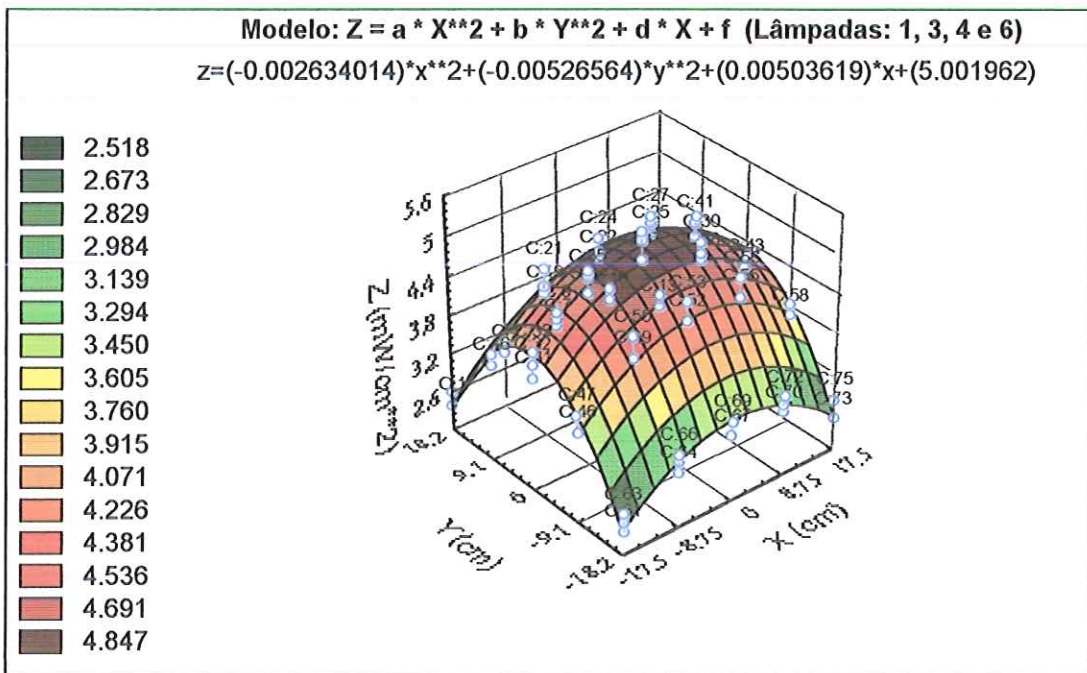
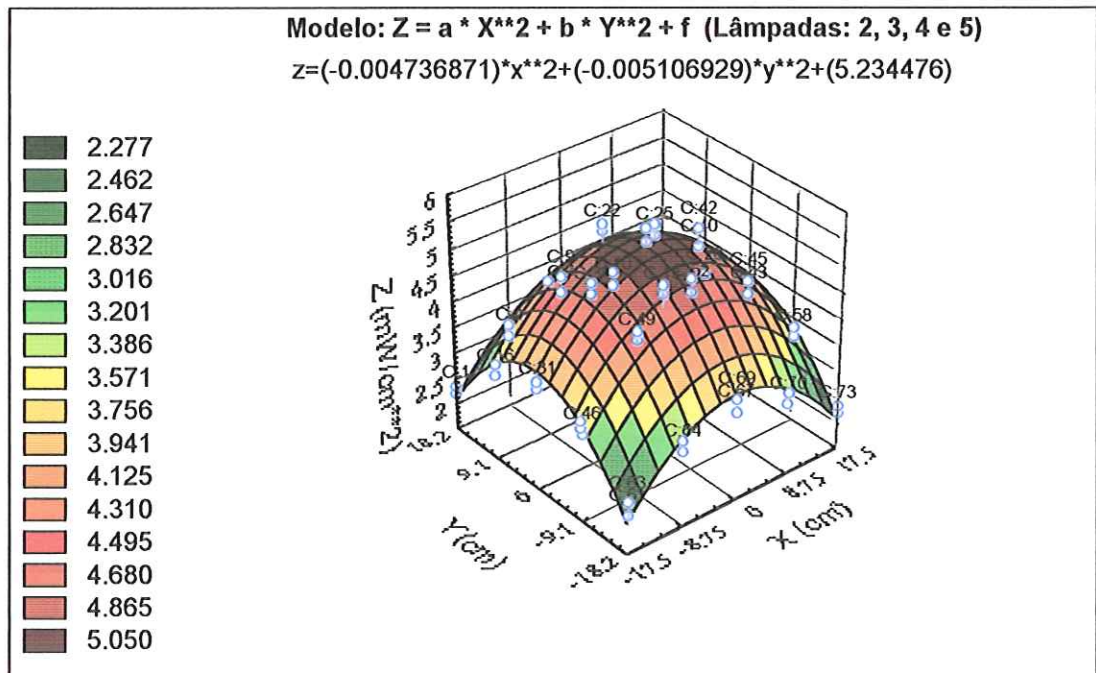
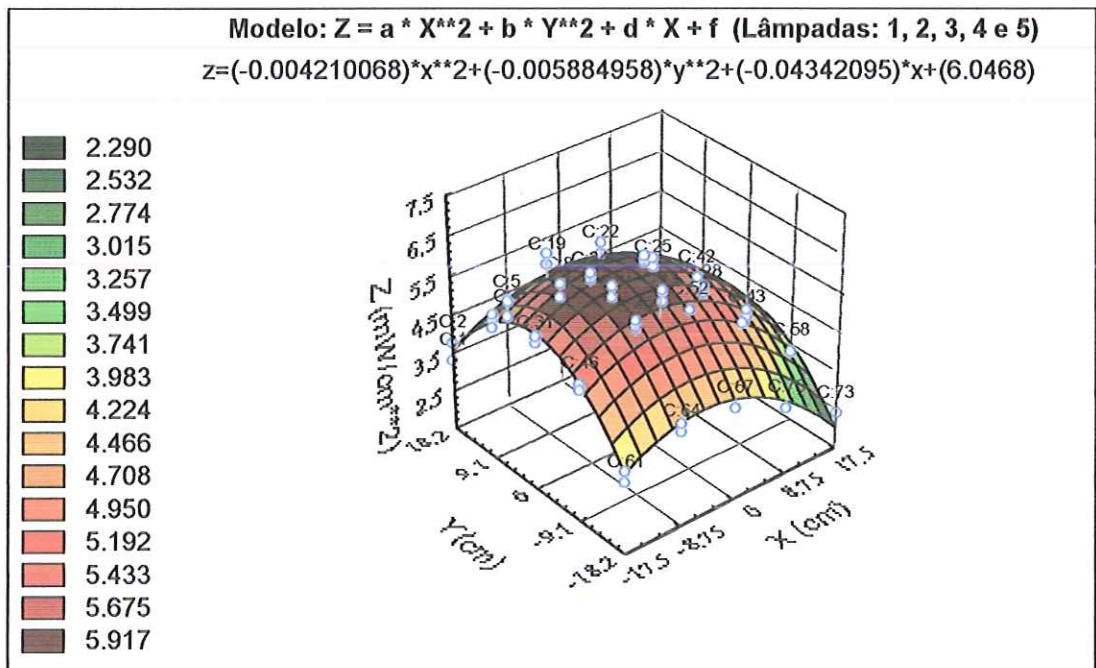


FIGURA A.30 - Superfície de resposta fornecida pelo Programa STATISTICA utilizando-se os dados de radiometria obtidos com as lâmpadas 1, 3, 4 e 6 ligadas.





**FIGURA A.31** - Superfície de resposta fornecida pelo Programa STATISTICA utilizando-se os dados de radiometria obtidos com as lâmpadas 2, 3, 4 e 5 ligadas.



**FIGURA A.32** - Superfície de resposta fornecida pelo Programa STATISTICA utilizando-se os dados de radiometria obtidos com as lâmpadas 1, 2, 3, 4 e 5 ligadas.

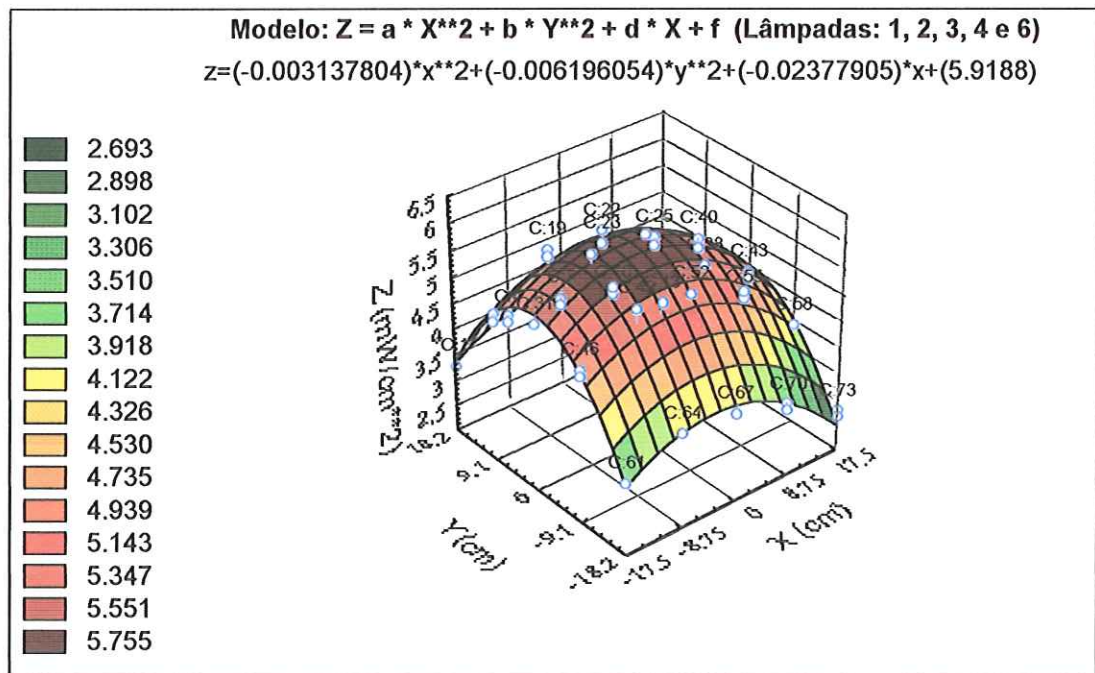


FIGURA A.33 - Superfície de resposta fornecida pelo Programa STATISTICA utilizando-se os dados de radiometria obtidos com as lâmpadas 1, 2, 3, 4 e 6 ligadas.

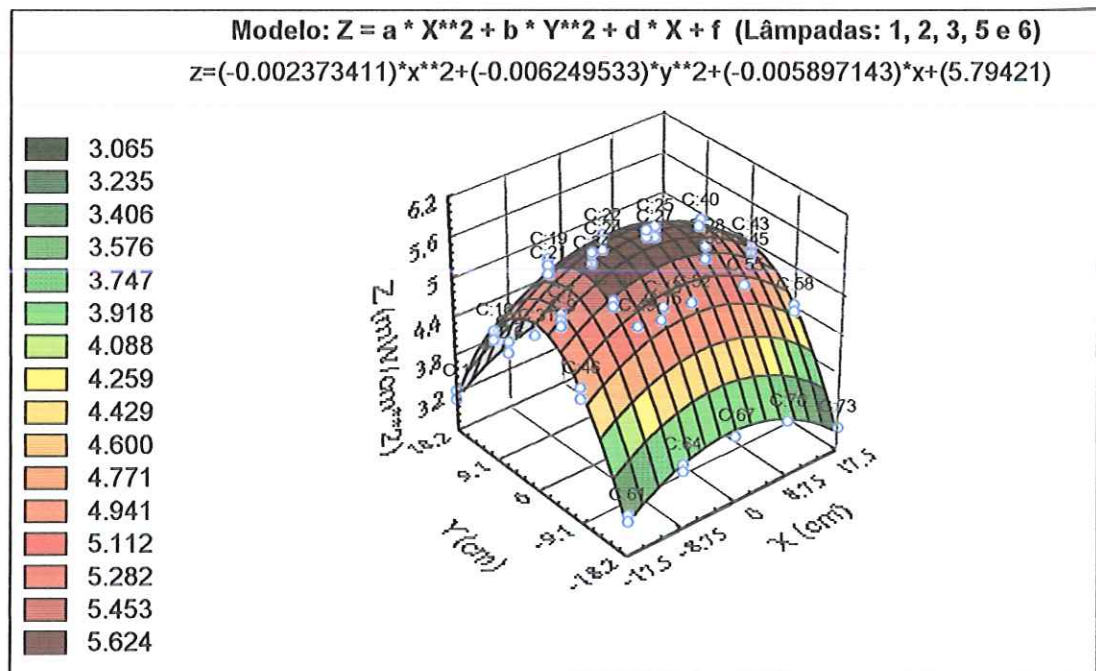
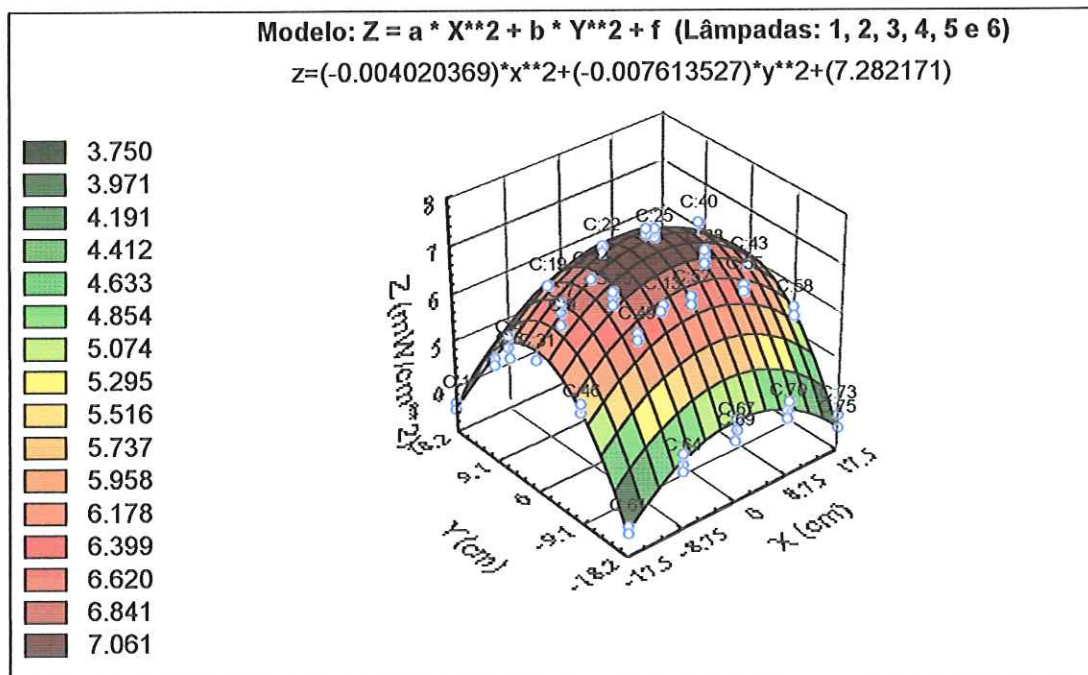


FIGURA A.34 - Superfície de resposta fornecida pelo Programa STATISTICA utilizando-se os dados de radiometria obtidos com as lâmpadas 1, 2, 3, 5 e 6 ligadas.



**FIGURA A.35 -** Superfície de resposta fornecida pelo Programa STATISTICA utilizando-se os dados de radiometria obtidos com as lâmpadas 1, 2, 3, 4, 5 e 6 ligadas.

## **ANEXO B**

### ***ENSAIOS DE DESINFECÇÃO EM BATELADA***

---

**TABELA B.1 -** Absorvâncias lidas na faixa de comprimento de onda compreendida de 200 a 400 nm, para amostras brutas e filtradas dos efluentes da ETE de Araraquara utilizados nos ensaios 5 e 6 de desinfecção em batelada.

$\lambda$ (nm)	Ensaio 5		Ensaio 6	
	Absorvância		Absorvância	
	Amostra bruta	Amostra filtrada	Amostra bruta	Amostra filtrada
200	2,587	2,409	2,887	2,531
205	2,523	2,310	2,875	2,460
210	2,404	2,169	2,768	2,319
215	2,178	1,937	2,536	2,058
220	1,922	1,685	2,263	1,781
225	1,422	1,208	1,698	1,253
230	1,003	0,818	1,264	0,846
235	0,779	0,611	1,035	0,635
240	0,596	0,444	0,851	0,466
245	0,484	0,344	0,740	0,370
250	0,431	0,297	0,686	0,325
<b>254</b>	<b>0,412</b>	<b>0,281</b>	<b>0,666</b>	<b>0,309</b>
255	0,410	0,278	0,663	0,307
260	0,398	0,269	0,651	0,299
265	0,389	0,262	0,641	0,293
270	0,375	0,251	0,626	0,285
275	0,361	0,241	0,610	0,277
280	0,346	0,228	0,594	0,268
285	0,331	0,215	0,574	0,258
290	0,312	0,200	0,551	0,247
295	0,292	0,185	0,529	0,235
300	0,272	0,169	0,505	0,223
305	0,253	0,154	0,484	0,212
310	0,241	0,145	0,470	0,205
315	0,223	0,129	0,449	0,191
320	0,212	0,121	0,436	0,185
325	0,204	0,114	0,425	0,184
330	0,194	0,108	0,413	0,181
335	0,185	0,101	0,401	0,178
340	0,177	0,095	0,392	0,176
345	0,171	0,091	0,384	0,173
350	0,161	0,082	0,362	0,163
355	0,157	0,077	0,354	0,161
360	0,148	0,071	0,341	0,158
365	0,141	0,066	0,333	0,155
370	0,136	0,062	0,325	0,151
375	0,130	0,058	0,319	0,146
380	0,125	0,054	0,308	0,141
385	0,118	0,050	0,297	0,133
390	0,114	0,046	0,283	0,123
395	0,110	0,044	0,271	0,110
400	0,106	0,041	0,256	0,096

TABELA B.2 - Absorvâncias lidas na faixa de comprimento de onda compreendida de 200 a 400 nm, para amostras brutas e filtradas dos efluentes da ETE de Araraquara utilizados nos ensaios 7 e 8 de desinfecção em batelada.

