

**Universidade de São Paulo
Faculdade de Saúde Pública**

Desinfecção de esgoto sanitário tratado em sistema de lagoas de estabilização por meio de radiação ultravioleta

Fernanda de Souza Ramos Kuzuhara

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Saúde Pública para obtenção do título de Mestre em Saúde Pública

Área de Concentração: Saúde Ambiental
Orientador: Prof. Dr. Roque Passos Piveli

**São Paulo
2005**

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

Desinfecção de esgoto sanitário tratado em sistema de lagoas de estabilização por meio de radiação ultravioleta

Fernanda de Souza Ramos Kuzuhara

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Saúde Pública para obtenção do título de Mestre em Saúde Pública

Área de Concentração: Saúde Ambiental
Orientador: Prof. Dr. Roque Passos Piveli

São Paulo
2005

Agradecimentos

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Roque Passos Piveli, pela confiança, dedicação e, principalmente, pela paciência em me auxiliar (e orientar no sentido literal) a tornar realidade este trabalho, no meio de tantas mudanças e turbulências, já que, nestes 36 meses, além das obrigações com a vida acadêmica, nasceram minhas duas lindas filhas: Verônica, de 2 anos e meio e Valéria, de 1 ano. Valeu Roque!!!

Agradeço também aos funcionários do Departamento de Saúde Ambiental, em especial a Francisca (Chiquinha), Maria do Carmo (Carmo), Maria Tereza, Silvana, Solange e Luciana, pelo valioso suporte, tanto técnico, quanto pessoal e material, na coleta e análise de dezenas de amostras. Ainda tem o pessoal da Secretaria (Lúcia e Serginho), da Comissão de Pós-Graduação... Tanta gente...

Agradeço aos meus professores da Saúde Pública e da Poli, que me apoiaram e ajudaram nas muitas matérias cursadas neste Mestrado, várias das quais, cursei com enorme barrigão, entre uma almofada e outra nas duras “carteiras” da FSP e Poli.

Agradeço aos membros titulares da banca: Pedro Mancuso e Murilo Damato e os membros suplentes: José Luiz e Sidney pela disponibilidade e auxílio nas correções do documento final.

Não poderia deixar de agradecer à SABESP que, no âmbito do PROSAB, viabilizou o estudo de desinfecção em Lins e ao Prof. Dr. Luiz Antonio Daniel, da EESC, por ter me auxiliado na parte técnica, relacionada à Radiação Ultravioleta, me emprestando muito material técnico...

Ao Giba, meu marido, pelo Amor, Carinho, Paciência e Incentivo constantes. Ele que me ajudou na execução dos intermináveis gráficos e tabelas.... Sem contar as inúmeras e esticadas noites de trabalho, enfurnada na frente do computador... Quanta paciência!!!

Às minhas filhas que tiveram que dividir minha atenção com os livros e o computador todos esses meses, cansadas de ouvir: “agora a mamãe ta trabalhando, daqui a pouco a gente brinca...”.

Por fim, agradeço a Deus a oportunidade de participar deste trabalho, levando em consideração que vivemos em um país pobre, onde pouquíssimos tem a oportunidade de cursar a universidade, quanto mais pós-graduação em uma das Universidades mais conceituadas do mundo...

SUMÁRIO

	Página
Lista de figuras	Viii
Lista de tabelas	xvi
Lista de abreviaturas, siglas e símbolos	xxiii
Resumo	xxv
<i>ABSTRACT</i>	xxvii
1. Introdução	1
Informações básicas da estação de tratamento de esgotos sanitários de Lins e do Complexo do PROSAB	3
2. Objetivos	6
3. Revisão Bibliográfica	7
3.1 O esgoto sanitário	7
3.1.1 Doenças Relacionadas com os Esgotos	7
3.1.2 Modos de transmissão de doenças	8
3.2 Padrões de Qualidade da água	9
3.3 Tratamento de esgotos sanitários	11
3.3.1 Tratamento Preliminar	11
3.3.2 Tratamento Primário	11
3.3.3 Tratamento Primário Avançado	12
3.3.4 Tratamento Secundário	12
3.3.5 Tratamento Secundário com remoção de nutrientes	12
3.3.6 Tratamento Terciário	13
3.3.7 Tratamento Avançado	13
3.3.8 Eficiência dos diversos tipos de tratamento	13

3.4 Tratamento de esgotos sanitários por meio de Lagoas de Estabilização – processo natural de tratamento e desinfecção de esgotos	15
3.4.1 Informações técnicas sobre as lagoas de estabilização	16
3.4.2 Tipos de lagoas de estabilização	18
3.4.3 Reações biológicas e exigências ambientais das lagoas de estabilização	26
3.4.4 Microrganismos existentes nas lagoas de estabilização	28
3.4.5 Comparação entre os sistemas de lagoas	30
3.5 Desinfecção de esgoto sanitário – Generalidades	34
3.5.1 Introdução	34
3.5.2 Características de um desinfetante ideal	34
3.5.3 Métodos de Desinfecção	35
3.5.4 Comparação dos diversos desinfetantes de águas residuárias	37
3.5.5 Mecanismos de desinfecção	39
3.5.6 Fatores relacionados à eficiência de um sistema de desinfecção	41
3.5.7 Avaliação e seleção do processo de desinfecção de esgotos sanitários	46
3.5.7.1 Critérios para a escolha do desinfetante	46
3.6 Desinfetantes Químicos	51
3.6.1 Mecanismos de ação dos desinfetantes químicos:	52
3.6.2 Subprodutos oriundos de desinfetantes químicos	53
3.6.2.1 Subprodutos oriundos da desinfecção com cloro	53
3.6.2.2 Subprodutos oriundos da desinfecção com ozônio	56
3.6.3 Resumo das vantagens e desvantagens da desinfecção de esgoto sanitário utilizando o cloro e o ozônio.	57
3.7 Desinfecção de esgoto sanitário com Radiação Ultravioleta	60
3.7.1 Introdução	60
3.7.2 Fonte de radiação ultravioleta	61
3.7.3 Princípios básicos de óptica e radiação ultravioleta	64
3.7.4 Lâmpadas de radiação ultravioleta (também denominadas de lâmpadas germicidas)	65

3.7.4.1 Princípio de funcionamento de uma lâmpada de vapor de mercúrio	67
3.7.5 Componentes e configurações de sistemas de desinfecção por meio de radiação ultravioleta	70
3.7.6 Classificação de sistemas de desinfecção U.V. em função das características hidráulicas do sistema: aberto (conhecido como open channel) e fechado (conhecido como closed vessel)	71
3.7.6.1 Sistemas de desinfecção U.V em canal aberto (open channel)	72
3.7.6.2 Sistemas de desinfecção em recipiente fechado (closed vessel)	75
3.7.7 Mecanismos de Inativação da radiação ultravioleta	76
3.7.7.1 Os ácidos nucléicos DNA e RNA	77
3.7.7.2 A ação da radiação ultravioleta sobre os ácidos nucléicos	79
3.7.7.3 Fotorreativação	83
3.7.8 Efetividade germicida da radiação ultravioleta	84
3.7.9 Interferentes da radiação ultravioleta	90
3.7.10 Medição da radiação ultravioleta no meio líquido	93
3.7.11 Reações da desinfecção com radiação ultravioleta	94
3.7.12 Considerações Operacionais do sistema de desinfecção com radiação ultravioleta	95
3.7.13 Danos Ocupacionais em função do uso inadequado da radiação ultravioleta	98
3.7.13.1 Segurança no uso da radiação ultravioleta	99
3.7.14 Problemas associados ao sistema de desinfecção com radiação ultravioleta	101
3.7.15 Impactos ambientais relacionados ao uso da radiação ultravioleta em sistemas de desinfecção de esgotos sanitários	105
3.7.16 Resumo das vantagens e desvantagens do uso da radiação ultravioleta como agente desinfetante de esgotos sanitários	105

3.8 Comparação de custos da desinfecção de esgotos sanitários por radiação UV, ozônio e cloro.	107
3.8.1 Comparação de custos de cloro e radiação U.V. feitas pela WERF – Water Environment Research Foundation	107
3.8.2 Comparação de custos de desinfecção de esgotos sanitários feitos pelo PROSAB	112
3.8.2.1 Critérios utilizados pelo PROSAB para a análise dos custos	113
4. Materiais e Métodos	114
4.1 Introdução Geral e Ensaio de desinfecção	114
4.1.1 Interferência de sólidos no efluente	115
4.1.2 Controle dos processos	116
4.2 Pontos de amostragem e de estudos de desinfecção da ETE de Lins	116
4.3 Materiais e equipamentos	118
4.3.1 Reator de desinfecção por radiação ultravioleta formato paralelepípedo reto-retangular, operação em bateladas e lâmpadas emersas - Instalado em SP	118
4.3.1.1 Câmara de irradiação	119
4.3.1.2 Cúpula refletora	120
4.3.2 Reator de desinfecção por radiação ultravioleta retangular, de fluxo contínuo e lâmpada emersa - Instalado em Lins	121
4.3.2.1 Câmara de irradiação	123
4.3.2.2 Cúpula refletora	135
4.3.3 Sistema de tratamento físico-químico para remoção de sólidos Instalado em Lins	125
4.3.3.1 Introdução e aspectos gerais do tratamento físico-químico	125
4.3.3.2 Metodologia - Ensaio de Coagulação/Floculação/Sedimentação	125
4.3.3.3 Ensaio de desinfecção por radiação ultravioleta dos efluentes da lagoa facultativa após receberem tratamento físico-químico	126
4.3.4 Lâmpadas germicidas	128

4.4 Análises dos ensaios de desinfecção, realizadas no laboratório da FSP/USP	129
4.4.1 Equipamentos utilizados nas análises	129
4.4.2 Descrição do método Colilert - A avaliação da concentração de coliformes totais e fecais	132
4.4.3 Descrição do método de determinação de Colifagos	134
4.5 Determinação da Intensidade média de radiação ultravioleta a 254 nm com ferrioxalato de potássio - Ensaio de Actinometria	135
5. Resultados e Discussões	140
5.1 Resultados dos ensaios de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizados em batelada por meio de reator de lâmpadas emersas sem tratamento físico-químico.	140
5.1.1 Discussão dos resultados do primeiro grupo de ensaios	154
5.1.2 Correlação entre as variáveis SST, Turbidez e Absorvância com a concentração de coliformes fecais	154
5.2 Resultados dos ensaios de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizados em fluxo contínuo, por meio de reator piloto de lâmpada emersa.	156
5.2.1 Discussão dos resultados do segundo grupo de ensaios	161
5.2.2 Correlação entre as variáveis SST, Turbidez e Absorvância com a concentração de coliformes fecais	161
5.3 Resultados dos ensaios de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizados em batelada por meio de reator de lâmpadas emersas, com os efluentes previamente tratados por processo físico-químico com cloreto férrico.	163
5.3.1 Discussão dos resultados do terceiro grupo de ensaios	177
5.3.2 Correlação entre as variáveis SST, Turbidez e Absorvância com a concentração de coliformes fecais.	178
5.3.3 Comparação dos resultados com e sem prévio tratamento físico-químico	179
6. Conclusões	180
7. Referências Bibliográficas	184

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

Nº DA FIGURA	DESCRIÇÃO	Página
FIGURA 1.1	Esquema de funcionamento da ETE de Lins/SP e do estudo de desinfecção	4
FIGURA 1.2	Estação de tratamento de Lins/SP: entrada do esgoto na estação e lagoas anaeróbia e facultativa.	5
FIGURA 1.3	Complexo do PROSAB, localizado na ETE de Lins/SP.	5

CAPÍTULO 3

Nº DA FIGURA	DESCRIÇÃO	PÁGINA
FIGURA 3.1	Esquema de uma Lagoa de Estabilização	16
FIGURA 3.2	Consumo e produção de gás carbônico de bactérias e algas em lagoas facultativas	20
FIGURA 3.3	Fluxograma típico de um sistema de lagoas de estabilização seguidas por lagoas de maturação em série	23
FIGURA 3.4	Fluxograma de reator UASB seguido por lagoas de polimento	25
FIGURA 3.5	Esquema dos processos que ocorrem em uma Lagoa de Estabilização	27
FIGURA 3.6	Representação esquemática das reações biológicas de uma lagoa facultativa	27
FIGURA 3.7	Representação esquemática da seção transversal de uma lagoa de estabilização	28
FIGURA 3.8	Algas encontradas em lagoas de estabilização	29
FIGURA 3.9	Comparação entre concepções clássicas de lagoas de estabilização e a concepção mais recente (reator UASB seguido por lagoas de polimento)	33
FIGURA 3.10	Efeito do tempo de contato e concentração de fração de sobreviventes de <i>E.Coli</i> em um reator em batelada, utilizando cloro como agente desinfetante a 20 °C.	41
FIGURA 3.11	Efeito germicida associado ao comprimento de onda da radiação UV	62

LISTA DE FIGURAS (continuação)

CAPÍTULO 3

Nº DA FIGURA	DESCRIÇÃO	Página
FIGURA 3.12	Espectro eletromagnético (seção a), da porção da radiação U.V. (seção b) e a faixa onde o comprimento de onda possui maior efeito bactericida (seção c).	63
FIGURA 3.13	Reatores de acionamento das lâmpadas U.V.	70
FIGURA 3.14	Reatores de acionamento das lâmpadas de U.V. usadas na parte experimental com reator piloto em bateladas (esquerda) e reator piloto de fluxo contínuo (direita)	71
FIGURA 3.15	Visão do corte isométrico de um típico sistema de desinfecção de U.V. de canal aberto com grade de cobertura removível: (a) sistema de lâmpadas horizontal, paralelo ao fluxo e (b) sistema de lâmpadas vertical, perpendicular ao fluxo	72
FIGURA 3.16	Exemplo típico de um sistema de desinfecção de U.V. de canal aberto com as lâmpadas dispostas na horizontal	74
FIGURA 3.17	Exemplo típico de um sistema de desinfecção de U.V. de canal aberto com as lâmpadas dispostas na vertical	74
FIGURA 3.18	Exemplo típico de um sistema de desinfecção de U.V. em recipiente fechado com as lâmpadas dispostas perpendicularmente ao fluxo	75
FIGURA 3.19	Exemplo típico de um sistema de desinfecção de U.V. em recipiente fechado com uma ou mais lâmpadas dispostas paralelamente ao fluxo	75
FIGURA 3.20	Ligações Timina – Adenina e Citosina – Guanina	78
FIGURA 3.21	Forma de dupla hélice do DNA.	78
FIGURA 3.22	Formação de dupla ligação química em microrganismos expostos à radiação ultravioleta	79
FIGURA 3.23	Representação de uma lesão nas bases Adenosina e Timina no DNA, provocada pela ação da radiação ultravioleta.	79
FIGURA 3.24	Mecanismo fundamental da desinfecção U.V.: Dimerização fotoquímica de duas bases de Timina	80

LISTA DE FIGURAS (continuação)

CAPÍTULO 3

Nº DA FIGURA	DESCRIÇÃO	Página
FIGURA 3.25	Interação das partículas com a luz UV, impactando na efetividade da desinfecção	92
FIGURA 3.26	Impacto da intensidade da radiação U.V. na efetividade da desinfecção com U.V. em efluente de estação de tratamento por meio de sistema de lodos ativados	103
FIGURA 3.27	Fração de partículas em determinado tipo de esgoto com um ou mais microrganismos coliformes associados em função do tempo de retenção de sólidos – TRS	104

CAPÍTULO 4

Nº DA FIGURA	DESCRIÇÃO	PÁGINA
FIGURA 4.1	Esquema dos pontos de amostragem e ensaios de desinfecção	117
FIGURA 4.2	Reator piloto de lâmpadas emersas, operando em batelada	118
FIGURA 4.3	Representação esquemática da câmara de irradiação	119
FIGURA 4.4	Representação esquemática da cúpula refletora	120
FIGURA 4.5	Reator piloto de lâmpada emersa e fluxo contínuo	121
FIGURA 4.6	Câmara de irradiação	122
FIGURA 4.7	Cúpula refletora do reator piloto de fluxo contínuo e lâmpada emersa	123
FIGURA 4.8	Esquema do reator de fluxo contínuo : cúpula refletora e câmara de desinfecção	124
FIGURA 4.9	Sistema de tratamento físico-químico em série com o reator de lâmpada emersa de fluxo contínuo	127
FIGURA 4.10	Detalhes do sistema físico-químico: tanques de mistura rápida/ floculação e tanque de decantação	127
FIGURA 4.11	lâmpadas germicidas da Phillips utilizadas nos ensaios e especificações técnicas	128
FIGURA 4.12	Equipamentos utilizados nas análises	131
FIGURA 4.13	Reprodução do Colilert	132
FIGURA 4.14	Etapas do teste de presença e ausência	133
FIGURA 4.15	Etapas do teste de quantificação	134

LISTA DE FIGURAS (continuação)

CAPÍTULO 5

Nº DA FIGURA	DESCRIÇÃO	Página
FIGURA 5.1	Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e <i>E. coli</i> obtidos no 1º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator de lâmpadas emersas.	141
FIGURA 5.2	Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e <i>E. coli</i> obtidos no 2º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator de lâmpadas emersas.	142
FIGURA 5.3	Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e <i>E. coli</i> obtidos no 3º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator de lâmpadas emersas.	143
FIGURA 5.4	Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e <i>E. coli</i> obtidos no 4º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator de lâmpadas emersas.	144
FIGURA 5.5	Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e <i>E. coli</i> obtidos no 5º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator de lâmpadas emersas.	145
FIGURA 5.6	Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e <i>E. coli</i> obtidos no 6º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator de lâmpadas emersas.	146
FIGURA 5.7	Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e <i>E. coli</i> obtidos no 7º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator de lâmpadas emersas.	147
FIGURA 5.8	Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e <i>E. coli</i> obtidos no 8º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator de lâmpadas emersas.	148

LISTA DE FIGURAS (continuação)

CAPÍTULO 5

Nº DA FIGURA	DESCRIÇÃO	Página
FIGURA 5.9	Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e <i>E. coli</i> obtidos no 9º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator de lâmpadas emersas.	149
FIGURA 5.10	Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e <i>E. coli</i> obtidos no 10º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator de lâmpadas emersas.	150
FIGURA 5.11	Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e <i>E. coli</i> obtidos no 11º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator de lâmpadas emersas.	151
FIGURA 5.12	Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e <i>E. coli</i> obtidos no 12º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator de lâmpadas emersas.	152
FIGURA 5.13	Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e <i>E. coli</i> obtidos no 13º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator de lâmpadas emersas.	153
FIGURA 5.14	Correlação entre SST e a concentração de coliformes fecais para o tempo de desinfecção de 60 segundos no ensaio de desinfecção com o reator batelada	155
FIGURA 5.15	Correlação entre Turbidez e a concentração de coliformes fecais para o tempo de desinfecção de 60 segundos no ensaio de desinfecção com o reator batelada	155
FIGURA 5.16	Correlação entre Absorvância e a concentração de coliformes fecais para o tempo de desinfecção de 60 segundos no ensaio de desinfecção com o reator batelada	155

LISTA DE FIGURAS (continuação)

CAPÍTULO 5

FIGURA 5.17	Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e <i>E. coli</i> obtidos no 1º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em fluxo contínuo por meio de reator piloto de lâmpada emersa.	157
FIGURA 5.18	Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e <i>E. coli</i> obtidos no 2º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em fluxo contínuo por meio de reator piloto de lâmpada emersa.	158
FIGURA 5.19	Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e <i>E. coli</i> obtidos no 3º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em fluxo contínuo por meio de reator piloto de lâmpada emersa.	159
FIGURA 5.20	Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e <i>E. coli</i> obtidos no 4º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em fluxo contínuo por meio de reator piloto de lâmpada emersa.	160
FIGURA 5.21	Correlação entre SST e a concentração de coliformes fecais para o tempo de desinfecção de 60 segundos no ensaio de desinfecção com o reator batelada.	162
FIGURA 5.22	Correlação entre Turbidez e a concentração de coliformes fecais para o tempo de desinfecção de 60 segundos no ensaio de desinfecção com o reator batelada	162
FIGURA 5.23	Correlação entre Absorvância e a concentração de coliformes fecais para o tempo de desinfecção de 60 segundos no ensaio de desinfecção com o reator batelada	162
FIGURA 5.24	Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e <i>E. coli</i> obtidos no 1º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator piloto de lâmpadas emersas após tratamento físico-químico com cloreto férrico.	167