$\lambda$ (nm)	Ensaio 7		Ensaio 8	
	Absorvância		Absorvância	
	Amostra bruta	Amostra filtrada	Amostra bruta	Amostra filtrada
200	2,786	2,609	2,881	2,747
205	2,771	2,591	2,836	2,699
210	2,712	2,501	2,768	2,593
215	2,540	2,304	2,575	2,359
220	2,320	2,050	2,316	2,097
225	1,725	1,481	1,734	1,543
230	1,223	1,002	1,268	1,105
235	0,949	0,743	1,019	0,871
240	0,728	0,537	0,817	0,681
245	0,594	0,414	0,693	0,564
250	0,530	0,356	0,633	0,508
<b>254</b>	<b>0,507</b>	<b>0,335</b>	<b>0,612</b>	<b>0,488</b>
255	0,503	0,332	0,609	0,485
260	0,489	0,320	0,596	0,473
265	0,478	0,312	0,585	0,465
270	0,461	0,299	0,568	0,450
275	0,446	0,286	0,552	0,438
280	0,429	0,273	0,534	0,424
285	0,410	0,259	0,513	0,408
290	0,388	0,243	0,489	0,390
295	0,364	0,226	0,465	0,372
300	0,339	0,208	0,439	0,353
305	0,315	0,190	0,420	0,339
310	0,301	0,179	0,406	0,329
315	0,277	0,162	0,381	0,311
320	0,264	0,153	0,366	0,301
325	0,254	0,145	0,352	0,292
330	0,243	0,137	0,338	0,283
335	0,233	0,130	0,324	0,275
340	0,224	0,124	0,314	0,267
345	0,217	0,118	0,305	0,262
350	0,197	0,107	0,292	0,254
355	0,188	0,101	0,283	0,249
360	0,178	0,094	0,271	0,239
365	0,171	0,088	0,260	0,234
370	0,164	0,083	0,253	0,227
375	0,157	0,077	0,245	0,221
380	0,152	0,072	0,235	0,214
385	0,144	0,067	0,222	0,203
390	0,138	0,064	0,210	0,193
395	0,134	0,062	0,196	0,175
400	0,131	0,059	0,180	0,148



**TABELA B.3 -** Absorvâncias lidas na faixa de comprimento de onda compreendida de 200 a 400 nm, para amostras brutas e filtradas dos efluentes da ETE de Lins utilizados nos ensaios V, VI e VII de desinfecção em batelada.

$\lambda$ (nm)	Ensaio V		Ensaio VI		Ensaio VII	
	Absorvância		Absorvância		Absorvância	
	Amostra bruta	Amostra filtrada	Amostra bruta	Amostra filtrada	Amostra bruta	Amostra filtrada
200	2,912	2,680	2,893	2,052	2,904	1,947
205	2,689	2,349	2,687	1,620	2,653	1,534
210	2,354	1,987	2,349	1,300	2,283	1,225
215	2,079	1,730	2,075	1,111	1,994	1,032
220	1,937	1,596	1,933	1,025	1,842	0,940
225	1,730	1,414	1,726	0,902	1,633	0,818
230	1,516	1,224	1,508	0,761	1,428	0,694
235	1,351	1,079	1,336	0,654	1,275	0,604
240	1,196	0,945	1,177	0,558	1,131	0,522
245	1,105	0,864	1,083	0,512	1,041	0,471
250	1,061	0,825	1,038	0,472	0,996	0,443
<b>254</b>	<b>1,044</b>	<b>0,807</b>	<b>1,019</b>	<b>0,458</b>	<b>0,978</b>	<b>0,431</b>
255	1,040	0,804	1,015	0,455	0,974	0,428
260	1,025	0,788	0,998	0,443	0,957	0,417
265	1,008	0,772	0,982	0,432	0,941	0,407
270	0,973	0,742	0,948	0,411	0,910	0,388
275	0,939	0,713	0,915	0,392	0,880	0,371
280	0,902	0,682	0,879	0,372	0,846	0,352
285	0,861	0,647	0,839	0,349	0,807	0,331
290	0,811	0,605	0,790	0,325	0,760	0,307
295	0,759	0,563	0,739	0,299	0,712	0,282
300	0,710	0,523	0,690	0,273	0,663	0,259
305	0,674	0,492	0,654	0,252	0,629	0,239
310	0,656	0,474	0,634	0,241	0,611	0,227
315	0,624	0,448	0,605	0,222	0,583	0,210
320	0,606	0,432	0,588	0,211	0,566	0,200
325	0,592	0,419	0,574	0,202	0,553	0,192
330	0,577	0,405	0,559	0,194	0,539	0,184
335	0,562	0,392	0,545	0,184	0,526	0,175
340	0,549	0,379	0,531	0,175	0,512	0,167
345	0,537	0,369	0,519	0,168	0,502	0,161
350	0,517	0,356	0,504	0,158	0,491	0,153
355	0,506	0,346	0,492	0,151	0,480	0,148
360	0,493	0,334	0,480	0,144	0,468	0,140
365	0,485	0,326	0,472	0,138	0,460	0,135
370	0,478	0,319	0,465	0,133	0,454	0,130
375	0,472	0,313	0,459	0,128	0,448	0,126
380	0,464	0,305	0,452	0,124	0,442	0,122
385	0,456	0,297	0,443	0,118	0,435	0,116
390	0,447	0,290	0,435	0,113	0,428	0,112
395	0,440	0,284	0,428	0,109	0,422	0,109
400	0,433	0,278	0,422	0,106	0,416	0,105

**TABELA B.4 -** Valores da concentração inicial e sobrevivente, do logaritmo da fração sobrevivente e da percentagem de eficiência de inativação obtidos para coliformes totais nos ensaios de desinfecção em batelada realizados com efluentes da ETE de Araraquara e lâmina líquida de 4 cm.

Ensaio	t (s)	D <sub>rv</sub> (Wh/m <sup>3</sup> )	N <sub>0</sub> (NMP/100 mL)	N (NMP/100 mL)	LOG (N/N <sub>0</sub> )	E (%)
1.1	15	1,08	7,5.10 <sup>5</sup>	1,1.10 <sup>4</sup>	-1,84	98,560
1.2	30	2,16	7,5.10 <sup>5</sup>	3,7.10 <sup>3</sup>	-2,31	99,510
1.3	60	4,31	7,5.10 <sup>5</sup>	1,2.10 <sup>3</sup>	-2,80	99,840
1.4	90	6,47	7,5.10 <sup>5</sup>	1,7.10 <sup>2</sup>	-3,63	99,977
1.5	120	8,62	7,5.10 <sup>5</sup>	66	-4,06	99,991
2.1	15	0,78	1,3.10 <sup>6</sup>	1,8.10 <sup>4</sup>	-1,84	98,565
2.2	30	1,55	1,3.10 <sup>6</sup>	2,0.10 <sup>3</sup>	-2,81	99,845
2.3	60	3,10	1,3.10 <sup>6</sup>	3,4.10 <sup>2</sup>	-3,57	99,973
2.4	90	4,65	1,3.10 <sup>6</sup>	1,3.10 <sup>2</sup>	-3,99	99,990
2.5	120	6,20	1,3.10 <sup>6</sup>	99	-4,11	99,992
3.1	15	0,71	1,2.10 <sup>6</sup>	1,6.10 <sup>4</sup>	-1,87	98,646
3.2	30	1,42	1,2.10 <sup>6</sup>	3,2.10 <sup>3</sup>	-2,58	99,739
3.3	45	2,13	1,2.10 <sup>6</sup>	1,9.10 <sup>3</sup>	-2,81	99,844
3.4	60	2,85	1,2.10 <sup>6</sup>	2,7.10 <sup>2</sup>	-3,65	99,978
3.5	90	4,27	1,2.10 <sup>6</sup>	2,1.10 <sup>2</sup>	-3,77	99,983
3.6	120	5,69	1,2.10 <sup>6</sup>	78	-4,19	99,994
4.1	5	0,21	1,2.10 <sup>6</sup>	7,7.10 <sup>5</sup>	-0,20	36,322
4.2	15	0,62	1,2.10 <sup>6</sup>	4,5.10 <sup>4</sup>	-1,43	96,306
4.3	30	1,24	1,2.10 <sup>6</sup>	1,6.10 <sup>3</sup>	-2,87	99,864
4.4	45	1,86	1,2.10 <sup>6</sup>	1,3.10 <sup>3</sup>	-2,96	99,890
4.5	60	2,47	1,2.10 <sup>6</sup>	9,5.10 <sup>2</sup>	-3,11	99,922
4.6	75	3,09	1,2.10 <sup>6</sup>	5,2.10 <sup>2</sup>	-3,37	99,957
4.7	90	3,71	1,2.10 <sup>6</sup>	4,4.10 <sup>2</sup>	-3,44	99,964
4.8	120	4,95	1,2.10 <sup>6</sup>	2,0.10 <sup>2</sup>	-3,78	99,983
5.1	5	0,28	2,1.10 <sup>5</sup>	8,1.10 <sup>4</sup>	-0,41	61,155
5.2	10	0,57	2,1.10 <sup>5</sup>	3,3.10 <sup>4</sup>	-0,79	83,965
5.3	15	0,85	2,1.10 <sup>5</sup>	1,2.10 <sup>4</sup>	-1,22	94,007
5.4	20	1,13	2,1.10 <sup>5</sup>	3,3.10 <sup>3</sup>	-1,80	98,400
5.5	30	1,70	2,1.10 <sup>5</sup>	1,6.10 <sup>3</sup>	-2,12	99,248
5.6	45	2,54	2,1.10 <sup>5</sup>	6,4.10 <sup>2</sup>	-2,51	99,690
5.7	60	3,39	2,1.10 <sup>5</sup>	4,2.10 <sup>2</sup>	-2,70	99,799
5.8	90	5,09	2,1.10 <sup>5</sup>	78	-3,43	99,963
5.9	120	6,78	2,1.10 <sup>5</sup>	35	-3,78	99,983

**TABELA B.5 -** Valores da concentração inicial e sobrevivente, do logaritmo da fração sobrevivente e da porcentagem de eficiência de inativação obtidos para *E. coli* nos ensaios de desinfecção em batelada realizados com efluentes da ETE de Araraquara e lâmina líquida de 4 cm.

Ensaio	t (s)	$D_{rv}$ (Wh/m <sup>3</sup> )	$N_0$ (NMP/100 mL)	N (NMP/100 mL)	LOG (N/N <sub>0</sub> )	E (%)
1.1	15	1,08	$6,3 \cdot 10^4$	$3,1 \cdot 10^3$	-1,31	95,141
1.2	30	2,16	$6,3 \cdot 10^4$	$8,0 \cdot 10^2$	-1,89	98,724
1.3	60	4,31	$6,3 \cdot 10^4$	< 1	indeterminado	100
1.4	90	6,47	$6,3 \cdot 10^4$	10	-3,80	99,984
1.5	120	8,62	$6,3 \cdot 10^4$	< 1	indeterminado	100
2.1	15	0,78	$2,5 \cdot 10^5$	$4,0 \cdot 10^3$	-1,79	98,380
2.2	30	1,55	$2,5 \cdot 10^5$	$5,1 \cdot 10^2$	-2,68	99,793
2.3	60	3,10	$2,5 \cdot 10^5$	75	-3,51	99,969
2.4	90	4,65	$2,5 \cdot 10^5$	44	-3,74	99,982
2.5	120	6,20	$2,5 \cdot 10^5$	16	-4,18	99,993
3.1	15	0,71	$2,1 \cdot 10^5$	$4,3 \cdot 10^3$	-1,69	97,966
3.2	30	1,42	$2,1 \cdot 10^5$	$3,7 \cdot 10^2$	-2,75	99,824
3.3	45	2,13	$2,1 \cdot 10^5$	$1,8 \cdot 10^2$	-3,07	99,914
3.4	60	2,85	$2,1 \cdot 10^5$	55	-3,58	99,974
3.5	90	4,27	$2,1 \cdot 10^5$	39	-3,74	99,982
3.6	120	5,69	$2,1 \cdot 10^5$	18	-4,08	99,992
4.1	5	0,21	$5,9 \cdot 10^4$	$4,6 \cdot 10^4$	-0,11	21,801
4.2	15	0,62	$5,9 \cdot 10^4$	$7,8 \cdot 10^3$	-0,88	86,749
4.3	30	1,24	$5,9 \cdot 10^4$	$2,4 \cdot 10^2$	-2,40	99,601
4.4	45	1,86	$5,9 \cdot 10^4$	97	-2,79	99,836
4.5	60	2,47	$5,9 \cdot 10^4$	65	-2,96	99,890
4.6	75	3,09	$5,9 \cdot 10^4$	61	-2,99	99,897
4.7	90	3,71	$5,9 \cdot 10^4$	52	-3,06	99,912
4.8	120	4,95	$5,9 \cdot 10^4$	28	-3,32	99,952
5.1	5	0,28	$7,0 \cdot 10^4$	$1,5 \cdot 10^4$	-0,66	78,006
5.2	10	0,57	$7,0 \cdot 10^4$	$5,6 \cdot 10^3$	-1,10	91,987
5.3	15	0,85	$7,0 \cdot 10^4$	$2,7 \cdot 10^3$	-1,42	96,189
5.4	20	1,13	$7,0 \cdot 10^4$	$9,3 \cdot 10^2$	-1,88	98,670
5.5	30	1,70	$7,0 \cdot 10^4$	$4,2 \cdot 10^2$	-2,22	99,397
5.6	45	2,54	$7,0 \cdot 10^4$	$2,0 \cdot 10^2$	-2,55	99,716
5.7	60	3,39	$7,0 \cdot 10^4$	$1,5 \cdot 10^2$	-2,68	99,791
5.8	90	5,09	$7,0 \cdot 10^4$	18	-3,59	99,974
5.9	120	6,78	$7,0 \cdot 10^4$	15	-3,67	99,979

**TABELA B.6 -** Valores da concentração inicial e sobrevivente, do logaritmo da fração sobrevivente e da percentagem de eficiência de inativação obtidos para *C. perfringens* nos ensaios de desinfecção em batelada realizados com efluentes da ETE de Araraquara e lâmina líquida de 4 cm.

Ensaio	t (s)	$D_{rv}$ (Wh/m <sup>3</sup> )	$N_0$ (NMP/100 mL)	N (NMP/100 mL)	LOG (N/N <sub>0</sub> )	E (%)
1.1	15	1,08	NR	NR	NR	NR
1.2	30	2,16	NR	NR	NR	NR
1.3	60	4,31	NR	NR	NR	NR
1.4	90	6,47	NR	NR	NR	NR
1.5	120	8,62	NR	NR	NR	NR
2.1	15	0,78	$3,8 \cdot 10^3$	$1,9 \cdot 10^2$	-1,313	95,134
2.2	30	1,55	$3,8 \cdot 10^3$	$1,9 \cdot 10^2$	-1,308	95,082
2.3	60	3,10	$3,8 \cdot 10^3$	$2,0 \cdot 10^2$	-1,286	94,822
2.4	90	4,65	$3,8 \cdot 10^3$	$1,2 \cdot 10^2$	-1,491	96,773
2.5	120	6,20	$3,8 \cdot 10^3$	$1,3 \cdot 10^2$	-1,488	96,747
3.1	15	0,71	$6,0 \cdot 10^3$	$1,7 \cdot 10^3$	-0,548	71,667
3.2	30	1,42	$6,0 \cdot 10^3$	$2,2 \cdot 10^3$	-0,436	63,333
3.3	45	2,13	$6,0 \cdot 10^3$	$1,4 \cdot 10^3$	-0,632	76,667
3.4	60	2,85	$6,0 \cdot 10^3$	$2,1 \cdot 10^3$	-0,456	65,000
3.5	90	4,27	$6,0 \cdot 10^3$	$4,0 \cdot 10^2$	-1,176	93,333
3.6	120	5,69	$6,0 \cdot 10^3$	$4,0 \cdot 10^2$	-1,176	93,333
4.1	5	0,21	$1,7 \cdot 10^4$	$2,6 \cdot 10^3$	-0,815	84,706
4.2	15	0,62	$1,7 \cdot 10^4$	$1,2 \cdot 10^3$	-1,151	92,941
4.3	30	1,24	$1,7 \cdot 10^4$	$2,2 \cdot 10^3$	-0,888	87,059
4.4	45	1,86	$1,7 \cdot 10^4$	$2,1 \cdot 10^3$	-0,908	87,647
4.5	60	2,47	$1,7 \cdot 10^4$	$2,2 \cdot 10^3$	-0,888	87,059
4.6	75	3,09	$1,7 \cdot 10^4$	NR	NR	NR
4.7	90	3,71	$1,7 \cdot 10^4$	$2,6 \cdot 10^2$	-1,815	98,471
4.8	120	4,95	$1,7 \cdot 10^4$	$1,7 \cdot 10^3$	-1,000	90,000
5.1	5	0,28	$5,0 \cdot 10^4$	$7,0 \cdot 10^3$	-0,854	86,000
5.2	10	0,57	$5,0 \cdot 10^4$	NR	NR	NR
5.3	15	0,85	$5,0 \cdot 10^4$	$7,0 \cdot 10^3$	-0,854	86,000
5.4	20	1,13	$5,0 \cdot 10^4$	NR	NR	NR
5.5	30	1,70	$5,0 \cdot 10^4$	$3,3 \cdot 10^3$	-1,180	93,400
5.6	45	2,54	$5,0 \cdot 10^4$	$7,0 \cdot 10^3$	-0,854	86,000
5.7	60	3,39	$5,0 \cdot 10^4$	$1,4 \cdot 10^3$	-1,553	97,200
5.8	90	5,09	$5,0 \cdot 10^4$	$1,3 \cdot 10^3$	-1,585	97,400
5.9	120	6,78	$5,0 \cdot 10^4$	$1,7 \cdot 10^3$	-1,469	96,600

NR: não realizado

**TABELA B.7 -** Valores da concentração inicial e sobrevivente, do logaritmo da fração sobrevivente e da percentagem de eficiência de inativação obtidos para coliformes totais nos ensaios de desinfecção em batelada realizados com efluentes da ETE de Araraquara e lâmina líquida de 8 cm.

Ensaio	t (s)	$D_{rv}$ (Wh/m <sup>3</sup> )	$N_0$ (NMP/100 mL)	N (NMP/100 mL)	LOG (N/N <sub>0</sub> )	E (%)
6.1	15	0,26	$2,8 \cdot 10^5$	$4,1 \cdot 10^4$	-0,83	85,140
6.2	30	0,51	$2,8 \cdot 10^5$	$1,6 \cdot 10^4$	-1,22	94,026
6.3	60	1,03	$2,8 \cdot 10^5$	$4,4 \cdot 10^2$	-2,80	99,841
6.4	90	1,54	$2,8 \cdot 10^5$	$2,1 \cdot 10^2$	-3,11	99,922
6.5	120	2,05	$2,8 \cdot 10^5$	$3,4 \cdot 10^2$	-2,91	99,876
7.1	15	0,34	$4,8 \cdot 10^5$	$1,6 \cdot 10^5$	-0,49	67,524
7.2	30	0,67	$4,8 \cdot 10^5$	$4,4 \cdot 10^3$	-2,03	99,076
7.3	45	1,01	$4,8 \cdot 10^5$	$7,9 \cdot 10^2$	-2,79	99,836
7.4	60	1,35	$4,8 \cdot 10^5$	$8,4 \cdot 10^2$	-2,76	99,826
7.5	90	2,02	$4,8 \cdot 10^5$	$7,1 \cdot 10^2$	-2,83	99,853
8.1	15	0,28	$3,6 \cdot 10^5$	$4,7 \cdot 10^4$	-0,88	86,746
8.2	30	0,56	$3,6 \cdot 10^5$	$7,1 \cdot 10^3$	-1,70	98,012
8.3	45	0,84	$3,6 \cdot 10^5$	$1,9 \cdot 10^3$	-2,28	99,472
8.4	60	1,12	$3,6 \cdot 10^5$	$2,3 \cdot 10^3$	-2,20	99,369
8.5	90	1,68	$3,6 \cdot 10^5$	$3,3 \cdot 10^2$	-3,04	99,908
8.6	120	2,24	$3,6 \cdot 10^5$	$3,2 \cdot 10^2$	-3,05	99,911
9.1	10	0,22	$8,4 \cdot 10^5$	$1,6 \cdot 10^5$	-0,73	81,475
9.2	20	0,43	$8,4 \cdot 10^5$	$2,8 \cdot 10^4$	-1,48	96,667
9.3	30	0,65	$8,4 \cdot 10^5$	$7,9 \cdot 10^3$	-2,03	99,065
9.4	45	0,98	$8,4 \cdot 10^5$	$3,2 \cdot 10^3$	-2,42	99,618
9.5	60	1,30	$8,4 \cdot 10^5$	$1,2 \cdot 10^3$	-2,86	99,862
9.6	90	1,95	$8,4 \cdot 10^5$	$7,6 \cdot 10^2$	-3,05	99,910
9.7	120	2,61	$8,4 \cdot 10^5$	$6,1 \cdot 10^2$	-3,14	99,928

**TABELA B.8 -** Valores da concentração inicial e sobrevivente, do logaritmo da fração sobrevivente e da porcentagem de eficiência de inativação obtidos para *E. coli* nos ensaios de desinfecção em batelada realizados com efluentes da ETE de Araraquara e lâmina líquida de 8 cm.