LISTA DE FIGURAS (continuação)

CAPÍTULO 5

FIGURA 5.25	Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e <i>E. coli</i> obtidos no 2º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator piloto de lâmpadas emersas após tratamento físico-químico com cloreto férrico.	168
FIGURA 5.26	Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e <i>E. coli</i> obtidos no 3º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator piloto de lâmpadas emersas após tratamento físico-químico com cloreto férrico.	169
FIGURA 5.27	Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e <i>E. coli</i> obtidos no 4º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator piloto de lâmpadas emersas após tratamento físico-químico com cloreto férrico.	170
FIGURA 5.28	Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e <i>E. coli</i> obtidos no 5º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator piloto de lâmpadas emersas após tratamento físico-químico com cloreto férrico.	171
FIGURA 5.29	Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e <i>E. coli</i> obtidos no 6º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator piloto de lâmpadas emersas após tratamento físico-químico com cloreto férrico.	172
FIGURA 5.30	Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e <i>E. coli</i> obtidos no 7º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator piloto de lâmpadas emersas após tratamento físico-químico com cloreto férrico.	173

LISTA DE FIGURAS (continuação)

CAPÍTULO 5

FIGURA 5.31	Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e <i>E. coli</i> obtidos no 8º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator piloto de lâmpadas emersas após tratamento físico-químico com cloreto férrico.	174
FIGURA 5.32	Resumo dos resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais obtidos nos 8 ensaios de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizados em batelada por meio de reator piloto de lâmpadas emersas após tratamento físico-químico com cloreto férrico.	175
FIGURA 5.33	Resumo dos resultados da concentração sobrevivente de <i>E. coli</i> obtidos nos 8 ensaios de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizados em batelada por meio de reator piloto de lâmpadas emersas após tratamento físico-químico com cloreto férrico.	176
FIGURA 5.34	Correlação entre SST e a concentração de coliformes fecais para o tempo de desinfecção de 60 segundos no ensaio de desinfecção com o reator batelada após tratamento físico-químico	178
FIGURA 5.35	Correlação entre Turbidez e a concentração de coliformes fecais para o tempo de desinfecção de 60 segundos no ensaio de desinfecção com o reator batelada após tratamento físico-químico	178
FIGURA 5.36	Correlação entre Absorvância e a concentração de coliformes fecais para o tempo de desinfecção de 60 segundos no ensaio de desinfecção com o reator batelada	179

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 3

Nº DA TABELA	DESCRIÇÃO	Página
TABELA 3.1	Organismos patogênicos encontrados nos esgotos domésticos	7
TABELA 3.2	Ocorrências típicas de microrganismos patogênicos e microrganismos indicadores em esgotos brutos	8
TABELA 3.3	Classificação das águas doces em função dos usos preponderantes (Resolução CONAMA nº 20, de 18 de junho de 1986).	9
TABELA 3.4	Padrões microbiológicos para corpos d'água (NMP/100 ml)	10
TABELA 3.5	Recomendações da Organização Mundial de Saúde (OMS) relativa à qualidade microbiológica para uso agrícola de efluentes de estações de tratamento de esgotos	10
TABELA 3.6	Eficiência de remoção de poluentes por tipo de tratamento	13
TABELA 3.7	Níveis de tratamento e valores típicos dos principais parâmetros de qualidade dos efluentes	14
TABELA 3.8	Áreas necessárias para tratamento de esgotos por sistemas de lagoas de estabilização	17
TABELA 3.9	Parâmetros de Projeto e áreas necessárias por habitante no tratamento de esgotos por sistemas de lagoas	18
TABELA 3.10	Resumo das principais reações biológicas e exigências ambientais numa lagoa de estabilização de esgotos sanitários	26
TABELA 3.11	Faixas de eficiências de remoção de organismos patogênicos e indicadores em lagoas de estabilização	30
TABELA 3.12	Faixas de eficiências de remoção de constituintes físico-químicos em lagoas de estabilização	30
TABELA 3.13	Disposição/utilização do efluente tratado em lagoas de estabilização	31
TABELA 3.14	Gerenciamento do lodo em lagoas de estabilização	32
TABELA 3.15	Faixas de custos de implantação e operação de lagoas de estabilização.	32
TABELA 3.16	Características de um desinfetante ideal	35
TABELA 3.17	Remoção ou destruição de bactérias por diferentes processos de tratamento	37
TABELA 3.18	Comparação de características atuais e ideais dos desinfetantes mais usados.	38
TABELA 3.19	Mecanismos de desinfecção utilizando cloro, radiação UV e ozônio	40

LISTA DE TABELAS (continuação)

CAPÍTULO 3

Nº DA TABELA	DESCRIÇÃO	Página
TABELA 3.20	Principais fatores a serem considerados na avaliação de alternativas de desinfecção	47
TABELA 3.21	Nível de desenvolvimento, aspectos de operação e manutenção dos processos de desinfecção	48
TABELA 3.22	Efetividade do processo sobre os organismos patogênicos do esgoto sanitário	48
TABELA 3.23	Tempo de detenção hidráulica, outras reações e impactos na qualidade do efluente tratado	49
TABELA 3.24	Aspectos referentes ao impacto na saúde dos trabalhadores, nas estruturas e no meio ambiente	49
TABELA 3.25	Características típicas dos principais processos e desinfetantes	50
TABELA 3.26	Faixas usuais de dose residual para a inativação de bactérias, para efluente secundário filtrado a 20 °C e pH = 7	50
TABELA 3.27	Subprodutos de desinfecção representativos resultantes de cloração de esgoto contendo constituintes orgânicos e inorgânicos	53
TABELA 3.28	Subprodutos de desinfecção representativos resultantes da ozonização de esgotos contendo orgânicos e constituintes inorgânicos selecionados	56
TABELA 3.29	Resumo das Vantagens e Desvantagens do Cloro como agente desinfetante de esgotos sanitários	57
TABELA 3.30	Resumo das Vantagens e Desvantagens do Ozônio como agente desinfetante de esgotos sanitários	59
TABELA 3.31	Subdivisão da faixa de radiação ultravioleta entre os vários valores de comprimento de onda	62
TABELA 3.32	Informações comparativas das características operacionais das lâmpadas de U.V.	69
TABELA 3.33	Diagramas estruturais das quatro bases nitrogenadas	77
TABELA 3.34	Doses de radiação UV para a inativação de bactérias, vírus, algas, protozoários, helmintos e leveduras	82
TABELA 3.35	Influência da fotorreativação na taxa de sobrevivência microbiana	83

LISTA DE TABELAS (continuação)

CAPÍTULO 3

TABELA 3.36	Estimativa relativa acerca da efetividade da radiação ultravioleta para a desinfecção de microrganismos representativos no esgoto sanitário	87
TABELA 3.37	Estimativa relativa acerca da efetividade da radiação ultravioleta para a desinfecção de microrganismos representativos no esgoto sanitário	89
TABELA 3.38	Qualidade da água e medição de U.V. associada	93
TABELA 3.39	Valor da absorvância em função do tipo de esgoto	94
TABELA 3.40	Resumo das Vantagens e Desvantagens da Radiação Ultravioleta como agente desinfetante de esgotos sanitários	105
TABELA 3.41	Custo de Capital estimado pela WERF	108
TABELA 3.42	Custo de Operação & Manutenção estimados pela WERF	109
TABELA 3.43	Custos de Operação e Manutenção para a Cloração / Descloração estimados pela WERF	110
TABELA 3.44	Quadro final comparativo de custos anuais totais para sistemas de desinfecção com radiação U.V. e Cloração / Descloração	111
TABELA 3.45	Custos de implantação e de operação para processos de desinfecção estimados pelo PROSAB	112

LISTA DE TABELAS (continuação)

CAPÍTULO 4

Nº DA TABELA	DESCRIÇÃO	Página
TABELA 4.1	Especificações técnicas das lâmpadas germicidas Phillips utilizadas nos ensaios	140
TABELA 4.2	Ensaio de actinometria do reator de lâmpadas emersas e operação em batelada	151
TABELA 4.3	Ensaio de actinometria do reator de lâmpada emersa e operação contínua	151

CAPÍTULO 5

Nº DA TABELA	DESCRIÇÃO	PÁGINA
TABELA 5.1	Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e <i>E. coli</i> obtidos no 1º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator de lâmpadas emersas	141
TABELA 5.2	Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e <i>E. coli</i> obtidos no 2º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator de lâmpadas emersas.	142
TABELA 5.3	Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e <i>E. coli</i> obtidos no 3º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator de lâmpadas emersas.	143
TABELA 5.4	Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e <i>E. coli</i> obtidos no 4º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator de lâmpadas emersas.	144
TABELA 5.5	Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e <i>E. coli</i> obtidos no 5º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator de lâmpadas emersas.	145

LISTA DE TABELAS (continuação)

CAPÍTULO 5

Nº DA TABELA	DESCRIÇÃO	Página
TABELA 5.6	Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e <i>E. coli</i> obtidos no 6º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator de lâmpadas emersas.	146
TABELA 5.7	Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e <i>E. coli</i> obtidos no 7º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator de lâmpadas emersas.	147
TABELA 5.8	Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e <i>E. coli</i> obtidos no 8º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator de lâmpadas emersas.	148
TABELA 5.9	Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e <i>E. coli</i> obtidos no 9º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator de lâmpadas emersas.	149
TABELA 5.10	Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e <i>E. coli</i> obtidos no 10º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator de lâmpadas emersas.	150
TABELA 5.11	Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e <i>E. coli</i> obtidos no 11º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator de lâmpadas emersas.	151
TABELA 5.12	Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e <i>E. coli</i> obtidos no 12º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator de lâmpadas emersas.	152
TABELA 5.13	Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e <i>E. coli</i> obtidos no 13º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator de lâmpadas emersas.	153

LISTA DE TABELAS (continuação)

CAPÍTULO 5

Nº DA TABELA	DESCRIÇÃO	Página
TABELA 5.14	Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e <i>E. coli</i> obtidos no 1º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em fluxo contínuo por meio de reator piloto de lâmpada emersa.	157
TABELA 5.15	Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e <i>E. coli</i> obtidos no 2º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em fluxo contínuo por meio de reator piloto de lâmpada emersa.	158
TABELA 5.16	Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e <i>E. coli</i> obtidos no 3º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em fluxo contínuo por meio de reator piloto de lâmpada emersa.	159
TABELA 5.17	Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e <i>E. coli</i> obtidos no 4º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em fluxo contínuo por meio de reator piloto de lâmpada emersa.	160
TABELA 5.18	Resultados das avaliações físico-químicas antes e após o tratamento físico-químico com cloreto férrico (sem a aplicação da radiação ultravioleta)	164
TABELA 5.19	Resultados dos indicadores biológicos antes e após o tratamento físico-químico com cloreto férrico (sem a aplicação da radiação ultravioleta)	166
TABELA 5.20	Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e <i>E. coli</i> obtidos no 1º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator piloto de lâmpadas emersas após tratamento físico-químico com cloreto férrico.	167

LISTA DE TABELAS (continuação)

CAPÍTULO 5

Nº DA TABELA	DESCRIÇÃO	Página
TABELA 5.21	Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e <i>E. coli</i> obtidos no 2º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator piloto de lâmpadas emersas após tratamento físico-químico com cloreto férrico.	168
TABELA 5.22	Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e <i>E. coli</i> obtidos no 3º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator piloto de lâmpadas emersas após tratamento físico-químico com cloreto férrico	169
TABELA 5.23	Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e <i>E. coli</i> obtidos no 4º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator piloto de lâmpadas emersas após tratamento físico-químico com cloreto férrico.	170
TABELA 5.24	Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e <i>E. coli</i> obtidos no 5º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator piloto de lâmpadas emersas após tratamento físico-químico com cloreto férrico.	171
TABELA 5.25	Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e <i>E. coli</i> obtidos no 6º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator piloto de lâmpadas emersas após tratamento físico-químico com cloreto férrico.	172
TABELA 5.26	Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e <i>E. coli</i> obtidos no 7º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator piloto de lâmpadas emersas após tratamento físico-químico com cloreto férrico.	173
TABELA 5.27	Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e <i>E. coli</i> obtidos no 8º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator piloto de lâmpadas emersas após tratamento físico-químico com cloreto férrico.	174

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

Abs.	Absorvância (adimensional)
APHA.	American Public Health Association
C	Colifagos (UFP/100 mL)
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
ce	Coeficiente de extinção (base e) (1/cm)
CF	Coliforme Fecal (CF/100 mL)
COT	Carbônico Orgânico Total
CT	Coliformes Totais (NMP/100 mL)
CONAMA 20	Resolução nº 20 do Conselho Nacional do Meio Ambiente
$C_{Fe^{2+}}$	Concentração de Fé ²⁺ na solução de ferrioxalato de potássio irradiada com radiação ultravioleta (mg/L)
C_{medida}	Concentração de Fé ²⁺ obtida pela curva de calibração de determinação espectrofotométrica de Fe ²⁺ (mg/L)
D	Dose de radiação ultravioleta a 254 nm incidente na superfície irradiada (mWs/cm ² ou mJ/cm ²)
D_a	Dose aplicada de radiação ultravioleta (mWs/cm ² ou mJ/cm ²)
D_r	Dose recebida de radiação ultravioleta (mWs/cm ² ou mJ/cm ²)
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/L)
DNA	Ácido Desoxirribonucléico
DQO	Demanda Química de Oxigênio (mg/L)
E	Porcentagem de eficiência de remoção de microrganismos (%)
EESC	Escola de Engenharia de São Carlos
EC	<i>Escherichia coli</i> (NMP/100 mL)
EF	<i>Streptococcus Faecalis</i>
EPA	Environment Protection Agency
$[Fe^{2+}]_A$	Concentração molar de Fe ²⁺ antes da irradiação (mol/L)
$[Fe^{2+}]_D$	Concentração molar de Fe ²⁺ depois da irradiação (mol/L)
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde do Ministério da Saúde
HAA	Ácidos Haloacéticos
HSA	Departamento de Saúde Ambiental
I_m	Intensidade média de radiação ultravioleta (mW/cm ² ou mJ/cm ²)

K, n e M	Coeficientes do modelo de Hom ($LN (N/N_0) = -K.l_m^n .t^M$)
L	Espessura de lâmina líquida (cm)
N	Concentração de microrganismos no efluente (após a desinfecção)
N ₀	Concentração de microrganismos no efluente (antes da desinfecção)
NPM	Número mais provável
OMS	Organização Mundial da Saúde
P	Potência radiante da lâmpada de baixa pressão de vapor de mercúrio a 254 nm (energia emitida) (W)
pH	Potencial Hidrogeniônico
ppm	Partes por milhão
PROSAB	Programa de Saneamento Básico (ligado ao Ministério da Ciência e Tecnologia)
RNA	Ácido Ribonucléico
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SS	Concentração de sólidos suspensos (mg/L)
SST	Concentração de sólidos suspensos totais (mg/L)
ST	Sólidos Totais (mg/L)
t	Tempo de exposição (s)
T	Temperatura (°C)
THM's	Trihalometanos
UFP	Unidade Formadora de Placas, utilizada para colifagos
UNT	Unidade Nefelométrica de Turbidez
USEPA	U.S. Environmental Protection Agency
UFP	Unidades formadoras de placas, utilizada para colifagos
UV	Ultravioleta
V _{alíquota}	Volume da alíquota (mL)
V _{frasco}	Volume do frasco (mL)
WEF	Water Environment Federation
WERF	Water Environment Research Foundation
ϕ_{Fe}	Rendimento quântico da produção de Fe ²⁺ no comprimento de onda de 254 nm = 1,26 íon grama.Einstein
λ	Comprimento de onda (nm)

RESUMO

Kuzuhara, FSR. **Desinfecção de esgoto sanitário tratado em sistema de lagoas de estabilização por meio de radiação ultravioleta**. São Paulo; 2005. [Dissertação de Mestrado – Faculdade de Saúde Pública da USP].

Objetivo. A presente pesquisa trata da avaliação do processo de desinfecção de efluentes de sistemas de tratamento de esgotos sanitários de lagoas de estabilização por meio de radiação ultravioleta. Tal estudo visa avaliar os métodos alternativos de desinfecção de esgotos sanitários que visem reduzir a formação de subprodutos danosos ao meio ambiente e tóxicos ao homem, tais como os compostos clorados. **Método.** A parte experimental do estudo de desinfecção de esgotos sanitários foi desenvolvida em Lins/SP, na ETE operada pela SABESP, a qual consiste em sistema de lagoas de estabilização (três módulos em paralelo de lagoas anaeróbias seguidas de lagoas facultativas fotossintéticas). Após o tratamento biológico, o esgoto foi desinfetado por meio de radiação ultravioleta, utilizando-se dois tipos de reatores pilotos de lâmpadas emersas, um operando em batelada (instalado na FSP/SP) e outro operando em fluxo contínuo (instalado na ETE de Lins / SP). No reator piloto em batelada os tempos de desinfecção foram: 30, 60, 90 e 120 segundos e no reator piloto de fluxo contínuo, as vazões utilizadas foram de 105 e 210 L/h. Durante o estudo de desinfecção, avaliou-se a interferência da presença de algas e outros microrganismos, os quais conferem turbidez e cor ao esgoto, na eficácia da desinfecção com a radiação ultravioleta, especificamente na penetração da radiação UV no efluente. Para tal, foram realizados testes de coagulação, floculação e decantação dos efluentes das lagoas de estabilização, utilizando cloreto férrico, sulfato de alumínio e polieletrólitos. **Resultados.** Os ensaios com o reator piloto de lâmpadas emersas operando em batelada reduziram os coliformes totais e fecais de forma bastante razoável. Doses de radiação na faixa de 20 a 40 mWs/cm² e tempos de contato inferiores a 90 segundos foram suficientes para a redução dos coliformes fecais abaixo de 10³ CF/100 mL, chegando em algumas condições a praticamente eliminá-los. No caso do reator piloto operando em fluxo contínuo, apesar da elevada concentração de sólidos em suspensão, pode-se considerar a redução dos coliformes totais e fecais também bastantes satisfatórios. Doses de radiação na faixa de 20 a 30 mWs/cm² e tempos de contato de 50 segundos foram razoáveis para reduzir a densidade de *E.coli* abaixo de 9 x 10³ CF/100 mL e tempos de contato de 100 segundos

foram suficientes para reduzir a densidade de *E. coli* para valores abaixo de 1×10^3 CF/100 mL, chegando em algumas condições a praticamente eliminá-los.

O tratamento físico-químico acarretou na coagulação e decantação das algas e outros materiais em suspensão, possibilitando uma maior penetração da radiação ultravioleta e, por conseqüência, aumentando a eficácia da desinfecção, tanto no reator em bateladas como no reator de fluxo contínuo. **Conclusões.** Baseado nos resultados experimentais pode-se verificar que os ensaios de desinfecção com radiação ultravioleta foram mais efetivos no efluente tratado por processo físico-químico, após coagulação, floculação e sedimentação com os agentes coagulantes do que os ensaios de desinfecção com radiação ultravioleta sem o tratamento físico-químico, em função da significativa diminuição da densidade de algas. O tratamento físico-químico promoveu uma boa remoção de sólidos em suspensão dos efluentes da lagoa facultativa, melhorando seu aspecto estético e facilitando a penetração da radiação ultravioleta. Deve-se observar que a desinfecção com radiação ultravioleta é mais efetiva para águas com cor e turbidez de pequeno valor, devido à necessidade de penetração da luz no meio, constatando-se que a qualidade da água a ser tratada é um importante fator na utilização deste processo de desinfecção. Isto significa que para a aplicação da radiação UV em esgotos sanitários, o efluente secundário deverá apresentar as condições mínimas para a viabilização da aplicação da radiação UV, tais como cor e turbidez razoavelmente baixas.