Ensaio	t (s)	$D_{rv}$ (Wh/m <sup>3</sup> )	$N_0$ (NMP/100 mL)	N (NMP/100 mL)	LOG (N/N <sub>0</sub> )	E (%)
6.1	15	0,26	$7,8 \cdot 10^4$	$1,1 \cdot 10^4$	-0,86	86,331
6.2	30	0,51	$7,8 \cdot 10^4$	$2,8 \cdot 10^3$	-1,45	96,426
6.3	60	1,03	$7,8 \cdot 10^4$	50	-3,19	99,936
6.4	90	1,54	$7,8 \cdot 10^4$	40	-3,29	99,949
6.5	120	2,05	$7,8 \cdot 10^4$	57	-3,14	99,927
7.1	15	0,34	$1,5 \cdot 10^5$	$3,5 \cdot 10^4$	-0,63	76,652
7.2	30	0,67	$1,5 \cdot 10^5$	$1,5 \cdot 10^3$	-2,00	99,006
7.3	45	1,01	$1,5 \cdot 10^5$	$1,8 \cdot 10^2$	-2,93	99,882
7.4	60	1,35	$1,5 \cdot 10^5$	$1,5 \cdot 10^2$	-3,00	99,900
7.5	90	2,02	$1,5 \cdot 10^5$	$1,6 \cdot 10^2$	-2,96	99,889
8.1	15	0,28	$6,6 \cdot 10^4$	$8,4 \cdot 10^3$	-0,89	87,226
8.2	30	0,56	$6,6 \cdot 10^4$	$1,5 \cdot 10^3$	-1,63	97,662
8.3	45	0,84	$6,6 \cdot 10^4$	$1,7 \cdot 10^2$	-2,59	99,745
8.4	60	1,12	$6,6 \cdot 10^4$	$1,2 \cdot 10^2$	-2,72	99,811
8.5	90	1,68	$6,6 \cdot 10^4$	31	-3,33	99,953
8.6	120	2,24	$6,6 \cdot 10^4$	36	-3,26	99,945
9.1	10	0,22	$3,9 \cdot 10^4$	$1,3 \cdot 10^4$	-0,48	66,869
9.2	20	0,43	$3,9 \cdot 10^4$	$4,0 \cdot 10^3$	-0,99	89,823
9.3	30	0,65	$3,9 \cdot 10^4$	$1,0 \cdot 10^3$	-1,59	97,440
9.4	45	0,98	$3,9 \cdot 10^4$	$3,7 \cdot 10^2$	-2,03	99,060
9.5	60	1,30	$3,9 \cdot 10^4$	46	-2,94	99,884
9.6	90	1,95	$3,9 \cdot 10^4$	40	-3,00	99,899
9.7	120	2,61	$3,9 \cdot 10^4$	47	-2,92	99,880

**TABELA B.9 -** Valores da concentração inicial e sobrevivente, do logaritmo da fração sobrevivente e da percentagem de eficiência de inativação obtidos para coliformes totais nos ensaios de desinfecção em batelada realizados com efluentes da ETE de Lins e lâmina líquida de 2 cm.

Ensaio	t (s)	$D_{rv}$ (Wh/m <sup>3</sup> )	$N_0$ (NMP/100 mL)	N (NMP/100 mL)	LOG (N/N <sub>0</sub> )	E (%)
I.1	40	1,34	$6,3 \cdot 10^6$	$1,5 \cdot 10^4$	-2,61	99,755
I.2	60	2,00	$6,3 \cdot 10^6$	$1,4 \cdot 10^4$	-2,66	99,782
I.3	120	4,01	$6,3 \cdot 10^6$	$3,9 \cdot 10^3$	-3,21	99,938
II.1	15	1,89	$2,7 \cdot 10^7$	$7,7 \cdot 10^5$	-1,55	97,172
II.2	30	3,79	$2,7 \cdot 10^7$	$2,0 \cdot 10^5$	-2,14	99,277
II.3	60	7,58	$2,7 \cdot 10^7$	$7,4 \cdot 10^4$	-2,56	99,727
II.4	90	11,36	$2,7 \cdot 10^7$	$6,9 \cdot 10^4$	-2,59	99,745
II.5	120	15,15	$2,7 \cdot 10^7$	$4,3 \cdot 10^4$	-2,81	99,844
III.1	15	1,27	$7,1 \cdot 10^5$	$1,1 \cdot 10^4$	-1,82	98,497
III.2	30	2,55	$7,1 \cdot 10^5$	$7,7 \cdot 10^2$	-2,97	99,892
III.3	60	5,10	$7,1 \cdot 10^5$	$2,1 \cdot 10^2$	-3,53	99,971
III.4	90	7,65	$7,1 \cdot 10^5$	74	-3,98	99,990
III.5	120	10,20	$7,1 \cdot 10^5$	10	-4,85	99,999
IV.1	15	0,89	$4,4 \cdot 10^5$	$4,2 \cdot 10^3$	-2,02	99,046
IV.2	30	1,79	$4,4 \cdot 10^5$	$5,2 \cdot 10^2$	-2,92	99,881
IV.3	60	3,58	$4,4 \cdot 10^5$	$3,4 \cdot 10^2$	-3,11	99,922
IV.4	90	5,37	$4,4 \cdot 10^5$	59	-3,87	99,986
IV.5	120	7,16	$4,4 \cdot 10^5$	$1,0 \cdot 10^2$	-3,64	99,977
V.1	10	0,61	$7,1 \cdot 10^5$	$3,4 \cdot 10^4$	-1,32	95,181
V.2	20	1,21	$7,1 \cdot 10^5$	$3,2 \cdot 10^3$	-2,34	99,546
V.3	30	1,82	$7,1 \cdot 10^5$	$7,8 \cdot 10^2$	-2,96	99,889
V.4	40	2,43	$7,1 \cdot 10^5$	$3,3 \cdot 10^2$	-3,33	99,954
V.5	60	3,64	$7,1 \cdot 10^5$	$1,9 \cdot 10^2$	-3,57	99,973
VI.1	10	0,62	$1,1 \cdot 10^6$	$8,0 \cdot 10^4$	-1,14	92,688
VI.2	20	1,24	$1,1 \cdot 10^6$	$5,9 \cdot 10^3$	-2,27	99,465
VI.3	30	1,86	$1,1 \cdot 10^6$	$2,4 \cdot 10^3$	-2,65	99,779
VI.4	40	2,49	$1,1 \cdot 10^6$	$1,3 \cdot 10^3$	-2,91	99,878
VI.5	50	3,11	$1,1 \cdot 10^6$	$3,8 \cdot 10^2$	-3,46	99,966
VI.6	60	3,73	$1,1 \cdot 10^6$	$4,3 \cdot 10^2$	-3,41	99,961
VI.7	90	5,59	$1,1 \cdot 10^6$	$3,1 \cdot 10^2$	-3,55	99,972
VII.1	5	0,32	$3,1 \cdot 10^6$	$6,1 \cdot 10^5$	-0,71	80,315
VII.2	10	0,65	$3,1 \cdot 10^6$	$9,3 \cdot 10^4$	-1,53	97,025
VII.3	20	1,29	$3,1 \cdot 10^6$	$7,7 \cdot 10^4$	-1,61	97,527
VII.4	30	1,94	$3,1 \cdot 10^6$	$6,5 \cdot 10^3$	-2,68	99,793
VII.5	40	2,59	$3,1 \cdot 10^6$	$2,1 \cdot 10^3$	-3,17	99,932
VII.6	50	3,23	$3,1 \cdot 10^6$	$7,7 \cdot 10^2$	-3,61	99,975
VII.7	60	3,88	$3,1 \cdot 10^6$	$1,4 \cdot 10^3$	-3,34	99,954
VII.8	90	5,82	$3,1 \cdot 10^6$	$2,2 \cdot 10^2$	-4,15	99,993

TABELA B.10 - Valores da concentração inicial e sobrevivente, do logaritmo da fração sobrevivente e da porcentagem de eficiência de inativação obtidos para *E. coli* nos ensaios de desinfecção em batelada realizados com efluentes da ETE de Lins e lâmina líquida de 2 cm.

Ensaio	t (s)	$D_{rv}$ (Wh/m <sup>3</sup> )	$N_0$ (NMP/100 mL)	N (NMP/100 mL)	LOG (N/N <sub>0</sub> )	E (%)
I.1	40	1,34	$8,6 \cdot 10^5$	$3,3 \cdot 10^3$	-2,42	99,621
I.2	60	2,00	$8,6 \cdot 10^5$	$2,6 \cdot 10^3$	-2,52	99,700
I.3	120	4,01	$8,6 \cdot 10^5$	$9,3 \cdot 10^2$	-2,97	99,892
II.1	15	1,89	$7,0 \cdot 10^4$	$1,0 \cdot 10^2$	-2,85	99,857
II.2	30	3,79	$7,0 \cdot 10^4$	< 1	indeterminado	100
II.3	60	7,58	$7,0 \cdot 10^4$	< 1	indeterminado	100
II.4	90	11,36	$7,0 \cdot 10^4$	< 1	indeterminado	100
II.5	120	15,15	$7,0 \cdot 10^4$	< 1	indeterminado	100
III.1	15	1,27	$2,3 \cdot 10^4$	$1,2 \cdot 10^2$	-2,29	99,484
III.2	30	2,55	$2,3 \cdot 10^4$	< 1	indeterminado	100
III.3	60	5,10	$2,3 \cdot 10^4$	< 1	indeterminado	100
III.4	90	7,65	$2,3 \cdot 10^4$	< 1	indeterminado	100
III.5	120	10,20	$2,3 \cdot 10^4$	< 1	indeterminado	100
IV.1	15	0,89	$9,7 \cdot 10^4$	$9,6 \cdot 10^2$	-2,01	99,016
IV.2	30	1,79	$9,7 \cdot 10^4$	83	-3,07	99,915
IV.3	60	3,58	$9,7 \cdot 10^4$	16	-3,80	99,984
IV.4	90	5,37	$9,7 \cdot 10^4$	7	-4,14	99,993
IV.5	120	7,16	$9,7 \cdot 10^4$	2	-4,69	99,998
V.1	10	0,61	$2,8 \cdot 10^5$	$1,4 \cdot 10^4$	-1,29	94,872
V.2	20	1,21	$2,8 \cdot 10^5$	$8,2 \cdot 10^2$	-2,53	99,704
V.3	30	1,82	$2,8 \cdot 10^5$	$1,0 \cdot 10^2$	-3,42	99,962
V.4	40	2,43	$2,8 \cdot 10^5$	73	-3,58	99,974
V.5	60	3,64	$2,8 \cdot 10^5$	5	-4,73	99,998
VI.1	10	0,62	$7,0 \cdot 10^4$	$9,8 \cdot 10^3$	-0,85	85,901
VI.2	20	1,24	$7,0 \cdot 10^4$	$1,9 \cdot 10^2$	-2,56	99,727
VI.3	30	1,86	$7,0 \cdot 10^4$	65	-3,03	99,907
VI.4	40	2,49	$7,0 \cdot 10^4$	23	-3,48	99,967
VI.5	50	3,11	$7,0 \cdot 10^4$	10	-3,85	99,986
VI.6	60	3,73	$7,0 \cdot 10^4$	< 1	indeterminado	100
VI.7	90	5,59	$7,0 \cdot 10^4$	< 1	indeterminado	100
VII.1	5	0,32	$1,1 \cdot 10^5$	$3,2 \cdot 10^4$	-0,51	69,320
VII.2	10	0,65	$1,1 \cdot 10^5$	$5,5 \cdot 10^3$	-1,29	94,821
VII.3	20	1,29	$1,1 \cdot 10^5$	$8,0 \cdot 10^2$	-2,12	99,247
VII.4	30	1,94	$1,1 \cdot 10^5$	64	-3,22	99,939
VII.5	40	2,59	$1,1 \cdot 10^5$	27	-3,59	99,974
VII.6	50	3,23	$1,1 \cdot 10^5$	6	-4,23	99,994
VII.7	60	3,88	$1,1 \cdot 10^5$	3	-4,53	99,997
VII.8	90	5,82	$1,1 \cdot 10^5$	< 1	indeterminado	100



TABELA B.11 - Valores da concentração inicial e sobrevivente, do logaritmo da fração sobrevivente e da porcentagem de eficiência de inativação obtidos para *C. perfringens* nos ensaios de desinfecção em batelada realizados com efluentes da ETE de Lins e lâmina líquida de 2 cm.

Ensaio	t (s)	$D_{rv}$ (Wh/m <sup>3</sup> )	$N_0$ (NMP/100 mL)	N (NMP/100 mL)	LOG (N/N <sub>0</sub> )	E (%)
I.1	40	1,34	NR	NR	NR	NR
I.2	60	2,00	NR	NR	NR	NR
I.3	120	4,01	NR	NR	NR	NR
II.1	15	1,89	$7,0 \cdot 10^5$	$1,6 \cdot 10^4$	-1,632	97,666
II.2	30	3,79	$7,0 \cdot 10^5$	$4,0 \cdot 10^3$	-2,243	99,429
II.3	60	7,58	$7,0 \cdot 10^5$	$4,0 \cdot 10^3$	-2,243	99,429
II.4	90	11,36	$7,0 \cdot 10^5$	$2,0 \cdot 10^3$	-2,544	99,714
II.5	120	15,15	$7,0 \cdot 10^5$	$2,0 \cdot 10^3$	-2,544	99,714
III.1	15	1,27	$1,7 \cdot 10^5$	$1,7 \cdot 10^4$	-1,000	90,000
III.2	30	2,55	$1,7 \cdot 10^5$	$2,2 \cdot 10^3$	-1,888	98,706
III.3	60	5,10	$1,7 \cdot 10^5$	$9,0 \cdot 10^2$	-2,276	99,471
III.4	90	7,65	$1,7 \cdot 10^5$	$4,0 \cdot 10^2$	-2,628	99,765
III.5	120	10,20	$1,7 \cdot 10^5$	$2,0 \cdot 10^2$	-2,929	99,882
IV.1	15	0,89	$1,4 \cdot 10^4$	$7,0 \cdot 10^3$	-0,301	50,000
IV.2	30	1,79	$1,4 \cdot 10^4$	$5,0 \cdot 10^3$	-0,447	64,286
IV.3	60	3,58	$1,4 \cdot 10^4$	$2,2 \cdot 10^3$	-0,804	84,286
IV.4	90	5,37	$1,4 \cdot 10^4$	$1,7 \cdot 10^3$	-0,916	87,857
IV.5	120	7,16	$1,4 \cdot 10^4$	$2,3 \cdot 10^2$	-1,784	98,357
V.1	10	0,61	$1,7 \cdot 10^4$	$1,7 \cdot 10^4$	0	0
V.2	20	1,21	$1,7 \cdot 10^4$	$1,7 \cdot 10^4$	0	0
V.3	30	1,82	$1,7 \cdot 10^4$	$8,0 \cdot 10^3$	-0,327	52,941
V.4	40	2,43	$1,7 \cdot 10^4$	$7,0 \cdot 10^3$	-0,385	58,824
V.5	60	3,64	$1,7 \cdot 10^4$	$3,0 \cdot 10^3$	-0,753	82,353
VI.1	10	0,62	$3,3 \cdot 10^4$	$5,0 \cdot 10^4$	-0,342	54,545
VI.2	20	1,24	$3,3 \cdot 10^4$	$8,0 \cdot 10^4$	-0,138	27,273
VI.3	30	1,86	$3,3 \cdot 10^4$	$3,0 \cdot 10^4$	-0,564	72,727
VI.4	40	2,49	$3,3 \cdot 10^4$	$2,3 \cdot 10^3$	-1,680	97,909
VI.5	50	3,11	$3,3 \cdot 10^4$	$3,6 \cdot 10^2$	-2,488	99,675
VI.6	60	3,73	$3,3 \cdot 10^4$	$5,0 \cdot 10^3$	-1,342	95,455
VI.7	90	5,59	$3,3 \cdot 10^4$	$3,4 \cdot 10^2$	-2,510	99,691
VII.1	5	0,32	$3,4 \cdot 10^4$	NR	NR	NR
VII.2	10	0,65	$3,4 \cdot 10^4$	$1,4 \cdot 10^4$	-0,391	59,357
VII.3	20	1,29	$3,4 \cdot 10^4$	$8,0 \cdot 10^3$	-0,634	76,775
VII.4	30	1,94	$3,4 \cdot 10^4$	$3,3 \cdot 10^3$	-1,019	90,420
VII.5	40	2,59	$3,4 \cdot 10^4$	$1,3 \cdot 10^3$	-1,423	96,226
VII.6	50	3,23	$3,4 \cdot 10^4$	NR	NR	NR
VII.7	60	3,88	$3,4 \cdot 10^4$	$1,3 \cdot 10^3$	-1,423	96,226
VII.8	90	5,82	$3,4 \cdot 10^4$	$1,1 \cdot 10^3$	-1,496	96,807

NR: não realizado

**TABELA B.12** - Valores da concentração inicial e sobrevivente, do logaritmo da fração sobrevivente e da percentagem de eficiência de inativação obtidos para colifagos nos ensaios de desinfecção em batelada realizados com efluentes das ETEs de Araraquara e de Lins (somente para os ensaios que apresentaram concentração sobrevivente nos efluentes desinfetados).