Descritores: Desinfecção, radiação ultravioleta, esgoto sanitário e lagoas de estabilização.

ABSTRACT

Kuzuhara, FSR. **Disinfection of wastewater treated on stabilization lagoons system using ultraviolet radiation.** São Paulo; 2005. [Master Degree Thesis – Faculdade de Saúde Pública da USP].

Summary. This study presents an evaluation of ultraviolet radiation (UV) disinfection of effluents of wastewater treatment systems with stabilization lagoons. The study intends to evaluate the alternative methods of UV wastewater disinfection that can reduce the production of by-products that are harmful to the environment and toxic to the humans, such as chlorine compounds. **Methodology.** The experimental part of the study of wastewater disinfection was development in Lins-SP, at the wastewater treatment station operated by SABESP, which consists of a stabilization lagoons system (three modules of anaerobic lagoons in parallel followed by photosynthetic facultative lagoons). After biological treatment, the wastewater was disinfected by ultraviolet radiation using two types of immersed lamps pilot reactors, one running in batch mode (installed at FSP-SP) and the other running on continuous flow (installed in Lins-SP). On the batch reactor the contact times were equal 30, 60, 90 and 120 seconds. On the continuous flow reactor the throughput were 105 and 210 L/h. On this study the interference of algae and other microorganisms - which confers turbidity and color to the wastewater - on the effectiveness of UV disinfection was evaluated; specifically regarding the penetration of UV radiation on effluents. For such purpose coagulation, flocculation and decantation tests were done with effluents of stabilization lagoons using ferric chloride, aluminium sulfate and polyelectrolyte. **Results.** The experiments with immersed lamps pilot reactors running on batch mode presented significant reduction on total and fecal coliforms concentration. Radiation doses on the range of 20 to 40 mWs/cm² and contact time of less than 90 seconds were enough to reduce fecal coliforms concentration under 10³ FC/100 mL, and even eliminating them on some occasions. The experiments with continuous flow reactors, even with a high concentration of solids in suspension, also showed satisfactory reduction of total and fecal coliforms. Radiation doses on the range of 20 to 30 mWs/cm² and contact time of 50 seconds were enough to reduce *E.coli* concentration under 9 x 10³ FC/100 mL, and contact time of 100 seconds were enough to reduce *E. coli* concentration under 1 x 10³ CF/100 mL, and even eliminating them on some occasions.

The physical-chemical treatment led to the coagulation and decantation of algae and solid material in suspension allowing a higher penetration of UV radiation and consequently increasing the effectiveness of disinfection on both type of reactors. **Conclusion.** Based upon experimental results it is possible to verify that UV disinfection were more effective on effluents treated by physical-chemical process after coagulation, flocculation, and sedimentation rather than disinfection without physical-chemical treatment, due to the reduction of algae density. The physical-chemical treatment removed major solids in suspension of the lagoon effluents, enhancing its visual aspects and facilitating the penetration of ultraviolet radiation. UV disinfection is more effective with water with light color and low turbidity due to the necessity of penetration of light. Therefore quality of water is an important factor on the utilization of this disinfection method. That means the effluent must present minimum conditions of color lightness and low turbidity for the use of UV wastewater disinfection.

Keywords: Disinfection, ultraviolet radiation, wastewater and stabilization lagoons.

Capítulo 1

Introdução

A grande deficiência de saneamento básico em várias regiões brasileiras, em especial de esgotamento sanitário, impõe a grande número de pessoas riscos inaceitáveis de exposição direta ou indireta a esgotos sanitários. O volume de esgotos sanitários lançado no solo ou em corpos d'água, em estado bruto ou insuficientemente tratado, constitui expressiva carga de organismos patogênicos excretados por indivíduos infectados no meio ambiente. Mesmo nos locais onde há estações de tratamento, são reais os riscos de contaminação de pessoas pelo contato direto ou indireto com o efluente tratado (PROSAB, 2003).

Segundo a Organização Mundial da Saúde, as enfermidades transmitidas pela água são responsáveis por mais de 65% das internações hospitalares nos países em desenvolvimento. No Brasil, dados do Ministério da Saúde indicam que 90 % das crianças estão expostas a doenças diarreicas, que causam cerca de 30 % das mortes de crianças até um ano de idade. Em vários países da América Latina e Caribe, as gastroenterites e as doenças diarreicas figuram entre as dez principais causas de mortalidade, sendo responsáveis por cerca de 200.000 mortes ao ano, sem incluir as causadas pela febre tifóide e hepatite e outras similares (FUNASA, 1998).

Em 1848, John Snow demonstrou a correlação da água para consumo humano e doenças por meio de mapeamento e técnicas de levantamento. Segundo sua intuição científica, de que a cólera existente em algumas regiões de Londres estava relacionada a impurezas presentes na água utilizada para consumo humano, indicou num mapa os casos de morte por cólera e examinou a área próxima ao domicílio. Ele demonstrou que as residências abastecidas pela água de um rio que recebia descargas de esgotos sanitários a montante apresentavam uma taxa de mortalidade por cólera seis vezes mais acentuada do que aquelas residências que se utilizavam da água antes do lançamento dos esgotos. Pela simples remoção do local de bombeamento, iniciou a ciência da epidemiologia analítica e constatou a possibilidade de a água servir como veículo de transmissão de doenças (CETESB, 1994).

Nesse contexto, o tratamento tanto de águas para abastecimento público quanto de esgotos sanitários, que contemple a remoção de organismos patogênicos, via desinfecção, constitui-se, na área de saúde pública, numa das principais estratégias para a prevenção de doenças de veiculação hídrica.

A desinfecção é a etapa do tratamento cuja função precípua consiste na inativação ou destruição de microrganismos patogênicos e outros microrganismos indesejáveis, realizada por intermédio de agentes físicos e/ou químicos (DANIEL, 2001).

A inserção da desinfecção no fluxograma de uma estação de tratamento pode se dar de forma específica, pela construção de uma etapa exclusiva para a desinfecção, ou por intermédio da adaptação de processos existentes para realizar, dentre outras tarefas, também a desinfecção (PROSAB, 2003).

Os desinfetantes utilizados em concentrações adequadas e em tempos de contato suficientes asseguram boas condições da qualidade da água, do ponto de vista bacteriológico (DIAS, 2001).

A produção de efluentes tratados com baixas densidades de coliformes fecais (CF) (por exemplo, $CF < 10^3$ NMP/100 ml) é possível por meio do emprego de processos naturais ou físico-químicos concebidos especificamente para a desinfecção. O cloro (líquido ou gasoso) é o agente inativador de organismos patogênicos presentes em esgotos sanitários mais econômico e difundido, sendo muito eficiente na inativação de bactérias e vírus. Entretanto, alguns de seus compostos podem produzir subprodutos tóxicos de efeitos crônicos à saúde humana e ao meio ambiente (PROSAB, 2003).

Além disso, compostos clorados não possuem capacidade desinfetante para protozoários patogênicos e helmintos. Outras opções com base em processos químicos (ozonização e misturas oxidantes), assim como físicos (filtração terciária ou radiação ultravioleta) e naturais (lagoas de estabilização ou disposição controlada no solo), oferecem alternativas cada vez mais interessantes à cloração seguida de descloração dos efluentes tratados (PROSAB, 2003).

Começaram a ser desenvolvidas pesquisas de métodos de desinfecção alternativos à cloração, com o intuito tanto de substituir os antigos métodos químicos, com o intuito de minimizar a formação de precursores de THM e outros subprodutos que apresentam potencial cancerígeno (DANIEL, 2001).

A radiação ultravioleta é uma forma estabelecida, bastante estudada e utilizada e de crescente aplicação como alternativa aos agentes químicos tradicionais no processo de desinfecção de águas de abastecimento e, também, de águas residuárias. O efeito germicida desse tipo de energia foi reportado pela primeira vez por Downs & Blunt, em 1878. Entretanto, a radiação ultravioleta utilizada como alternativa para desinfecção é conhecida desde o início do século XX, mas, por problemas de confiabilidade de equipamento, tecnologia, entre outros, foi abandonada. Posteriormente, superada a maioria desses problemas, o método de desinfecção por radiação ultravioleta começou a ganhar popularidade, principalmente nos países europeus, e a pesquisa e o desenvolvimento desse método têm aumentado bastante. Um dos fatores importantes para sua popularização, é o custo, que o torna competitivo economicamente se comparado à cloração (DANIEL, 2001).

A parte experimental do presente trabalho pode ser desenvolvida em função da existência de um projeto específico em reúso de águas residuárias, na cidade de Lins, localizada no interior do estado de São Paulo. Tal projeto foi desenvolvido em parceria entre a Universidade de São Paulo e a SABESP, participantes do PROSAB - Programa de Pesquisas em Saneamento Básico, ligado ao Ministério da Ciência e Tecnologia. Foram realizados diversos ensaios de desinfecção em dois tipos de reatores pilotos, um de fluxo contínuo, instalado em Lins e outro em batelada, instalado no laboratório do Departamento de Saúde Ambiental da Faculdade de Saúde Pública da USP em São Paulo. Mais detalhes dos ensaios de desinfecção está no capítulo 4: Materiais e Métodos.

Informações básicas da estação de tratamento de esgotos sanitários de Lins e do Complexo do PROSAB.