Ensaio	t (s)	$D_{rv}$ (Wh/m <sup>3</sup> )	$N_0$ (UFP/100 mL)	N (UFP/100 mL)	LOG (N/N <sub>0</sub> )	E (%)
1.1	15	1,08	4225	45	-1,97	98,935
1.2	30	2,16	4225	5	-2,93	99,882
2.1	15	0,78	565	35	-1,21	93,805
3.1	15	0,71	5425	5	-3,04	99,908
4.1	5	0,21	2450	330	-0,87	86,531
4.2	15	0,62	2450	25	-1,99	98,980
5.1	5	0,28	1900	20	-1,98	98,947
5.2	10	0,57	1900	15	-2,10	99,211
I.1	40	1,34	6567	50	-2,12	99,239
I.2	60	2,00	6567	70	-1,97	98,934
I.3	120	4,01	6567	75	-1,94	98,858
II.1	15	1,89	5875	5	-3,07	99,915
IV.1	15	0,89	1225	5	-2,39	99,592
V.1	10	0,61	2250	10	-2,35	99,556
VI.1	10	0,62	2475	15	-2,22	99,394

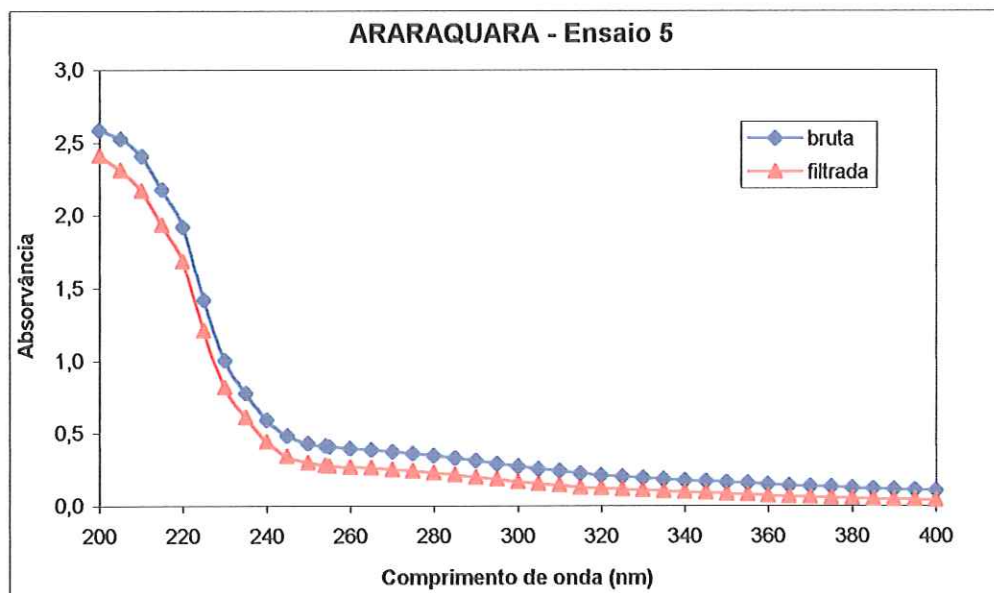


FIGURA B.1 - Comportamento da absorvância de 200 a 400 nm para amostra bruta e filtrada do efluente da ETE de Araraquara utilizado no ensaio 5 de desinfecção em batelada.

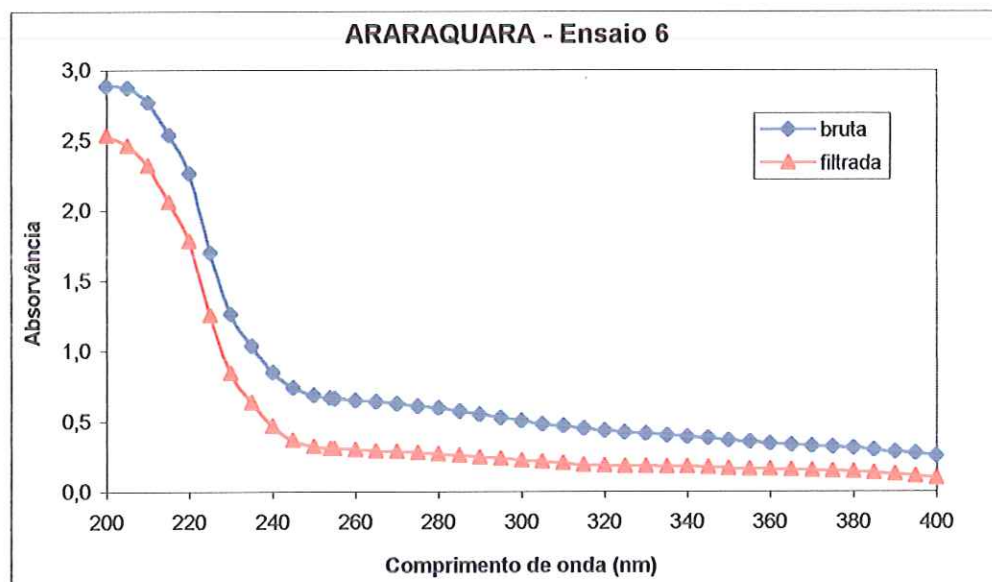


FIGURA B.2 - Comportamento da absorvância de 200 a 400 nm para amostra bruta e filtrada do efluente da ETE de Araraquara utilizado no ensaio 6 de desinfecção em batelada.

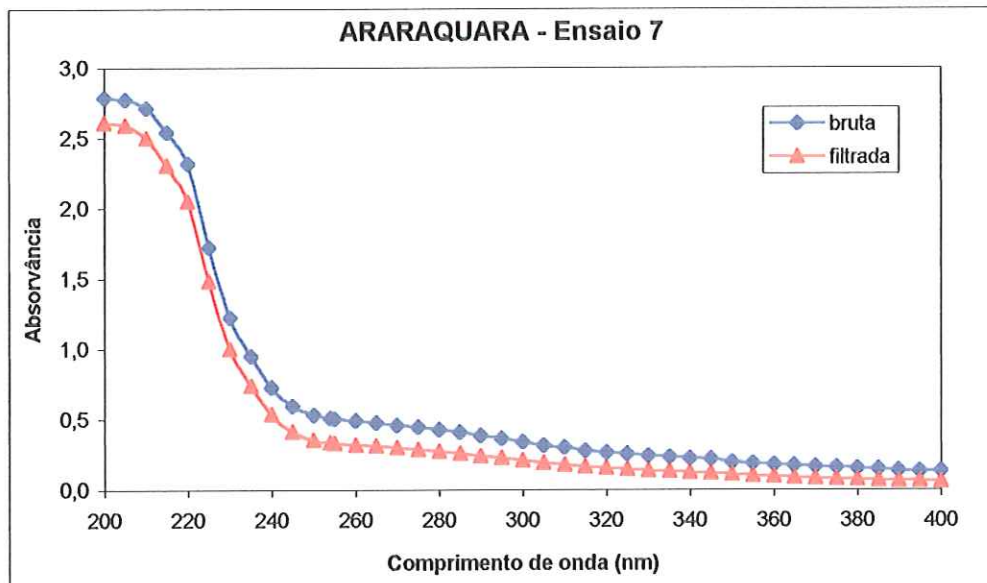


FIGURA B.3 - Comportamento da absorvância de 200 a 400 nm para amostra bruta e filtrada do efluente da ETE de Araraquara utilizado no ensaio 7 de desinfecção em batelada.

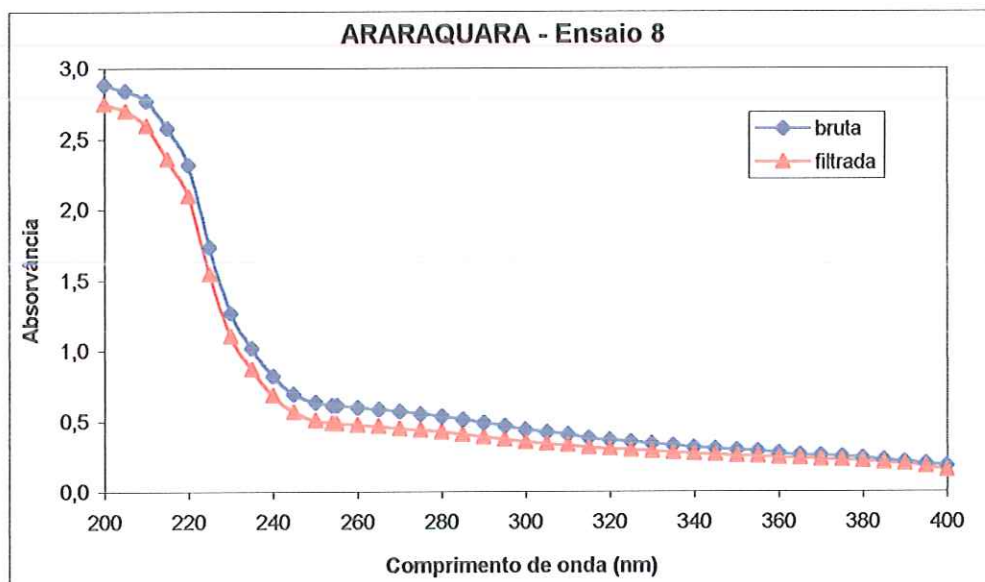
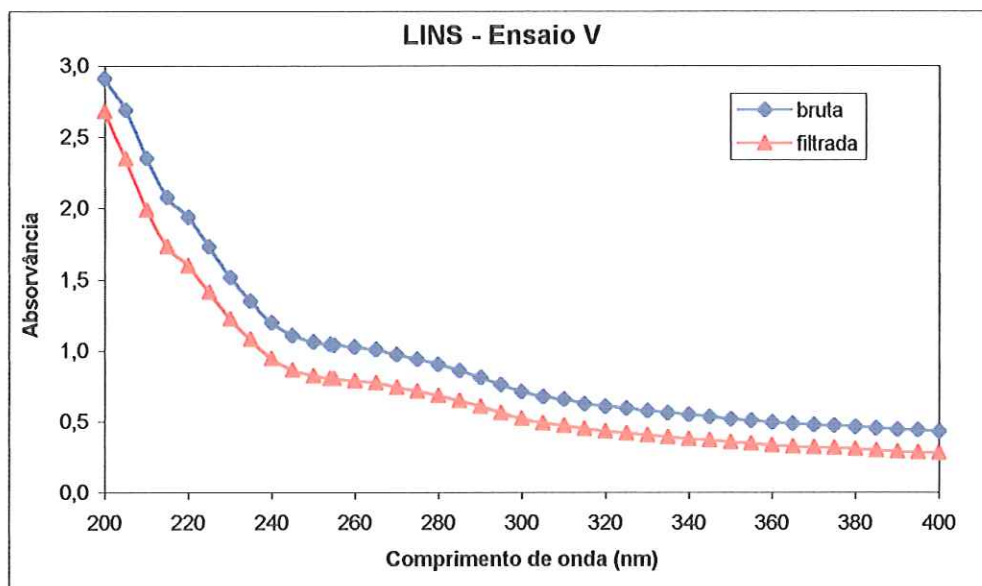
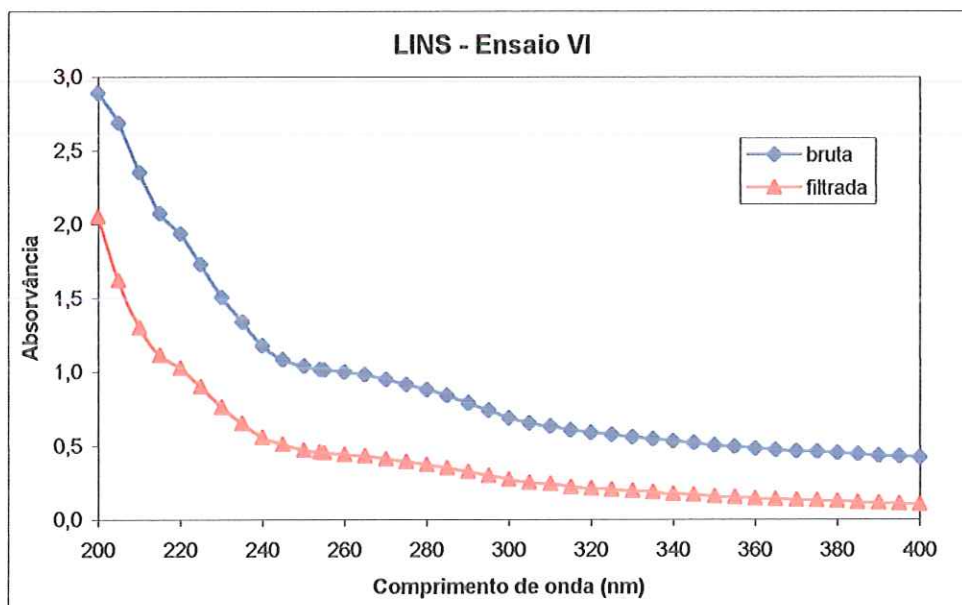


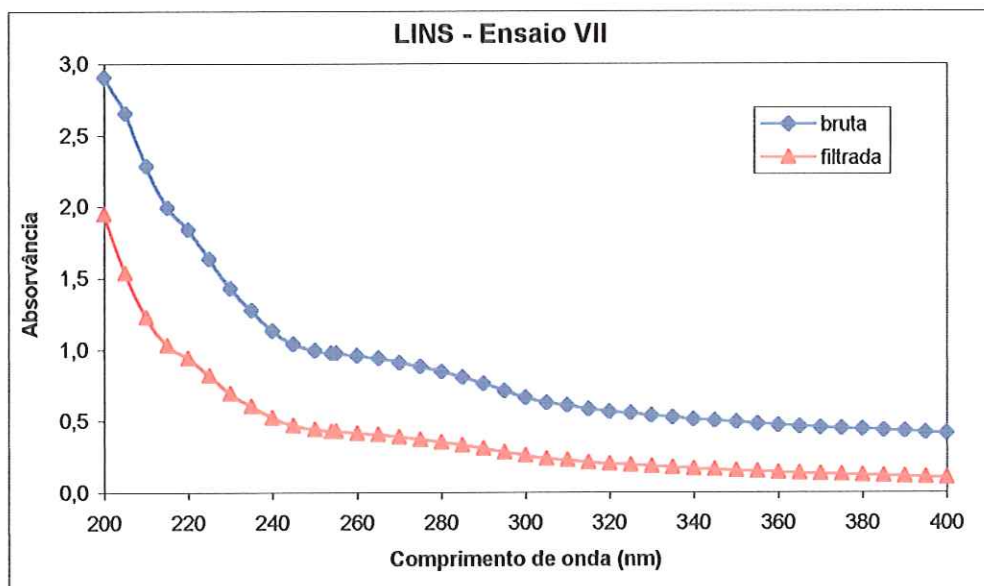
FIGURA B.4 - Comportamento da absorvância de 200 a 400 nm para amostra bruta e filtrada do efluente da ETE de Araraquara utilizado no ensaio 8 de desinfecção em batelada.



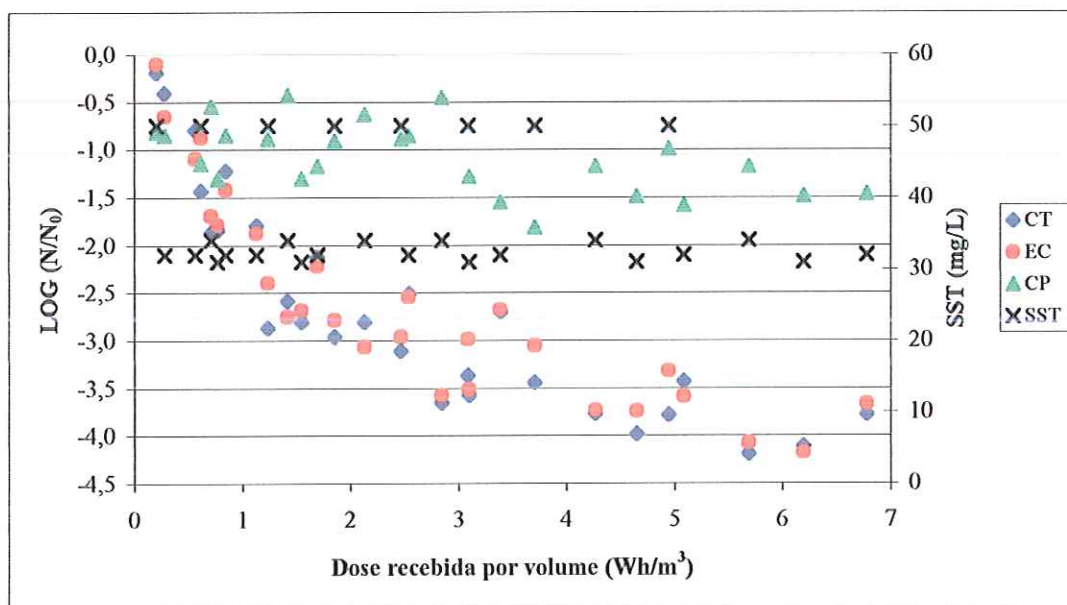
**FIGURA B.5** - Comportamento da absorvância de 200 a 400 nm para amostra bruta e filtrada do efluente da ETE de Lins utilizado no ensaio V de desinfecção em batelada.



**FIGURA B.6** - Comportamento da absorvância de 200 a 400 nm para amostra bruta e filtrada do efluente da ETE de Lins utilizado no ensaio VI de desinfecção em batelada.



**FIGURA B.7** - Comportamento da absorvância de 200 a 400 nm para amostra bruta e filtrada do efluente da ETE de Lins utilizado no ensaio VII de desinfecção em batelada.



**FIGURA B.8** - Relação dos SST na inativação de coliformes totais, *E. coli* e *C. perfringens* obtida nos ensaios de desinfecção 2, 3, 4 e 5 realizados com efluentes da ETE de Araraquara (L = 4 cm).

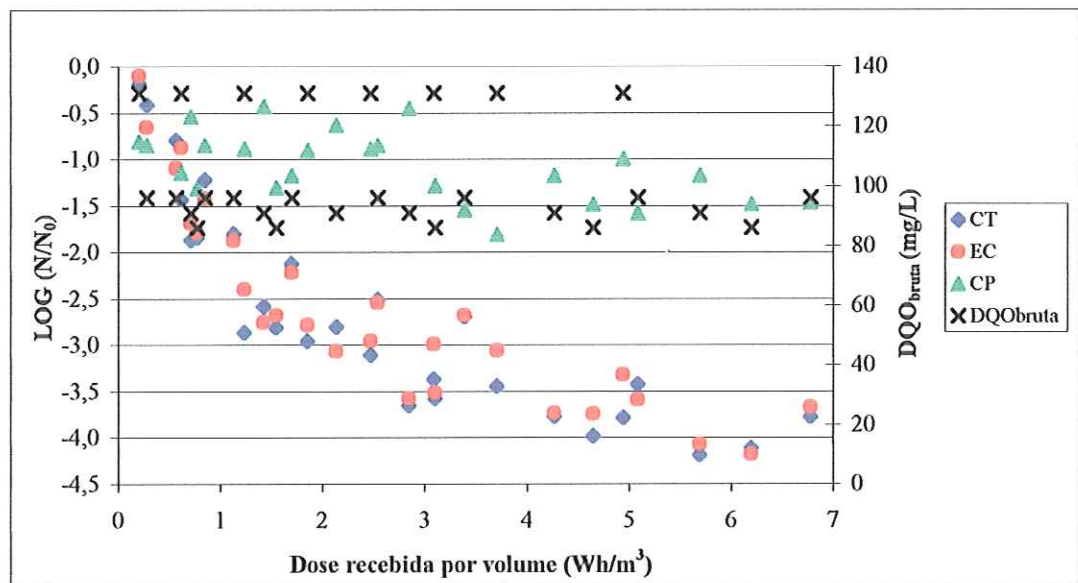


FIGURA B.9 - Relação da DQO<sub>bruta</sub> na inativação de coliformes totais, *E. coli* e *C. perfringens* obtida nos ensaios de desinfecção 2, 3, 4 e 5 realizados com efluentes da ETE de Araraquara (L = 4 cm).