A ETE de Lins é operada pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – SABESP. A área total do complexo do PROSAB é de 6 hectares. O esgoto bruto da cidade é tratado biologicamente por meio de lagoas de estabilização. O sistema é constituído de gradeamento e desarenação dos esgotos, além de três módulos em paralelo de lagoas anaeróbias seguidas de lagoas facultativas fotossintéticas, segundo a figura 1.1:

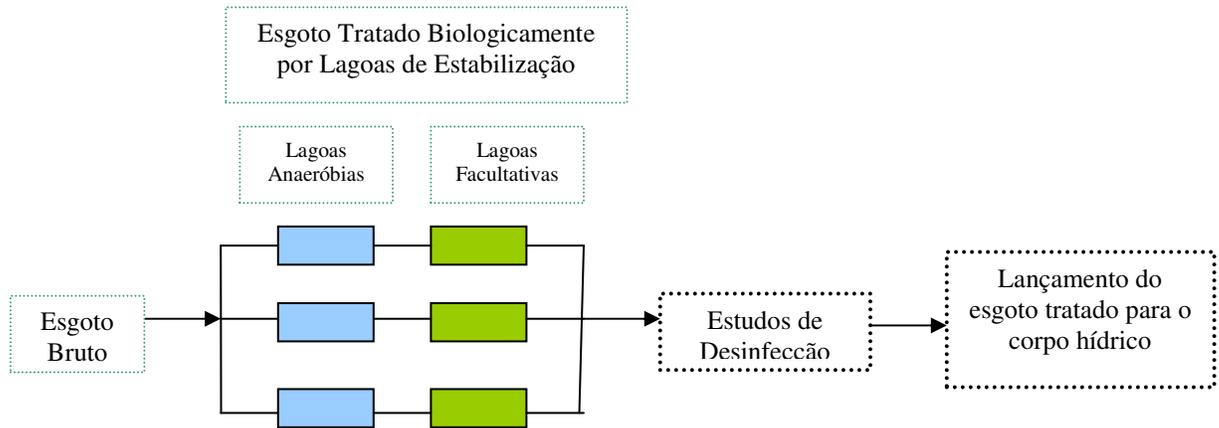


Figura 1.1: Esquema de funcionamento da ETE de Lins/SP e do estudo de desinfecção.

O sistema de tratamento de águas residuárias de Lins possui capacidade para o atendimento de cerca de 65.000 habitantes. As lagoas anaeróbias trabalham com um tempo de detenção hidráulico médio aproximado de 5 dias e as lagoas facultativas com cerca de 10 dias.

O sistema é dividido em três módulos: I, II e III. Do módulo I, localizado na cota mais alta do terreno, deriva-se uma parcela da vazão dos efluentes finais (10 l/s) para a alimentação das instalações piloto do PROSAB, onde foram realizados os ensaios de fertirrigação, hidroponia e piscicultura com o esgoto tratado e desinfetado. Os esgotos tratados possuem DBO na faixa de 50 a 60 mg/L, elevando-se em alguns episódios para em torno de 100 mg/L.

As figuras 1.2 e 1.3 mostram a ETE de Lins e o complexo do PROSAB, onde foram desenvolvidos os estudos de desinfecção.

Sistema de medição de vazão na entrada do esgoto bruto da ETE de Lins



Lagoas anaeróbia e facultativa da ETE



Figura 1.2: Estação de tratamento de Lins/SP: entrada do esgoto na estação e lagoas anaeróbia e facultativa.

Visão geral do Complexo do PROSAB



Figura 1.3: Complexo do PROSAB, localizado na ETE de Lins/SP.

Capítulo 2

Objetivos

O presente trabalho, em que se utiliza a radiação ultravioleta como agente desinfetante, tem por objetivos:

- fazer uma revisão da literatura existente sobre a desinfecção de esgotos sanitários;
- avaliar, por meio de experimentos em escala piloto, a eficiência do processo de desinfecção de efluente de sistemas de tratamento de esgotos sanitários de lagoas de estabilização por meio de radiação ultravioleta na inativação de coliformes totais e coliformes fecais (*E.coli*).
- avaliar os efeitos que os sólidos suspensos, especialmente as algas, tem sobre o processo de desinfecção de esgotos sanitários por meio da radiação ultravioleta.
- verificar se o processo de desinfecção de esgotos sanitários por meio de radiação ultravioleta atende o Decreto Estadual 8468, a Resolução CONAMA 20, de 1986, no que tange ao limite do lançamento de patógenos nos corpos hídricos.

Capítulo 3

Revisão Bibliográfica

3.1 O esgoto sanitário

Esgotos sanitários são os despejos líquidos constituídos de esgotos domésticos e industriais lançados na rede pública, água de infiltração e a parcela de contribuição pluvial parasitária julgada conveniente. Esgoto é o termo usado para caracterizar os despejos provenientes dos diversos usos das águas, tais como doméstico, comercial, industrial, agrícola, estabelecimentos públicos, infiltração de água na rede de esgotos etc. (CETESB, 1989).

3.1.1 Doenças Relacionadas com os Esgotos

Os esgotos sanitários contêm ainda inúmeros organismos vivos tais como bactérias, vírus, vermes e protozoários, que, em sua maioria, são liberados junto com os dejetos urbanos. Alguns são de suma importância no tratamento de águas residuárias, pois decompõem a matéria orgânica complexa, transformando-a em compostos orgânicos mais simples e estáveis; outros, denominados organismos patogênicos, são causadores de doenças (CETESB, 1989). É grande o número de doenças cujo controle está relacionado com o destino adequado dos dejetos humanos. Dentre as principais, estão: ancilostomíase, ascaridíase, amebíase, cólera, diarreia infecciosa, disenteria bacilar, esquistossomose, estrogiloidíase, febre tifóide, febre para tifóide, salmonelose, teníase e cisticercose (FUNASA, 1998). A tabela 3.1 ilustra as doenças causadas por alguns dos organismos patogênicos encontrados nos esgotos sanitários:

Tabela 3.1: Organismos patogênicos encontrados nos esgotos domésticos.

Fonte: CETESB - Operação e manutenção de lagoas anaeróbias e facultativas - Série Manuais, nº 5. São Paulo, 1989.

Nome do organismo	Tipo	Doença causada
Vírus da Hepatite	Vírus	Hepatite
Vírus da Poliomielite	Vírus	Poliomielite
<i>Salmonella typhi</i>	Bactéria	Febre Tifóide
<i>Vibrio Cholerae</i>	Bactéria	Cólera
<i>Salmonella spp</i>	Bactéria	Intoxicação Alimentar
<i>Entamoeba histolytica</i>	Protozoário	Disenteria Amebiana
<i>Ascaris lumbricoides</i>	Verme	Ascaridíase (lombriga)
<i>Schistosoma mansoni</i>	Verme	Esquistossomose
<i>Leptospira iceterohaemorrhagiae</i>	Bactéria	Leptospirose
<i>Shigella spp</i>	Bactéria	Disenteria Bacilar

As faixas de densidades dos principais organismos de interesse para a saúde humana, observadas com mais frequência em esgotos sanitários, são apresentadas na tabela abaixo. Nos períodos de ocorrência de epidemias relacionadas à água, as densidades dos organismos patogênicos implicados com as doenças aumentam significativamente no esgoto. Nas regiões onde há deficiências na barreira sanitária, as densidades de patógenos também tendem a ser mais elevadas (PROSAB, 2003). A tabela 3.2 mostra as ocorrências típicas de microrganismos patogênicos e microrganismos indicadores em esgotos brutos.

Tabela 3.2: Ocorrências típicas de microrganismos patogênicos e microrganismos indicadores em esgotos brutos. Fonte: PROSAB, 2003.

Microrganismo	Contribuição per capita (org/hab.d)	Concentração (org/100 ml)
Bactérias		
Coliformes totais	10^9 a 10^{12}	10^6 a 10^{10}
<i>Coliformes fecais</i>	10^8 a 10^{11}	10^9 a 10^{12}
<i>Escherichia coli</i>	10^8 a 10^{11}	10^6 a 10^9
<i>Salmonellae spp.</i>	10^5 a 10^6	10^2 a 10^3
<i>Streptococos fecais</i>	10^8 a 10^9	10^5 a 10^6
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	10^4 a 10^5	10^1 a 10^2
Protozoários		
Cistos de <i>Giardia</i> sp	10^5 a 10^7	10^2 a 10^4
Oocistos de <i>Cryptosporidium spp.</i>	10^4 a 10^5	10^1 a 10^2
Helmintos		
Ovos de helmintos	10^4 a 10^6	10^1 a 10^3
Vírus		
Vírus	10^5 a 10^7	10^2 a 10^4

3.1.2 Modos de transmissão de doenças

Segundo a FUNASA (1998), são diversas as formas de transmissão de doenças. Destacam-se as seguintes:

1. Pelo contato direto da pele com o solo contaminado por larvas de helmintos, provenientes de fezes de portadores de parasitoses;
2. Pelo contato direto da pele com coleções de água contaminada por cercarias;
3. Pela ingestão de alimentos contaminados diretamente pelos dejetos ou pela água contaminada;
4. Pela ingestão de alimentos contaminados por vetores, especialmente a mosca;
5. Pela ingestão de alimentos diretamente contaminados pela mão de homem, por falta de higiene pessoal;
6. Pela ingestão de carnes suínas e bovinas contaminadas com cisticercos viáveis.

3.2 Padrões de Qualidade da água

No Brasil a legislação federal estabelece padrões microbiológicos para águas tratadas destinadas a consumo público (padrões de potabilidade), padrões microbiológicos para águas brutas destinadas a diversos usos, como captação e tratamento para consumo, preservação da flora e da fauna, irrigação (padrões de qualidade em geral ou padrões ambientais) e padrões microbiológicos para banho (padrões de balneabilidade) (PROSAB, 2003):

1. Padrões de Potabilidade: Os padrões microbiológicos para águas tratadas destinadas a consumo público estão definidos na Portaria 1469/2000 do Ministério da Saúde;

2. Padrões Ambientais (para o corpo d'água): Os padrões microbiológicos para corpos d'água doce no Brasil são definidos pela Resolução CONAMA 20/86. Para atender ao sistema de classes de qualidade previsto na referida resolução, águas doces, salobras e salinas são classificadas em nove classes, de acordo com os usos preponderantes, conforme a tabela 3.3.

Tabela 3.3: Classificação das águas doces em função dos usos preponderantes (Resolução CONAMA nº 20, de 18 de junho de 1986). Fonte: PROSAB, 2003.

Uso	Classe								
	Especial	Doces				Salinas		Salobras	
		1	2	3	4	5	6	7	8
Abastecimento doméstico	X	X (a)	X (b)	X (b)			vc		
Preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas	X								
Recreação de contato primário		X	X			X		x	
Proteção das comunidades aquáticas		X	X			X		X	
Irrigação		X (c)	X (d)	X (e)					
Criação de espécies (aquicultura)		X	X			X		X	
Dessedentação de animais				X					
Navegação					X		X		X
Harmonia paisagística					X		X		X
Recreação de contato secundário							X		X
Usos menos exigentes					X				

(a) após tratamento simplificado; (b) após tratamento convencional; (c) hortaliças consumidas cruas e frutas que se desenvolvam rentes ao solo e sejam ingeridas cruas sem a remoção de película; (d) hortaliças e plantas frutíferas e; (e) culturas arbóreas cerealíferas e forrageiras.

Os padrões microbiológicos para corpos d'água doce são funções do uso da água e da classe em que se acha enquadrado o corpo d'água, definidos na Resolução CONAMA 20/86, de acordo com a tabela 3.4 (PROSAB, 2003):

Tabela 3.4: Padrões microbiológicos para corpos d'água (NMP/100 ml). Fonte: PROSAB, 2003.

Parâmetro	Classe 1	Classe 2	Classe 3
Coliformes Totais	1.000	5.000	20.000
ColiFecais	200	1.000	4.000

3. Padrões para uso agrícola: O reúso do esgoto tratado para irrigação constitui prática desejável, particularmente nas regiões áridas e semi-áridas, onde a disponibilidade hídrica é baixa. As diretrizes adotadas pela Organização Mundial da Saúde (1989) estabelecem a qualidade microbiológica de efluentes tratados para diferentes usos com base na concentração de coliformes fecais e no número de ovos de helmintos por unidade de volume, conforme pode ser observado na tabela 3.5. No Brasil, os limites estabelecidos pelo CONAMA para águas de classe 2 destinadas à irrigação de hortaliças e plantas frutíferas fixam em 80% ou mais, de pelo menos 5 amostras mensais, um valor igual ou menor que 1.000 CF/100 ml e 5.000 CT/100 ml (PROSAB, 2003).

Tabela 3.5: Recomendações da Organização Mundial de Saúde (OMS) relativa à qualidade microbiológica para uso agrícola (a) de efluentes de estações de tratamento de esgotos. Fonte: PROSAB, 2003.

Categoria	Condições de reúso	Grupo exposto	Ovos de helmintos/L (b) (média aritmética)	CF/100 ml (c)
A	Irrigação de culturas que são ingeridas cruas, campos de esporte e parques públicos (d)	Trabalhadores, consumidores, público	≤ 1	≤ 1.000 (d)
B	Irrigação de culturas que não ingeridas cruas, como cereais para indústria, pastos, forragem e árvores	Trabalhadores	≤ 1	Não se recomenda
C	Irrigação de culturas da categoria B, se o público e os trabalhadores não ficam expostos	Nenhum	Não se aplica	Não se aplica

Nota: a) Em casos específicos, de acordo com os fatores ambientais, epidemiológicos, locais e socioculturais, devem ser consideradas modificações das recomendações; b) espécies dos nematóides: *Ascaris*, *Trichuris*, *Necator americanus* e *Ancilostoma duodenale*; c) durante o período de irrigação; d) recomendações mais rigorosas devem ser consideradas (≤ 200 CF/100 ml) para gramados públicos com os quais o público tem contato direto; e) no caso de árvores frutíferas

3.3 Tratamento de esgotos sanitários:

O tratamento dos esgotos sanitários, antes de seus lançamentos em qualquer corpo hídrico, tem como objetivo (CETESB, 1989):

- prevenir e reduzir a disseminação de doenças transmissíveis causadas pelos microrganismos patogênicos;
- conservar as fontes de abastecimento de água para uso doméstico, industrial e agrícola;
- manter as características da água necessária à piscicultura;
- fazer a manutenção das águas para banho e outros propósitos recreativos e;
- preservar a fauna e flora aquática

O grau necessário a ser alcançado num determinado tratamento de esgotos sanitários varia de um lugar para outro e depende dos seguintes requisitos:

- usos preponderantes das águas receptoras a jusante do ponto de lançamento dos esgotos;
- capacidade do corpo de água em assimilar, por diluição e autodepuração, o líquido tratado e;
- exigências legais estabelecidas pelos órgãos de controle de Poluição para o corpo receptor em apreço.

3.3.1 Tratamento Preliminar

Remove o material mais grosseiro de esgotos sanitários, tais como os sólidos suspensos (trapos, escovas de dente, tocos de cigarro, excretas, galhos e troncos) e os sólidos decantáveis, tais como areia e gordura, os quais podem provocar manutenção ou problemas operacionais nas operações de tratamento, processos e sistemas auxiliares de uma estação de tratamento (METCALF & EDDY, 2003).

3.3.2 Tratamento Primário

Remove uma porção dos sólidos suspensos e matéria orgânica do esgoto (METCALF & EDDY, 2003). Esse tipo de material em suspensão, não grosseiro, que flutua ou decanta, requer o emprego de equipamentos com tempo de retenção maior que no tratamento preliminar, tais como decantadores e flotadores, os quais produzem o lodo primário ou cru, que deve ser tratado antes de sua disposição (CETESB, 1989).

3.3.3 Tratamento Primário Avançado

Aumenta a remoção de sólidos suspensos e matéria orgânica do esgoto. Tipicamente acompanhado de adição química ou filtração (METCALF & EDDY, 2003).

3.3.4 Tratamento Secundário

Remove a matéria orgânica biodegradável (em solução ou suspensa) e sólidos suspensos. A desinfecção é também tipicamente incluída na definição de um tratamento secundário convencional (METCALF & EDDY, 2003).

O esgoto também contém sólidos dissolvidos e finos sólidos suspensos que não decantam. Estes não são removíveis apenas com a ação da força de gravidade; pode-se utilizar microrganismos que se alimentam dessa matéria orgânica suspensa ou solúvel, transformando-a em sais minerais e novos microrganismos. Ocorre que esses novos microrganismos podem ser separados do líquido, formando um lodo chamado de secundário. Assim, o tratamento secundário ou biológico consegue transformar a matéria orgânica solúvel do esgoto em matéria orgânica insolúvel (microrganismos). Os microrganismos mais importantes para o tratamento dos esgotos são as bactérias, seres microscópicos que se reproduzem em grandes velocidades. O ponto fundamental do tratamento biológico de esgotos é fornecer condições para que as bactérias sobrevivam e utilizem o esgoto da maneira mais eficiente (CETESB, 1989).

Pode-se classificar o tratamento biológico de esgotos em aeróbio, se for fornecido oxigênio ao sistema; anaeróbio, se o oxigênio estiver ausente; e facultativo se, no mesmo tratamento, existirem regiões aeróbias e anaeróbias. As bactérias facultativas, devido às suas propriedades, podem participar destes três tipos de tratamento. O tratamento secundário gera algumas vezes um lodo que precisa ser convenientemente manuseado. Seu tratamento e disposição devem ser encarados com atenção, pois, muitas vezes, essas operações tornam-se mais complicadas e dispendiosas do que o próprio tratamento dos esgotos (CETESB, 1989).

3.3.5 Tratamento Secundário com remoção de nutrientes

Remoção de orgânicos biodegradáveis, sólidos suspensos e nutrientes (nitrogênio, fósforo, ou nitrogênio e fósforo simultaneamente) (METCALF & EDDY, 2003).

3.3.6 Tratamento Terciário

Remoção de sólidos suspensos residuais, após tratamento secundário, feito usualmente por filtração média granular ou microtelas. A desinfecção é tipicamente considerada parte do tratamento terciário. Remoção de nutrientes é freqüentemente incluída nesta definição (METCALF & EDDY, 2003).

O tratamento terciário é utilizado quando se deseja um esgoto tratado de qualidade superior. Nesse tratamento é possível remover nutrientes, que normalmente não são retirados nos tratamentos anteriores, além de matéria orgânica, sólidos suspensos e patogênicos em um grau ainda maior que no tratamento secundário (CETESB, 1989).

3.3.7 Tratamento Avançado

Remoção de materiais suspensos ou dissolvidos remanescentes após tratamento biológico normal, quando se requer a água para reúso em diversas aplicações (METCALF & EDDY, 2003).

O tratamento avançado é prática usual em nações desenvolvidas, altamente industrializadas e com escassos recursos hídricos como, por exemplo, a Holanda e Israel, nos quais a adoção de sofisticadas estações de tratamento de esgotos é econômica, porque viabiliza o uso do recurso hídrico para outros fins (CETESB, 1989).

3.3.8 Eficiência dos diversos tipos de tratamento

A eficiência dos diversos tipos de tratamento leva em consideração a porcentagem de remoção de DBO, porcentagem de remoção de sólidos suspensos, porcentagem de remoção de nutrientes e, por fim, porcentagem de remoção de bactérias (CETESB, 1989). A eficiência dos tipos de tratamento pode ser vista na tabela 3.6.

Tabela 3.6: Eficiência de remoção de poluentes por tipo de tratamento.

Fonte: CETESB - Operação e manutenção de lagoas anaeróbias e facultativas - Série Manuais, nº 5. São Paulo, 1989.