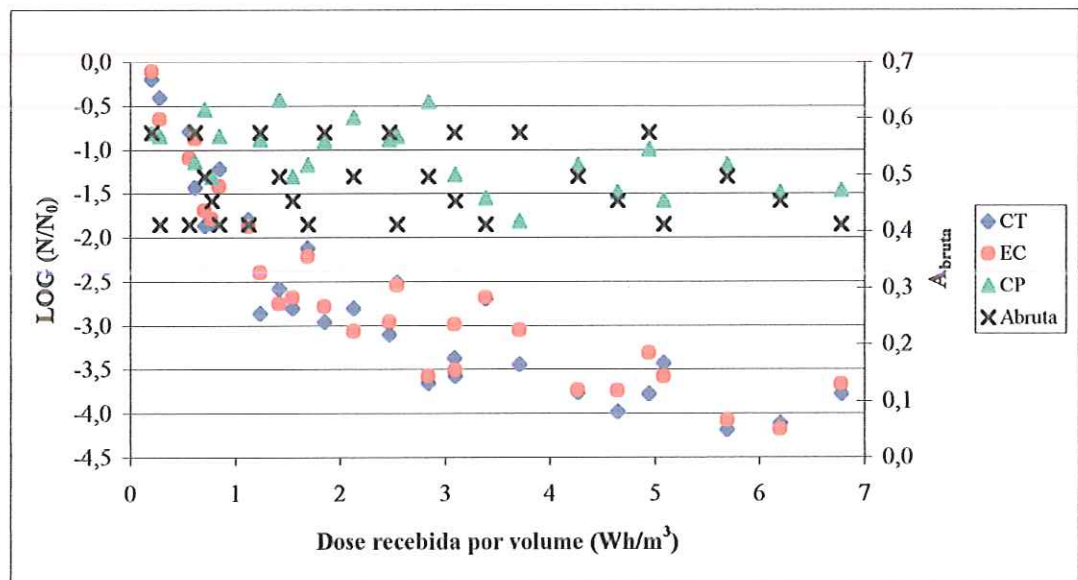


FIGURA B.10 - Relação da A<sub>bruta</sub> na inativação de coliformes totais, *E. coli* e *C. perfringens* obtida nos ensaios de desinfecção 2, 3, 4 e 5 realizados com efluentes da ETE de Araraquara (L = 4 cm).

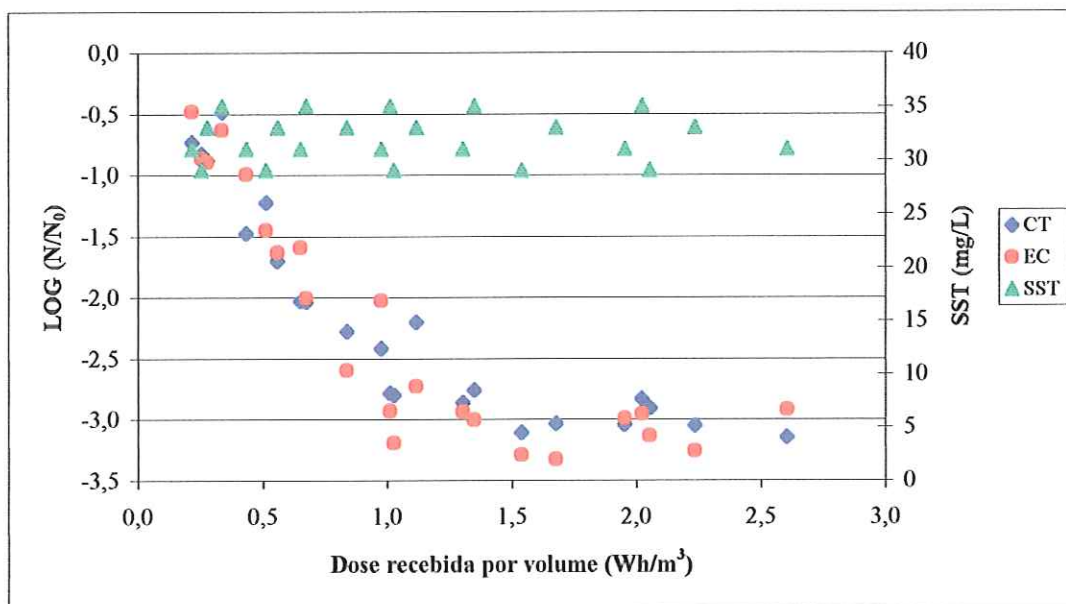


FIGURA B.11 - Relação dos SST na inativação de coliformes totais e *E. coli* obtida nos ensaios de desinfecção 6, 7, 8 e 9 realizados com efluentes da ETE de Araraquara ( $L = 8$  cm).

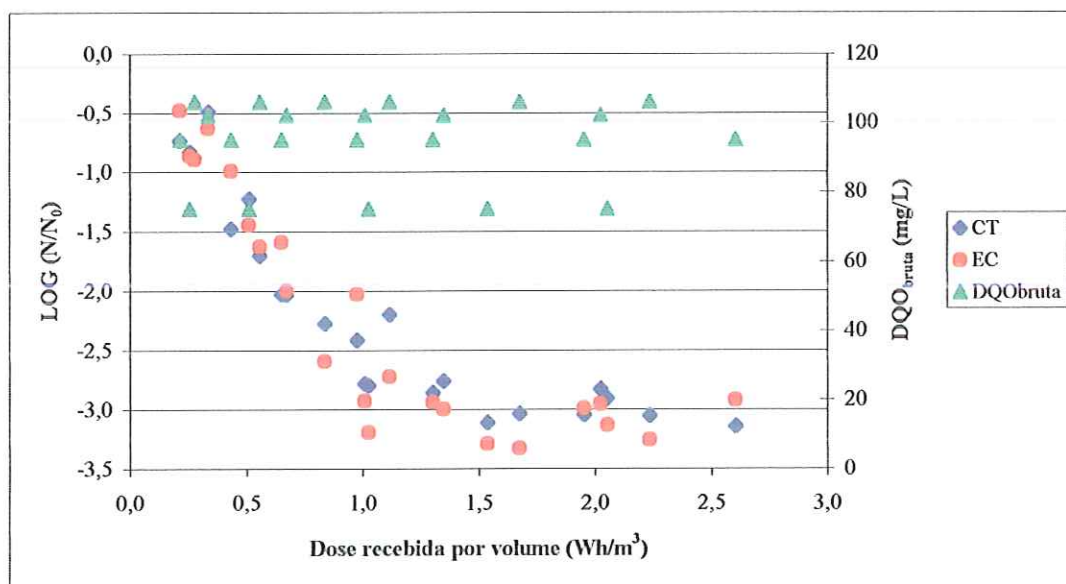


FIGURA B.12 - Relação da DQO<sub>bruta</sub> na inativação de coliformes totais e *E. coli* obtida nos ensaios de desinfecção 6, 7, 8 e 9 realizados com efluentes da ETE de Araraquara ( $L = 8$  cm).



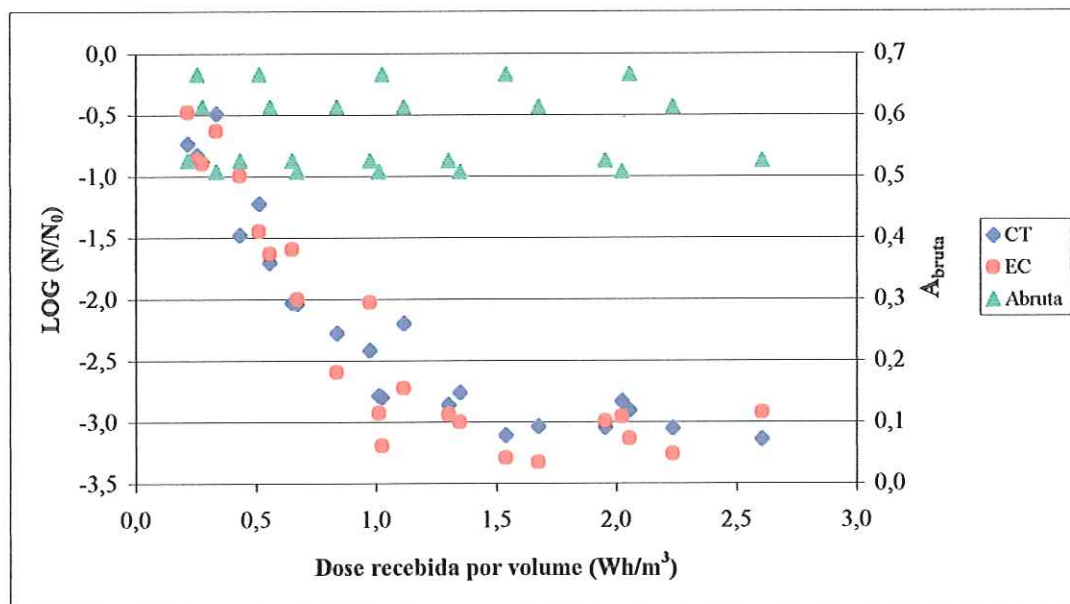


FIGURA B.13 - Relação da  $A_{bruta}$  na inativação de coliformes totais e *E. coli* obtida nos ensaios de desinfecção 6, 7, 8 e 9 realizados com efluentes da ETE de Araraquara ( $L = 8$  cm).

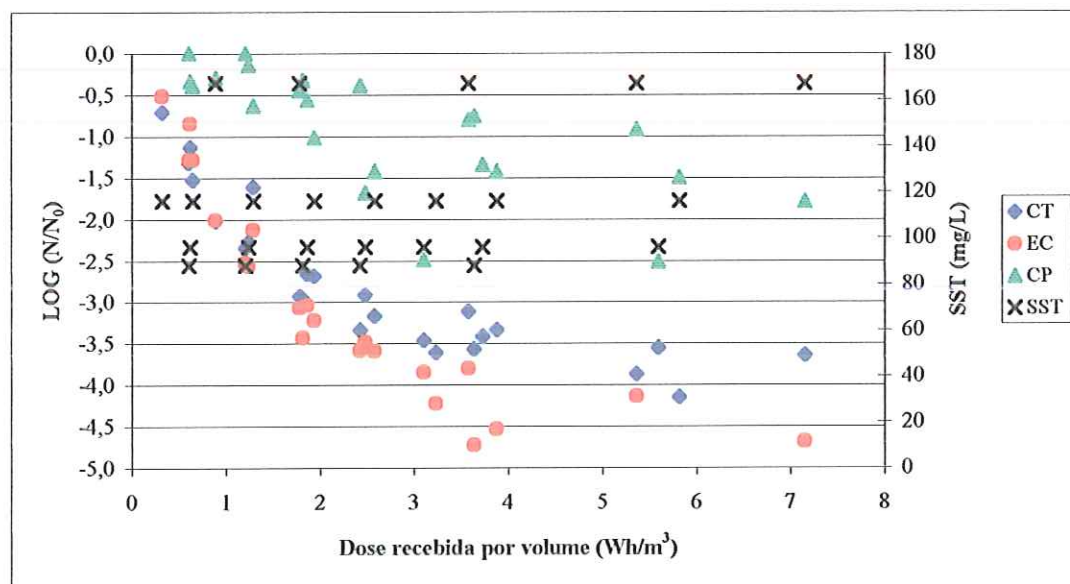


FIGURA B.14 - Relação dos SST na inativação de coliformes totais, *E. coli* e *C. perfringens* obtida nos ensaios de desinfecção IV, V, VI e VII realizados com efluentes da ETE de Lins ( $L = 2$  cm).

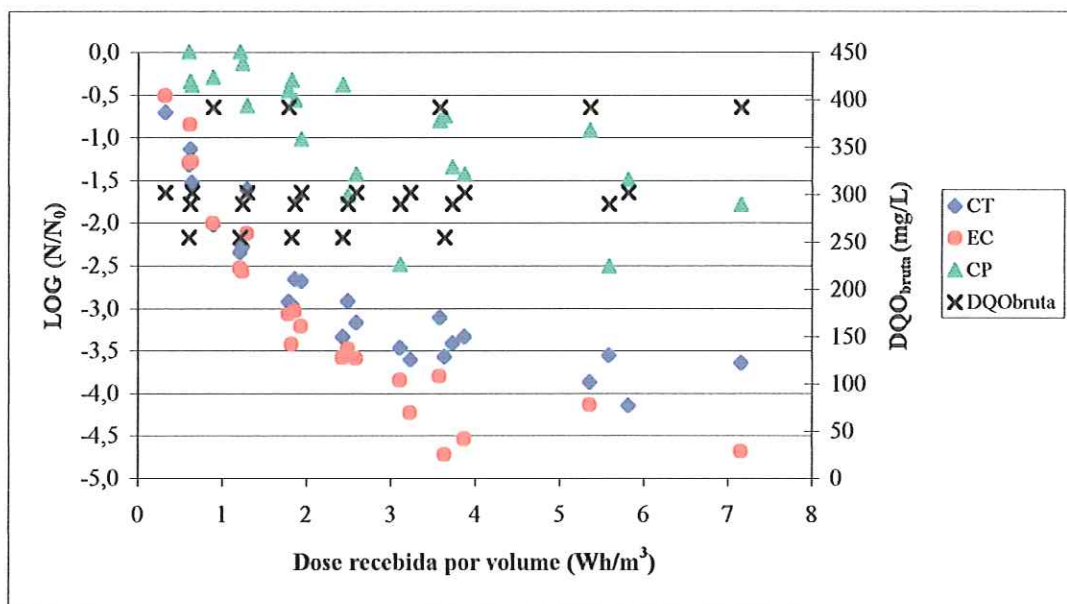


FIGURA B.15 - Relação da  $DQO_{bruta}$  na inativação de coliformes totais, *E. coli* e *C. perfringens* obtida nos ensaios de desinfecção IV, V, VI e VII realizados com efluentes da ETE de Lins ( $L = 2$  cm).

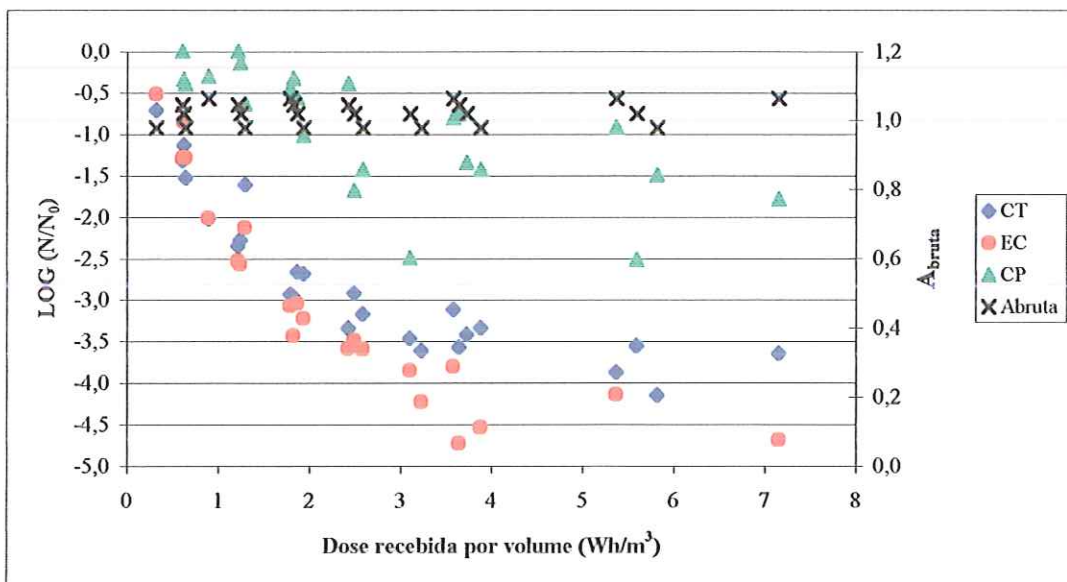


FIGURA B.16 - Relação da  $A_{bruta}$  na inativação de coliformes totais, *E. coli* e *C. perfringens* obtida nos ensaios de desinfecção IV, V, VI e VII realizados com efluentes da ETE de Lins ( $L = 2$  cm).

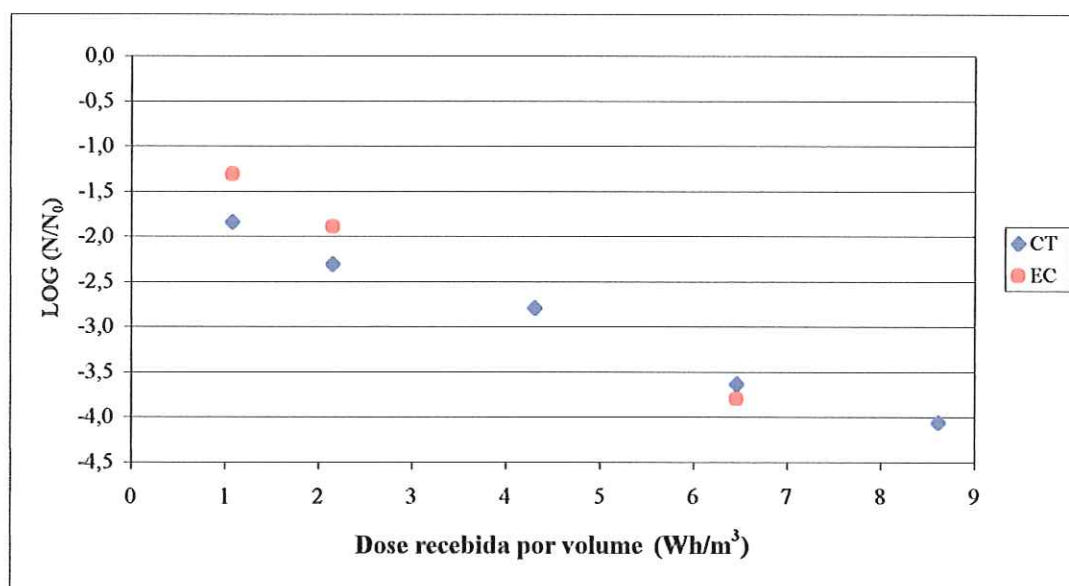


FIGURA B.17 - Fração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtida no ensaio 1 de desinfecção realizado com efluente da ETE de Araraquara.

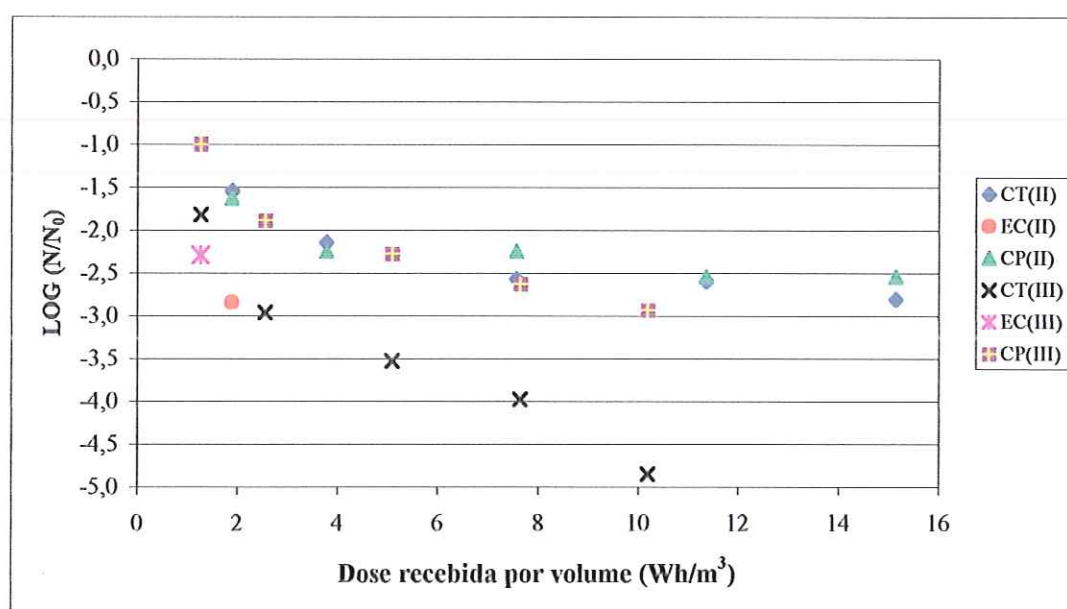


FIGURA B.18 - Fração sobrevivente de coliformes totais, *E. coli* e *C. perfringens* obtida nos ensaios de desinfecção II e III realizados com efluentes da ETE de Lins.

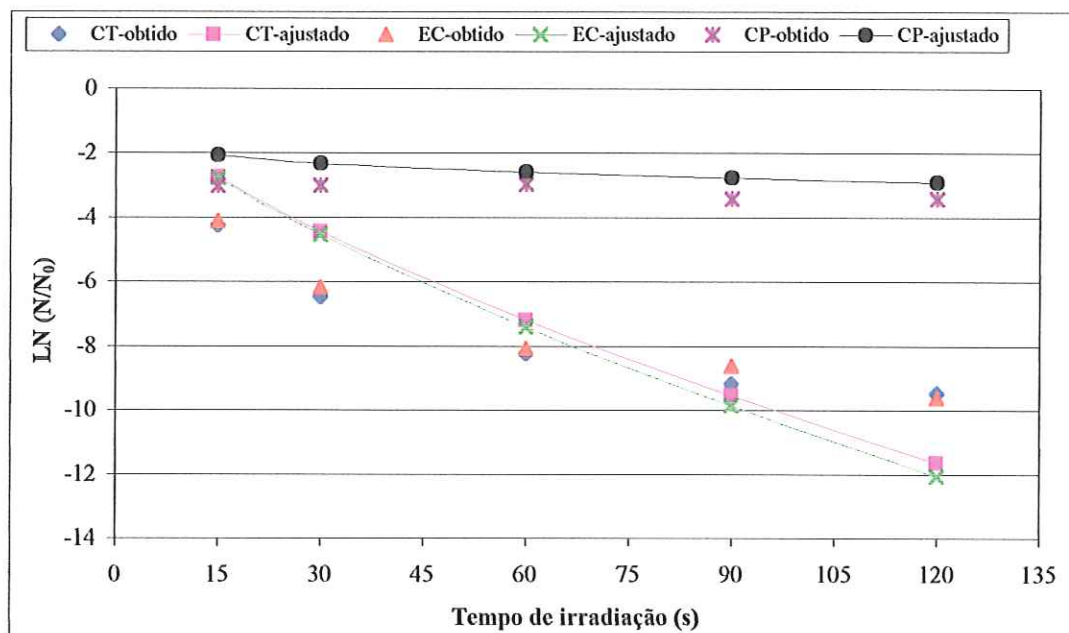


FIGURA B.19 - Ajuste dos resultados da inativação de CT, EC e CP obtidos no ensaio 2 realizado com efluentes da ETE de Araraquara pelo modelo de Hom, em que se consideraram os ensaios 2 a 5.

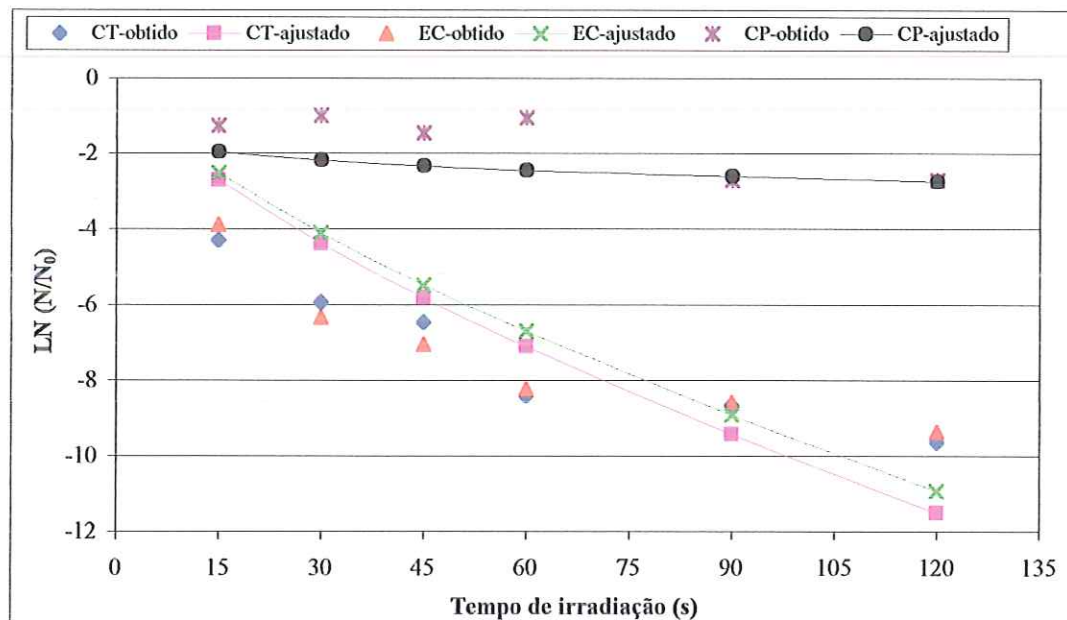


FIGURA B.20 - Ajuste dos resultados da inativação de CT, EC e CP obtidos no ensaio 3 realizado com efluentes da ETE de Araraquara pelo modelo de Hom, em que se consideraram os ensaios 2 a 5.

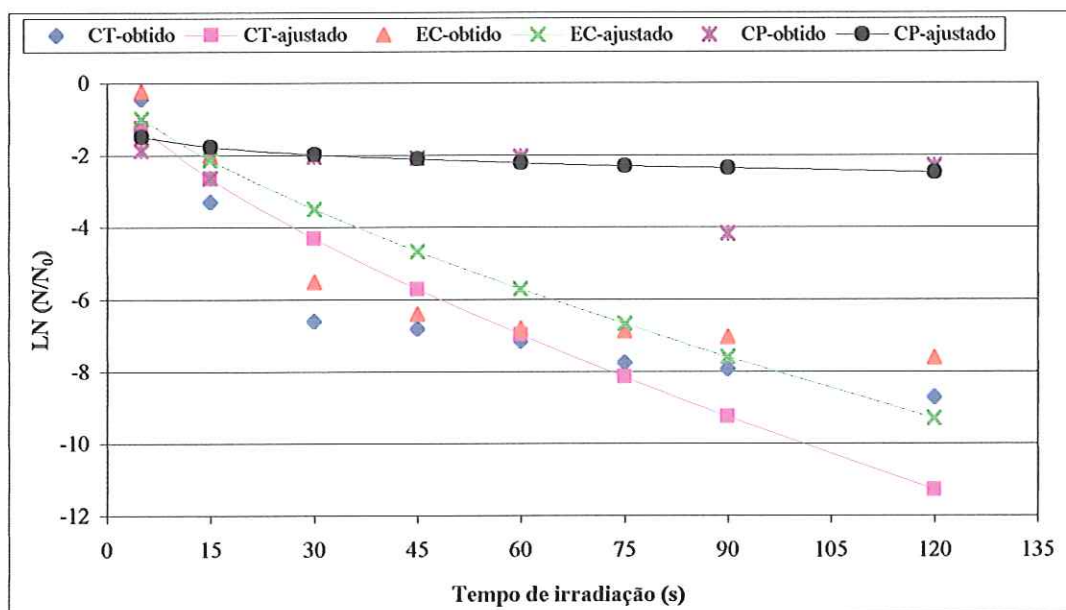


FIGURA B.21 - Ajuste dos resultados da inativação de CT, EC e CP obtidos no ensaio 4 realizado com efluentes da ETE de Araraquara pelo modelo de Hom, em que se consideraram os ensaios 2 a 5.

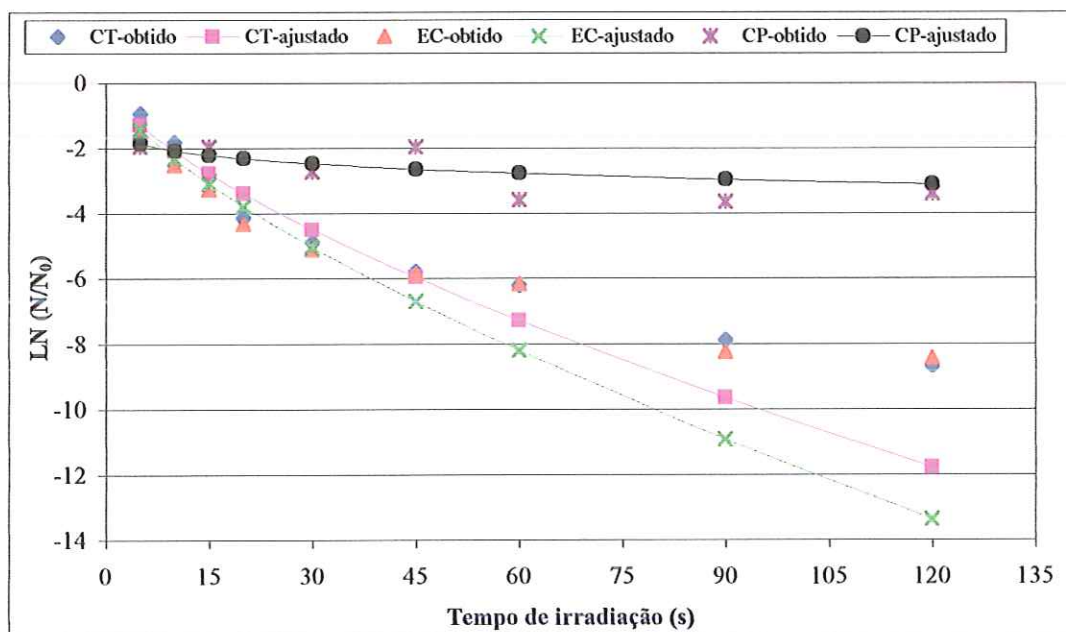
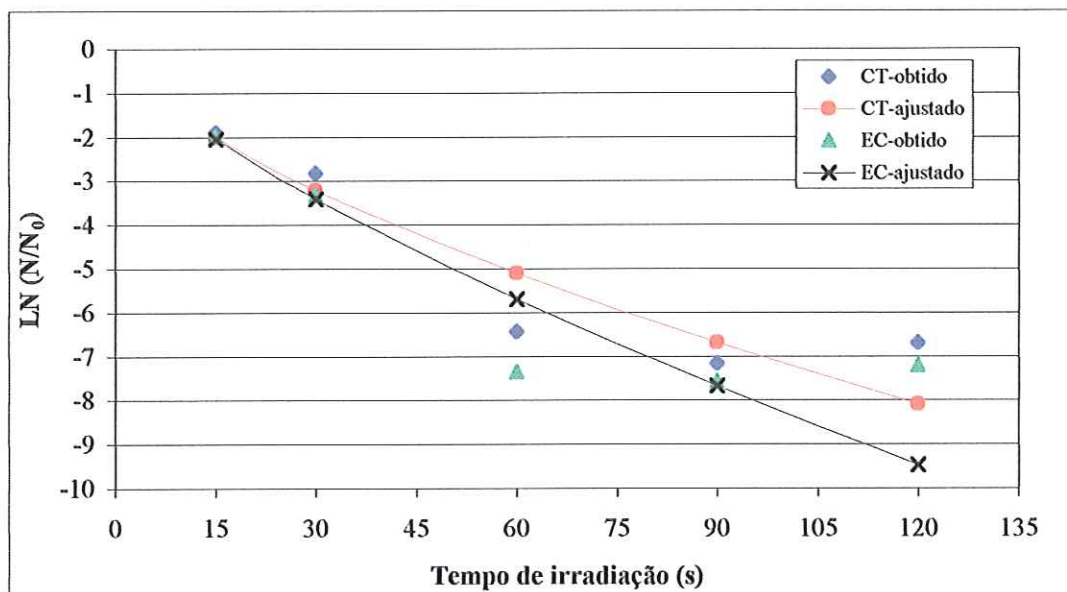
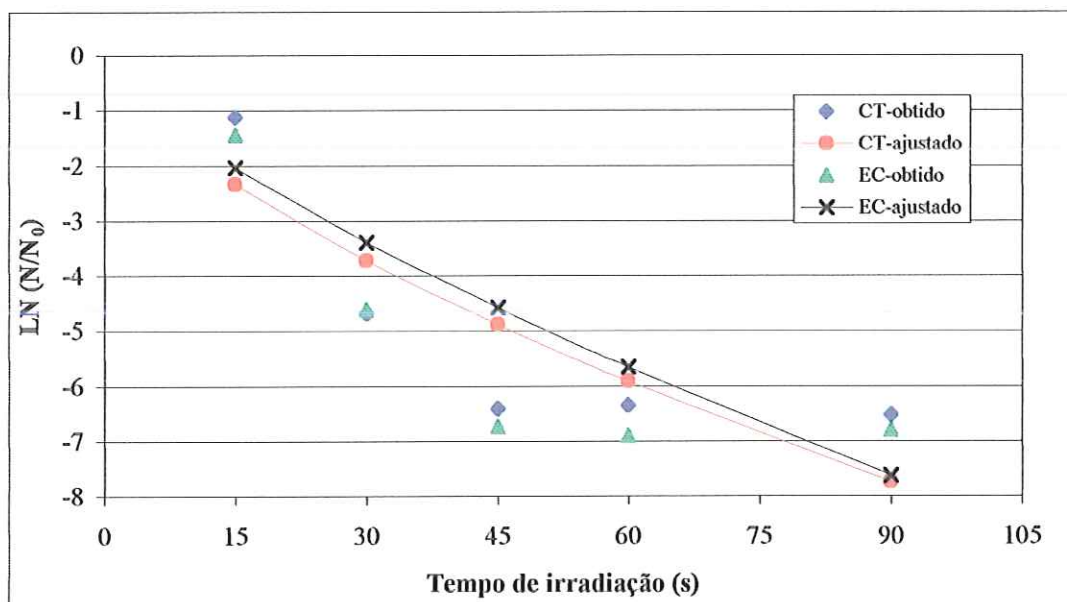


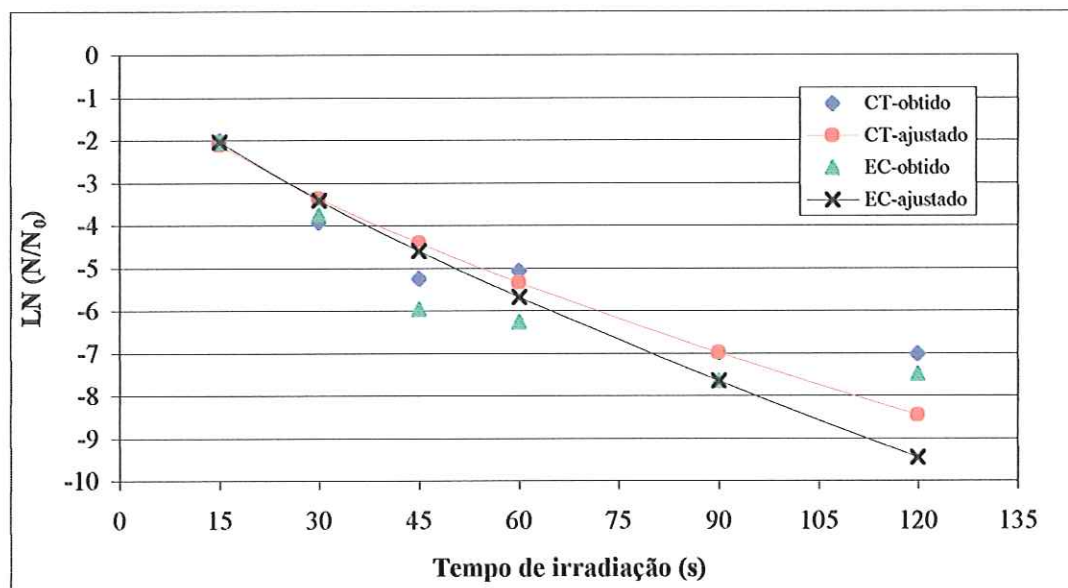
FIGURA B.22 - Ajuste dos resultados da inativação de CT, EC e CP obtidos no ensaio 5 realizado com efluentes da ETE de Araraquara pelo modelo de Hom, em que se consideraram os ensaios 2 a 5.



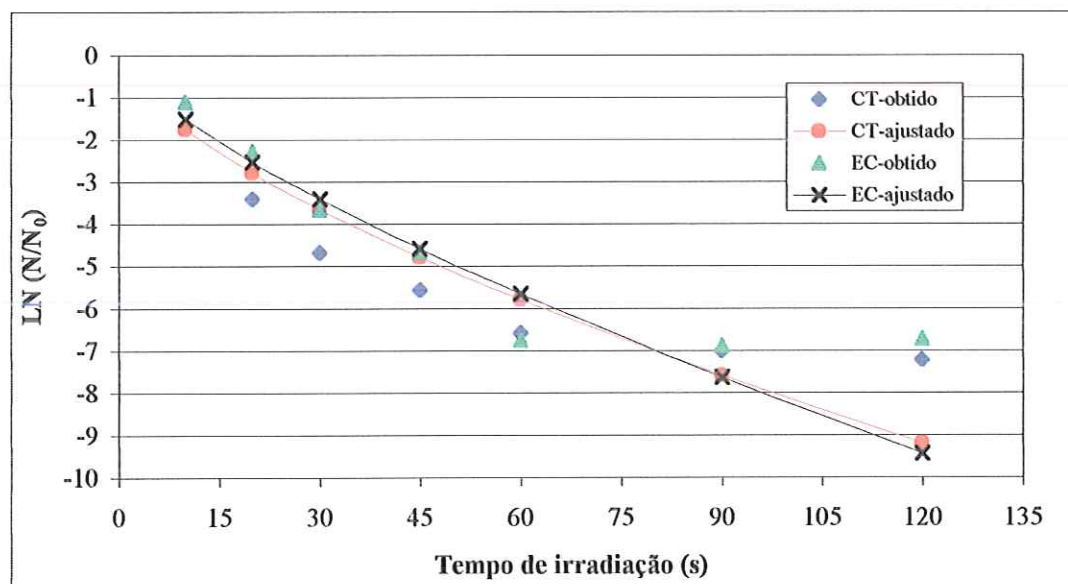
**FIGURA B.23** - Ajuste dos resultados da inativação de CT e EC obtidos no ensaio 6 realizado com efluentes da ETE de Araraquara pelo modelo de Hom, em que se consideraram os ensaios 6 a 9.



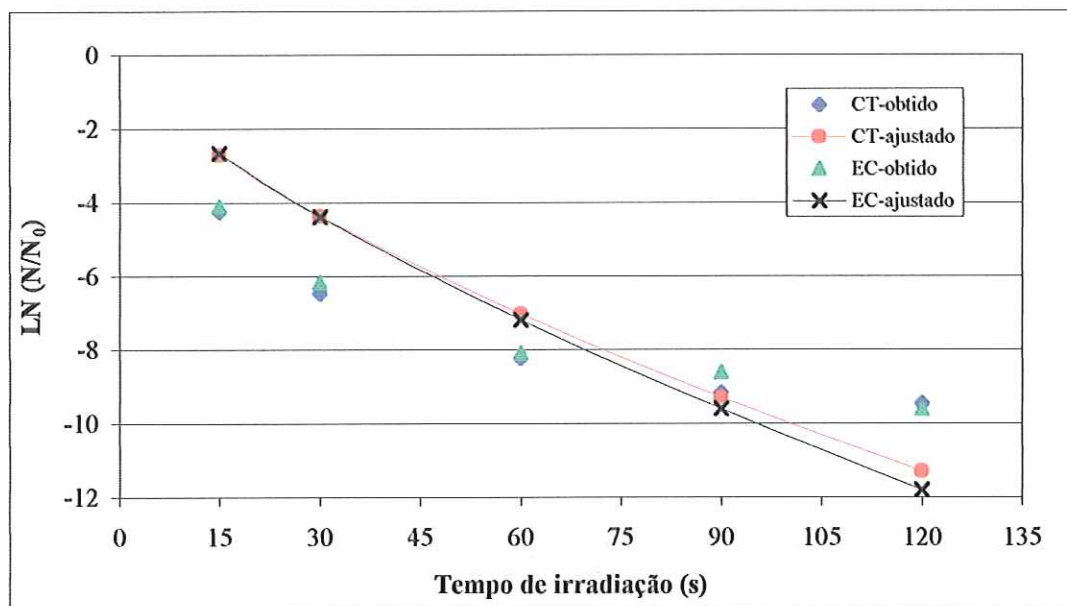
**FIGURA B.24** - Ajuste dos resultados da inativação de CT e EC obtidos no ensaio 7 realizado com efluentes da ETE de Araraquara pelo modelo de Hom, em que se consideraram os ensaios 6 a 9.



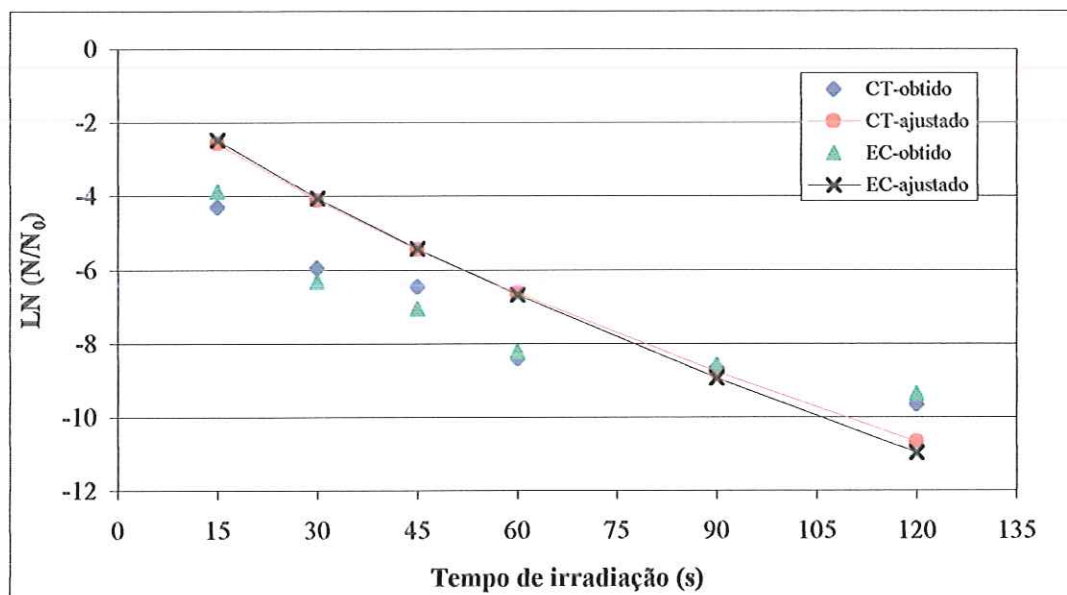
**FIGURA B.25** - Ajuste dos resultados da inativação de CT e EC obtidos no ensaio 8 realizado com efluentes da ETE de Araraquara pelo modelo de Hom, em que se consideraram os ensaios 6 a 9.



**FIGURA B.26** - Ajuste dos resultados da inativação de CT e EC obtidos no ensaio 9 realizado com efluentes da ETE de Araraquara pelo modelo de Hom, em que se consideraram os ensaios 6 a 9.

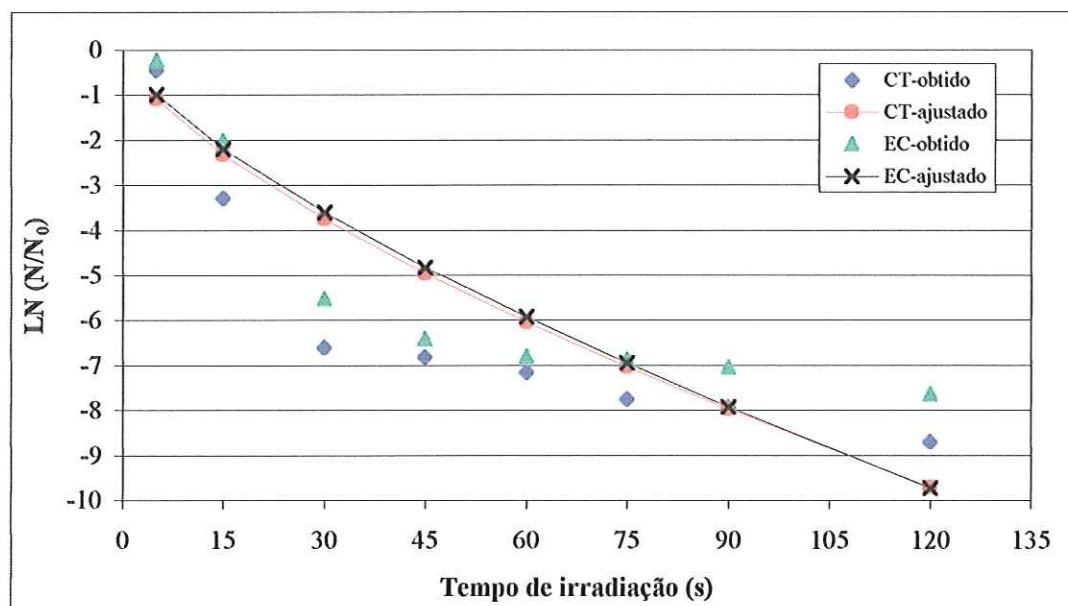


**FIGURA B.27** - Ajuste dos resultados da inativação de CT e EC obtidos no ensaio 2 realizado com efluentes da ETE de Araraquara pelo modelo de Hom, em que se consideraram os ensaios 2 a 9.

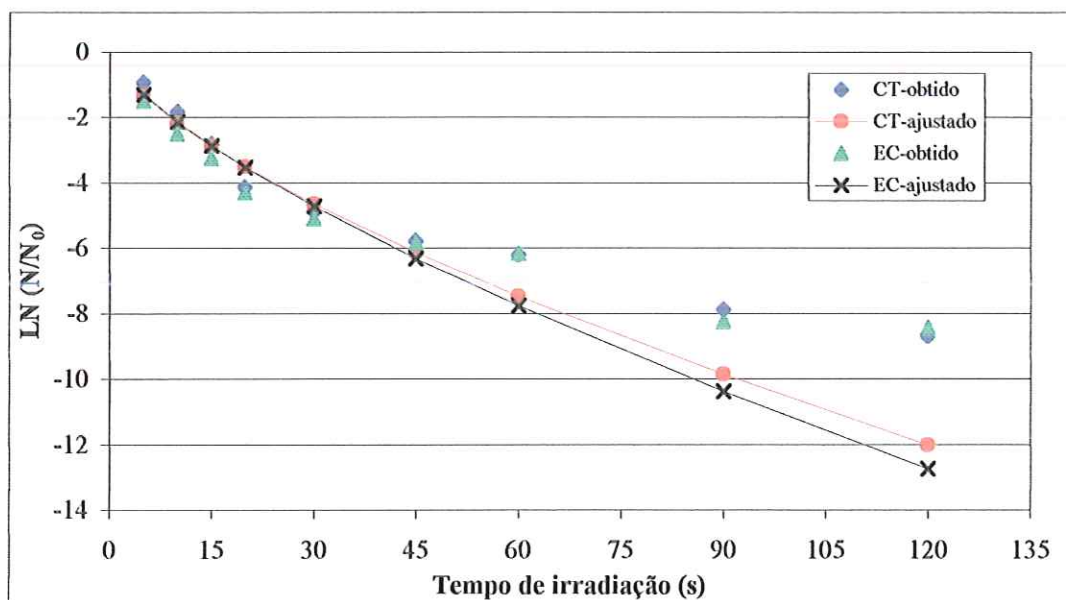


**FIGURA B.28** - Ajuste dos resultados da inativação de CT e EC obtidos no ensaio 3 realizado com efluentes da ETE de Araraquara pelo modelo de Hom, em que se consideraram os ensaios 2 a 9.

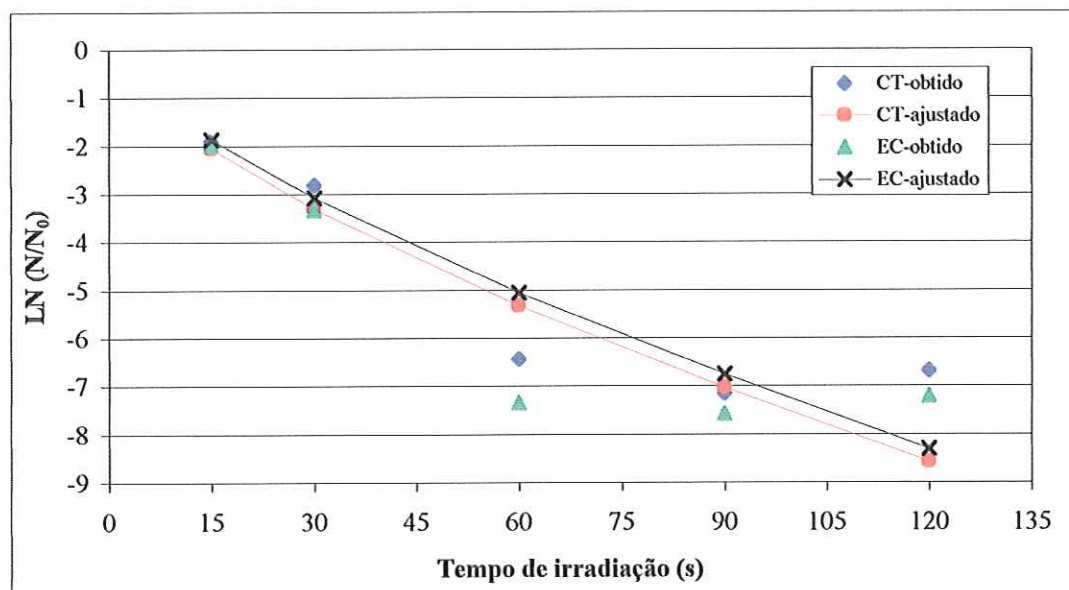




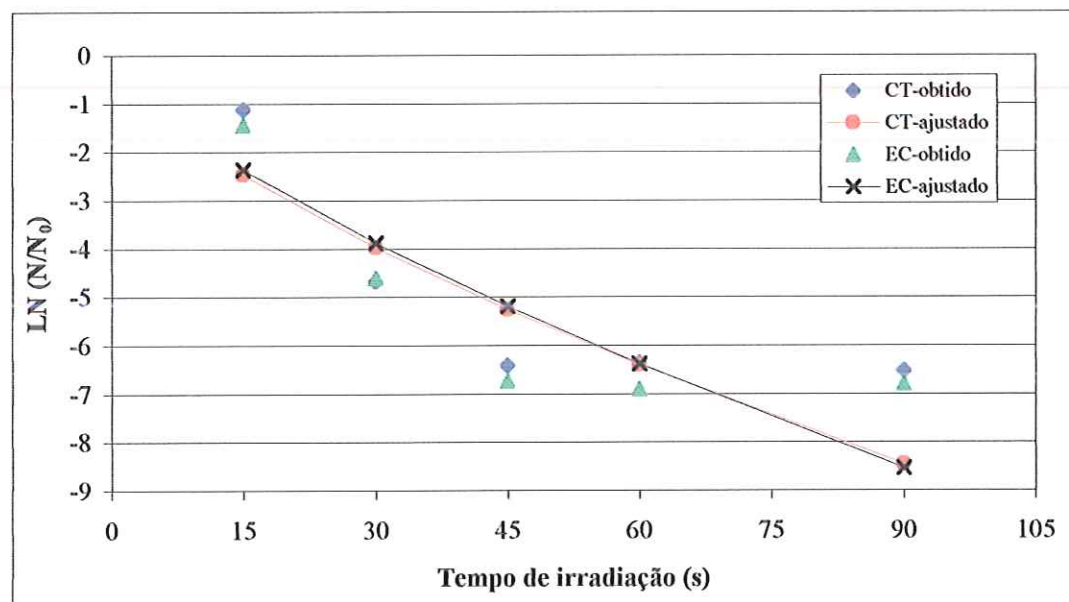
**FIGURA B.29** - Ajuste dos resultados da inativação de CT e EC obtidos no ensaio 4 realizado com efluentes da ETE de Araraquara pelo modelo de Hom, em que se consideraram os ensaios 2 a 9.



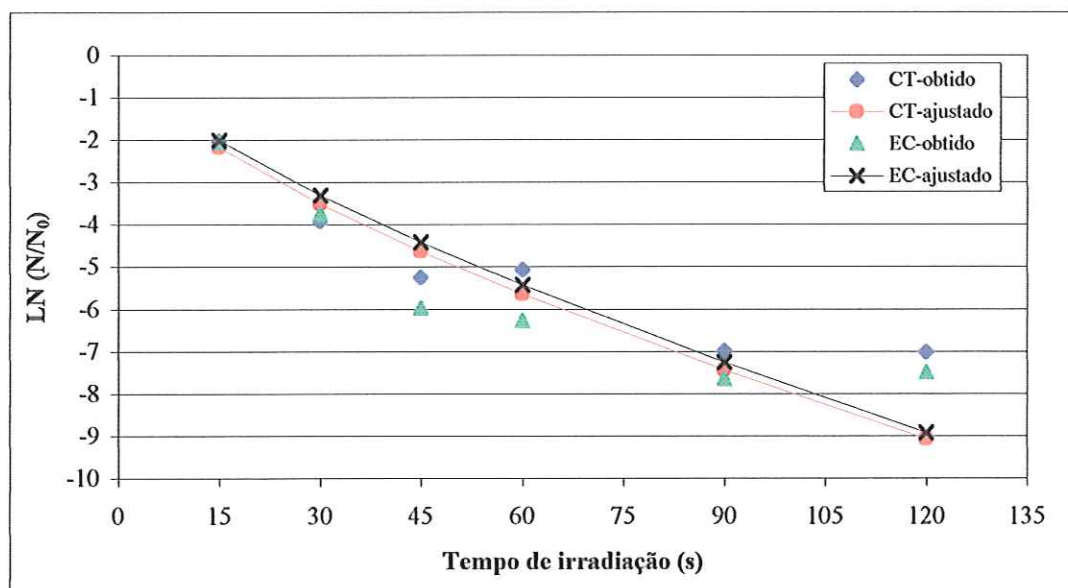
**FIGURA B.30** - Ajuste dos resultados da inativação de CT e EC obtidos no ensaio 5 realizado com efluentes da ETE de Araraquara pelo modelo de Hom, em que se consideraram os ensaios 2 a 9.



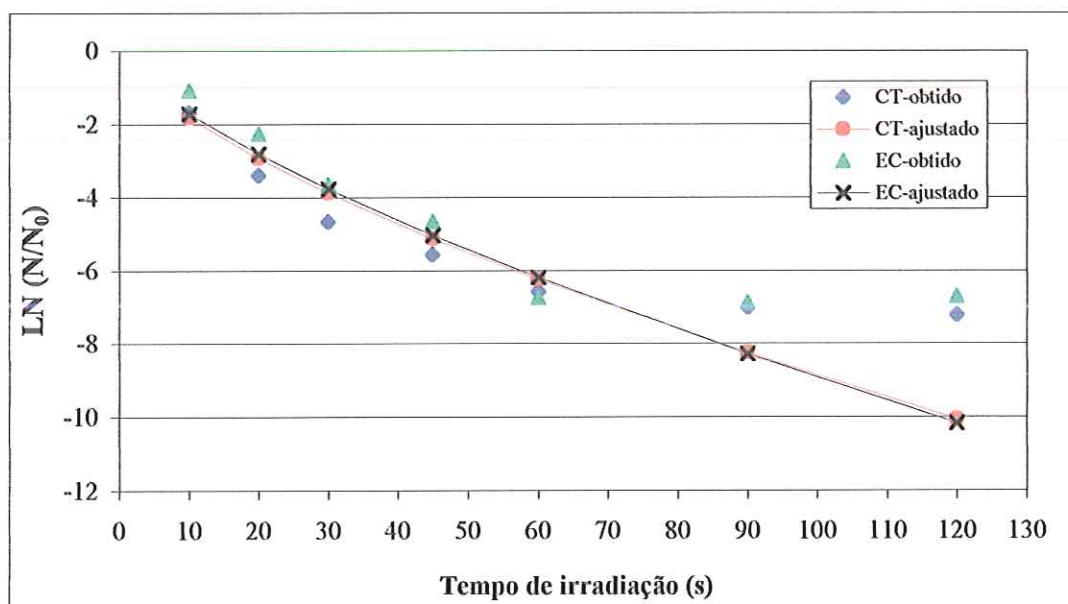
**FIGURA B.31** - Ajuste dos resultados da inativação de CT e EC obtidos no ensaio 6 realizado com efluentes da ETE de Araraquara pelo modelo de Hom, em que se consideraram os ensaios 2 a 9.



**FIGURA B.32** - Ajuste dos resultados da inativação de CT e EC obtidos no ensaio 7 realizado com efluentes da ETE de Araraquara pelo modelo de Hom, em que se consideraram os ensaios 2 a 9.



**FIGURA B.33** - Ajuste dos resultados da inativação de CT e EC obtidos no ensaio 8 realizado com efluentes da ETE de Araraquara pelo modelo de Hom, em que se consideraram os ensaios 2 a 9.



**FIGURA B.34** - Ajuste dos resultados da inativação de CT e EC obtidos no ensaio 9 realizado com efluentes da ETE de Araraquara pelo modelo de Hom, em que se consideraram os ensaios 2 a 9.

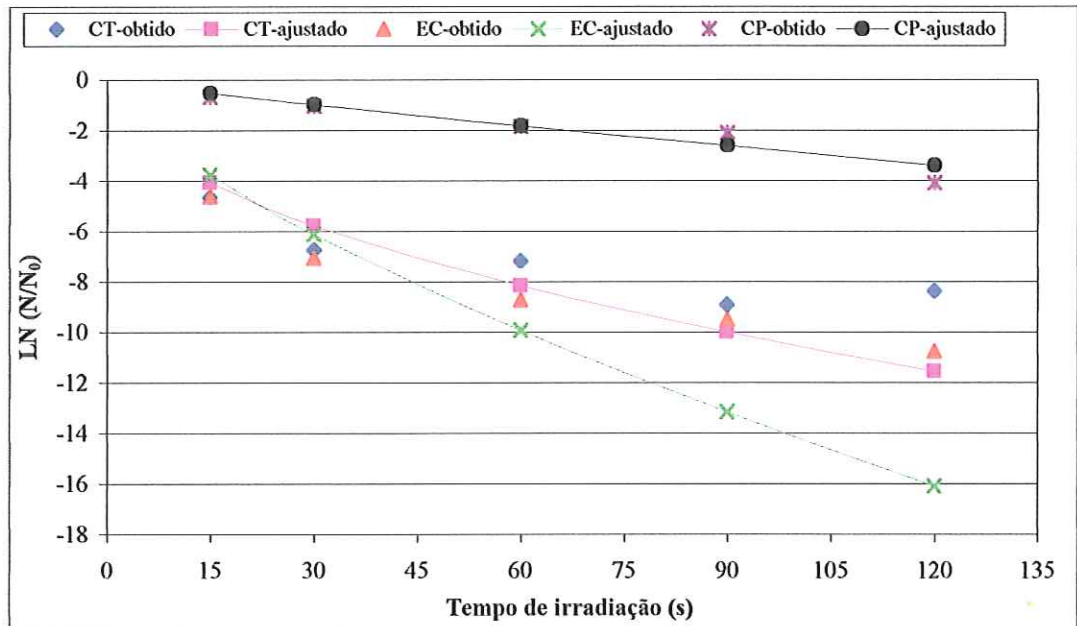


FIGURA B.35 - Ajuste dos resultados da inativação de CT, EC e CP obtidos no ensaio IV realizado com efluentes da ETE de Lins pelo modelo de Hom, em que se consideraram os ensaios IV a VII.

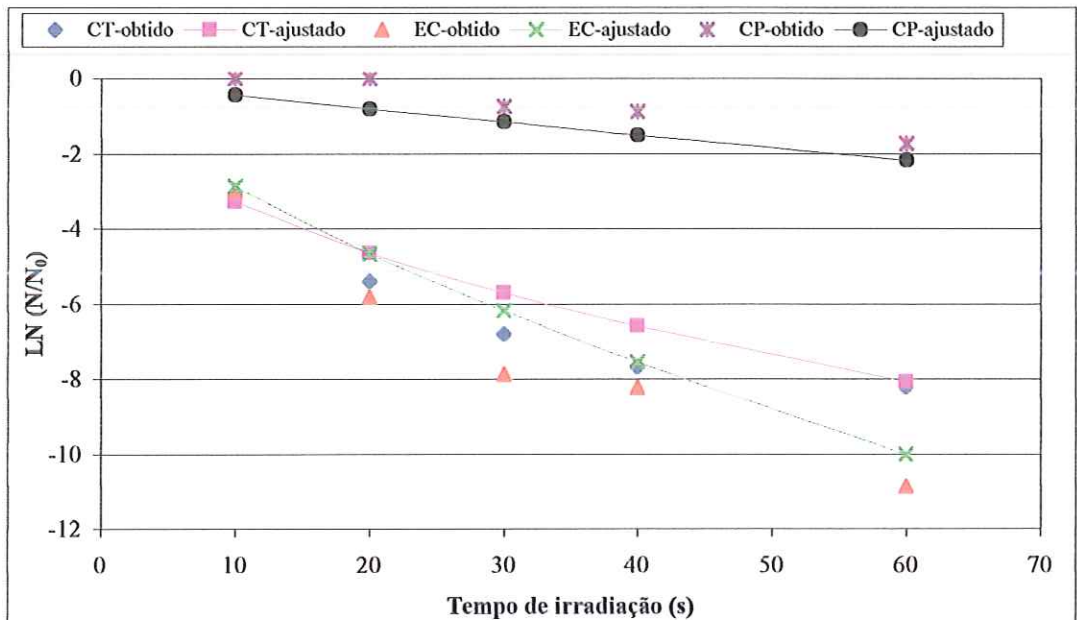


FIGURA B.36 - Ajuste dos resultados da inativação de CT, EC e CP obtidos no ensaio V realizado com efluentes da ETE de Lins pelo modelo de Hom, em que se consideraram os ensaios IV a VII.

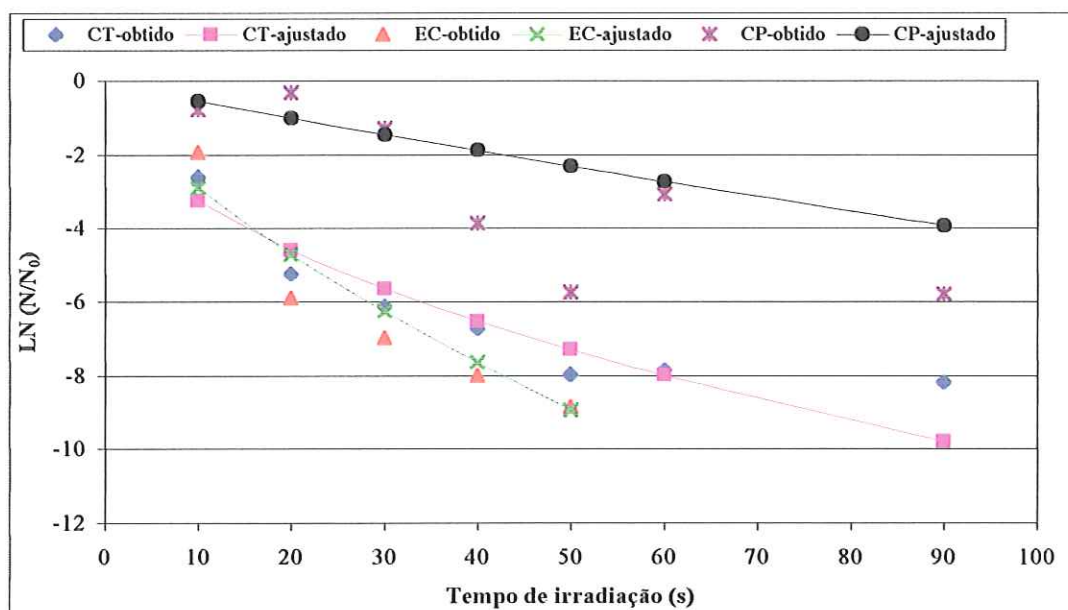


FIGURA B.37 - Ajuste dos resultados da inativação de CT, EC e CP obtidos no ensaio VI realizado com efluentes da ETE de Lins pelo modelo de Hom, em que se consideraram os ensaios IV a VII.

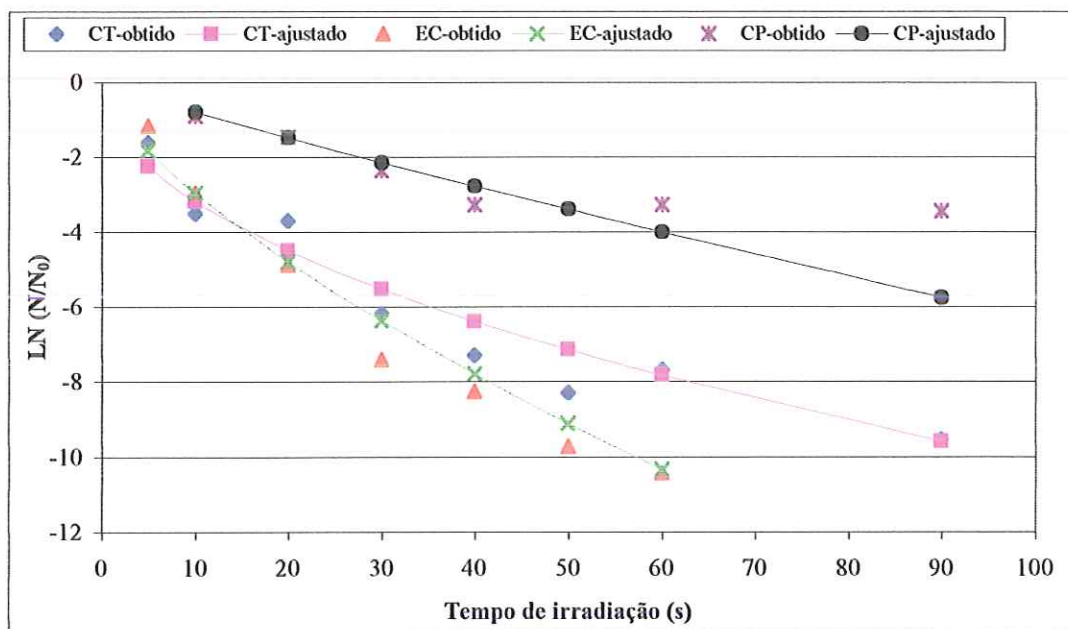


FIGURA B.38 - Ajuste dos resultados da inativação de CT, EC e CP obtidos no ensaio VII realizado com efluentes da ETE de Lins pelo modelo de Hom, em que se consideraram os ensaios IV a VII.

## **ANEXO C**

### ***ENSAIOS DE DESINFECÇÃO EM SISTEMA CONTÍNUO***

---

**TABELA C.1** - Absorvâncias lidas na faixa de comprimento de onda compreendida de 200 a 400 nm para amostra bruta do efluente da ETE de Lins utilizado no ensaio contínuo C.

$\lambda$ (nm)	Absorvância	$\lambda$ (nm)	Absorvância	$\lambda$ (nm)	Absorvância
200	2,810	265	0,860	335	0,463
205	2,561	270	0,828	340	0,449
210	2,175	275	0,797	345	0,438
215	1,908	280	0,762	350	0,421
220	1,778	285	0,726	355	0,410
225	1,590	290	0,683	360	0,398
230	1,369	295	0,640	365	0,390
235	1,200	300	0,599	370	0,382
240	1,048	305	0,567	375	0,375
245	0,960	310	0,550	380	0,368
250	0,916	315	0,521	385	0,359
<b>254</b>	<b>0,898</b>	320	0,504	390	0,351
255	0,894	325	0,491	395	0,344
260	0,878	330	0,476	400	0,338

**TABELA C.2** - Valores da concentração inicial e sobrevivente, do logaritmo da fração sobrevivente e da percentagem de eficiência de inativação obtidos para coliformes totais nos ensaios de desinfecção em sistema contínuo.

Ensaio	Posição no painel	$D_a^*$ (mW.s/cm <sup>2</sup> )	$N_0$ (NMP/100 mL)	$N$ (NMP/100 mL)	LOG (N/N <sub>0</sub> )	E (%)
A.1	1	205	$6,3 \cdot 10^6$	$3,2 \cdot 10^5$	-1,29	94,86
A.2	2	411	$6,3 \cdot 10^6$	$1,5 \cdot 10^5$	-1,63	97,68
A.3	3	616	$6,3 \cdot 10^6$	$3,7 \cdot 10^5$	-1,24	94,20
B.1	1	194	$4,2 \cdot 10^5$	$4,9 \cdot 10^4$	-0,93	88,25
B.2	2	387	$4,2 \cdot 10^5$	$3,6 \cdot 10^4$	-1,06	91,39
B.3	3	581	$4,2 \cdot 10^5$	$2,1 \cdot 10^4$	-1,29	94,84
C.1	1	150	$9,5 \cdot 10^5$	$2,3 \cdot 10^5$	-0,61	75,72
C.2	1	150	$9,5 \cdot 10^5$	$2,3 \cdot 10^5$	-0,62	75,99
C.3	2	300	$9,5 \cdot 10^5$	$2,2 \cdot 10^5$	-0,63	76,38
C.4	2	300	$9,5 \cdot 10^5$	$1,9 \cdot 10^5$	-0,69	79,57
C.5	3	450	$9,5 \cdot 10^5$	$2,4 \cdot 10^5$	-0,59	74,57
C.6	3	450	$9,5 \cdot 10^5$	$1,3 \cdot 10^5$	-0,86	86,34

\* valor estimado.

**TABELA C.3** - Valores da concentração inicial e sobrevivente, do logaritmo da fração sobrevivente e da percentagem de eficiência de inativação obtidos para *E. coli* nos ensaios de desinfecção em sistema contínuo.

Ensaio	Posição no painel	D <sub>a</sub> * (mWs/cm <sup>2</sup> )	N <sub>0</sub> (NMP/100 mL)	N (NMP/100 mL)	LOG (N/N <sub>0</sub> )	E (%)
A.1	1	205	8,6.10 <sup>5</sup>	6,5.10 <sup>4</sup>	-1,12	92,40
A.2	2	411	8,6.10 <sup>5</sup>	2,9.10 <sup>4</sup>	-1,48	96,68
A.3	3	616	8,6.10 <sup>5</sup>	5,0.10 <sup>4</sup>	-1,23	94,14
B.1	1	194	5,1.10 <sup>4</sup>	4,9.10 <sup>3</sup>	-1,02	90,43
B.2	2	387	5,1.10 <sup>4</sup>	5,8.10 <sup>3</sup>	-0,94	88,65
B.3	3	581	5,1.10 <sup>4</sup>	4,0.10 <sup>3</sup>	-1,11	92,18
C.1	1	150	5,1.10 <sup>4</sup>	2,4.10 <sup>4</sup>	-0,33	53,19
C.2	1	150	5,1.10 <sup>4</sup>	2,2.10 <sup>4</sup>	-0,37	57,40
C.3	2	300	5,1.10 <sup>4</sup>	1,5.10 <sup>4</sup>	-0,53	70,48
C.4	2	300	5,1.10 <sup>4</sup>	1,5.10 <sup>4</sup>	-0,54	71,27
C.5	3	450	5,1.10 <sup>4</sup>	7,9.10 <sup>3</sup>	-0,81	84,52
C.6	3	450	5,1.10 <sup>4</sup>	1,1.10 <sup>4</sup>	-0,66	78,03

\* valor estimado.

**TABELA C.4** - Valores da concentração inicial e sobrevivente, do logaritmo da fração sobrevivente e da percentagem de eficiência de inativação obtidos para colifagos nos ensaios de desinfecção em sistema contínuo.

Ensaio	Posição no painel	D <sub>a</sub> * (mWs/cm <sup>2</sup> )	N <sub>0</sub> (UFP/100 mL)	N (UFP/100 mL)	LOG (N/N <sub>0</sub> )	E (%)
A.1	1	205	6,6.10 <sup>3</sup>	6,0.10 <sup>2</sup>	-1,04	90,86
A.2	2	411	6,6.10 <sup>3</sup>	4,7.10 <sup>2</sup>	-1,15	92,84
A.3	3	616	6,6.10 <sup>3</sup>	4,0.10 <sup>2</sup>	-1,22	93,99
B.1	1	194	8,1.10 <sup>3</sup>	6,8.10 <sup>2</sup>	-1,07	91,57
B.2	2	387	8,1.10 <sup>3</sup>	5,8.10 <sup>2</sup>	-1,14	92,81
B.3	3	581	8,1.10 <sup>3</sup>	90	-1,95	98,88
C.1	1	150	3,5.10 <sup>3</sup>	3,0.10 <sup>2</sup>	-1,07	91,43
C.2	1	150	3,5.10 <sup>3</sup>	3,4.10 <sup>2</sup>	-1,02	90,43
C.3	2	300	3,5.10 <sup>3</sup>	2,9.10 <sup>2</sup>	-1,09	91,86
C.4	2	300	3,5.10 <sup>3</sup>	3,1.10 <sup>2</sup>	-1,06	91,29
C.5	3	450	3,5.10 <sup>3</sup>	1,9.10 <sup>2</sup>	-1,26	94,49
C.6	3	450	3,5.10 <sup>3</sup>	1,8.10 <sup>2</sup>	-1,28	94,77

\* valor estimado.



TABELA C.5 - Valores da concentração inicial e sobrevivente, do logaritmo da fração sobrevivente e da percentagem de eficiência de inativação obtidos para *C. perfringens* no ensaio contínuo C.

Ensaio	Posição no painel	$D_a^*$ (mWs/cm <sup>2</sup> )	$N_0$ (NMP/100 mL)	$N$ (NMP/100 mL)	LOG (N/ $N_0$ )	E (%)
C.1	1	150	$1,7 \cdot 10^4$	$7,0 \cdot 10^3$	-0,39	58,82
C.2	1	150	$1,7 \cdot 10^4$	$8,0 \cdot 10^3$	-0,33	52,94
C.3	2	300	$1,7 \cdot 10^4$	$8,0 \cdot 10^3$	-0,33	52,94
C.4	2	300	$1,7 \cdot 10^4$	$1,3 \cdot 10^4$	-0,12	23,53
C.5	3	450	$1,7 \cdot 10^4$	$7,0 \cdot 10^3$	-0,39	58,82
C.6	3	450	$1,7 \cdot 10^4$	$5,0 \cdot 10^3$	-0,53	70,59

\* valor estimado.

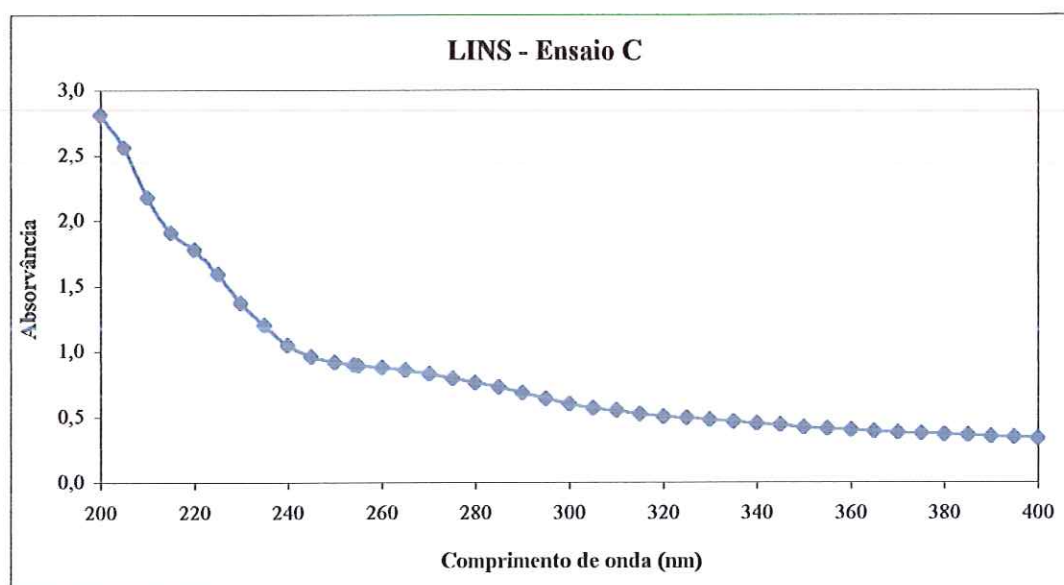


FIGURA C.1 - Comportamento da absorvância de 200 a 400 nm para amostra bruta do efluente da ETE de Lins utilizado no ensaio contínuo C.