Eficiência de remoção de poluentes por tipo de tratamento				
Tipo de Tratamento	Matéria Orgânica (% remoção DBO)	Sólidos em suspensão (% remoção SS)	Nutrientes (% remoção de nutrientes)	Bactérias (% remoção)
Preliminar	5-10	5-20	Não remove	10-20
Primário	25-50	40-70	Não remove	25-75
Secundário	80-95	65-95	Pode remover	70-99
Terciário	40-99	80-99	Até 99	Até 99,999

Quase todos os processos de tratamento de esgotos sanitários existentes foram inicialmente concebidos para realizar a remoção de matéria orgânica, com possibilidade de adaptação para remoção de nutrientes como nitrogênio e fósforo. Os processos de tratamento apresentam, em geral, eficiências elevadas, porém insuficientes na inativação de organismos patogênicos e seus indicadores. Os valores médios das densidades de coliformes fecais no esgoto sanitário de características médias, submetido a diferentes níveis de tratamento, são apresentados na tabela 3.7:

Tabela 3.7: Níveis de tratamento e valores típicos dos principais parâmetros de qualidade dos efluentes. Fonte: PROSAB, 2003.

Nível de tratamento	SS (mg/L)	DQO (mg/L)	DBO (mg/L)	Coliformes fecais (NMP/100 ml)
Esgoto bruto	300	600	300	1,00 E + 07
Primário	120	420	180	1,00 E + 07
Anaeróbio	100	210	90	1,00 E + 05
Secundário/lagoas facultativas	80	150	30	1,00 E + 04
Secundário	20	85	20	1,00 E + 05
Filtração terciária	5	50	5	1,00 E + 04

A seguir as características do esgoto bruto e a quantidade de coliformes fecais, em função do grau de tratamento (PROSAB, 2003):

- Densidade de coliformes fecais típica do esgoto bruto: 10^7 NMP/100 ml
- Densidade de coliformes no efluente com 90% de redução: 10^6 NMP/100 ml
- Densidade de coliformes no efluente com 99% de redução: 10^5 NMP/100 ml
- Redução necessária para atingir um padrão de reúso agrícola ou de balneabilidade (efluente com 10^3 NMP/100 ml): 99,99%

Portanto, mais do que os valores de eficiência de remoção de coliformes fecais, a densidade de microrganismos no efluente tratado deve ser considerada balizadora. Os únicos processos de tratamento capazes de produzir efluentes tratados com densidades de coliformes fecais iguais ou inferiores a 10^3 NMP/100 ml são as lagoas de maturação, a infiltração no solo e aqueles que possuem uma etapa específica para desinfecção, tais como cloração, ozonização, desinfecção com radiação ultravioleta, etc. Além desses, processos envolvendo lagoas de estabilização não mecanizadas e filtração física (infiltração no solo e biofiltros aerados submersos) também podem alcançar baixas densidades de ovos de helmintos no efluente (PROSAB, 2003).

3.4 Tratamento de esgotos sanitários por meio de Lagoas de Estabilização – processo natural de tratamento e desinfecção de esgotos

As lagoas de estabilização são processos de tratamento de esgotos utilizados principalmente para remoção de matéria orgânica (PROSAB, 2003). Elas podem ser definidas como um corpo de água lântico, construído pelo homem. (CETESB, 1990).

Seu tratamento é feito através de processos naturais: físicos, biológicos e bioquímicos, denominados *autodepuração* ou *estabilização*. Esses processos naturais, sob condições parcialmente controladas, são os responsáveis pela transformação de compostos orgânicos putrescíveis em compostos minerais ou orgânicos mais estáveis (CETESB, 1990).

No entanto, com algumas adaptações no fluxograma, no número e na geometria das lagoas, podem ser alcançadas elevadíssimas eficiências de remoção de organismos patogênicos ou, de forma mais específica, dos seus principais indicadores (coliformes e ovos de helmintos). São as chamadas lagoas de maturação. É possível obter ainda significativa remoção de nitrogênio e até mesmo de fósforo (PROSAB, 2003).

Os principais fatores naturais que atuam como agentes desinfetantes nessas lagoas são: temperatura, insolação, pH, escassez de alimento, organismos predadores, competição, compostos tóxicos e elevada concentração de oxigênio dissolvido. No caso de cistos de protozoários e ovos de helmintos, o principal mecanismo é a sedimentação. As lagoas de estabilização se inserem no contexto deste trabalho como processos de tratamento passíveis de promover desinfecção dos esgotos, por meio de mecanismos puramente naturais (PROSAB, 2003).

Com relação à remoção de organismos patogênicos, diversos fatores favoráveis atuam simultaneamente (PROSAB, 2003):

- *bactérias* e *vírus*: temperatura, insolação, pH, competição, organismos predadores, compostos tóxicos
- *cistos de protozoários* e *ovos de helmintos*: sedimentação

De maneira geral, as lagoas de estabilização são bastante indicadas para regiões de clima quente e países em desenvolvimento, pelos seguintes aspectos (PROSAB, 2003):

- suficiente disponibilidade de área em um grande número de localidades;
- clima favorável (temperatura e insolação elevadas);
- operação simples;
- necessidade de pouco ou nenhum equipamento;
- custos de implantação e operação adequados.

Resumidamente, as lagoas de estabilização possuem vantagens e desvantagens, das quais se tem (PROSAB, 2003):

Vantagens:

- Processo natural, sem mecanização;
- Não gera efeitos residuais prejudiciais;
- Operação simples;
- Pode ser realizado de forma concomitante à estabilização da matéria orgânica.

Desvantagens:

- Necessita de muita área;
- Tempo de detenção muito longo (vários dias);
- Desempenho depende das condições climáticas;
- Produz algas em grande quantidade.

3.4.1 Informações técnicas sobre as lagoas de estabilização

a) informações construtivas

As lagoas de estabilização são unidades especialmente projetadas e construídas com a finalidade de tratar os esgotos. No entanto, constituem-se em uma das formas mais simplificadas para o tratamento. Adicionalmente, a construção é simples, baseando-se principalmente em movimento de terra de escavação e preparação dos taludes (PROSAB, 2003). A figura 3.1 ilustra o esquema de uma lagoa de estabilização (CETESB, 1988).

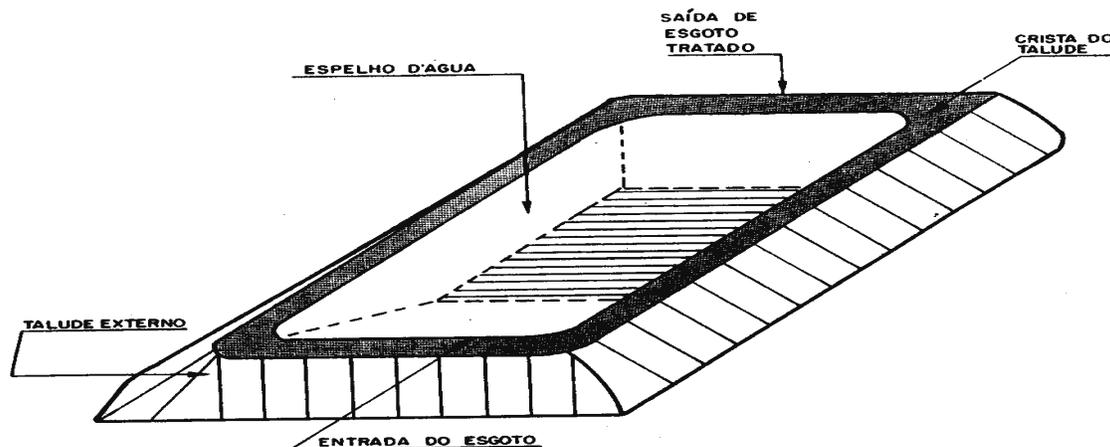


Figura 3.1: Esquema de uma Lagoa de Estabilização

Fonte: CETESB - Opções para tratamento de esgotos de pequenas comunidades - Série Manuais, nº 3. São Paulo, 1988.

b) áreas requeridas para a construção de lagoas de estabilização

As lagoas de estabilização exigem grandes áreas para o tratamento de esgotos, principalmente para grandes vazões de esgotos. Considerando que o fornecimento de oxigênio por meio artificial reduz a área requerida, conclui-se que, via de regra, as lagoas aeradas podem ser utilizadas quando a área disponível não for suficiente para o emprego de lagoas facultativas de fotossíntese (CETESB, 1988).

A tabela 3.8 mostra as áreas necessárias para tratamento de esgotos por sistemas de lagoas de estabilização.

Tabela 3.8: Áreas necessárias para tratamento de esgotos por sistemas de lagoas de estabilização.

Fonte: CETESB - Opções para tratamento de esgotos de pequenas comunidades - Série Manuais, nº 3. São Paulo, 1988

População (número de habitantes)	Área Necessária (m ²)	
	Lagoa Anaeróbia + Facultativa (Sistema Australiano)	Lagoa Facultativa Unicelular
1000	2.260	2.600
1500	3.390	3.900
2000	4.520	5.200
2500	5.650	6.500
3000	6.780	7.800
3500	7.910	9.100
4000	9.040	10.400
4500	10.170	11.700
5000	11.300	13.000
10.000	22.600	26.000
15.000	33.900	39.000
20.000	45.200	52.000
50.000	113.000	130.000
Critério	1,74 m ² / ha + 30 % = 2,26	2,00

Nota: Adicionou-se 30 % às áreas necessárias para o tratamento, no caso de áreas requeridas pelos taludes, circulação, cristas de taludes, etc.

A tabela 3.9 mostra os parâmetros de projeto e áreas necessárias por habitante no tratamento de esgotos por sistemas de lagoas.

Tabela 3.9: Parâmetros de projeto e áreas necessárias por habitante no tratamento de esgotos por sistemas de lagoas de estabilização.

Fonte: CETESB - Opções para tratamento de esgotos de pequenas comunidades - Série Manuais, nº 3. São Paulo, 1988.

Parâmetros de projeto	Lagoa Anaeróbia + Lagoa		Lagoa Facultativa Unicelular
	Facultativa (Sistema Australiano)		
Profundidade (m)	2,5 – 4,0	1,5 - 2,0	1,0 - 2,0
Tempo de Detenção (dias)	3 – 7	15 – 20	15 - 20
Remoção de Matéria Orgânica (% remoção de DBO ₅)	50 - 70	70 – 90	80 - 90
Taxas de aplicação de esgotos (kg DBO/ ha.dia)	1500 - 2000	170	250
Área necessária (m ² /hab)	0,20 – 0,33	1,47 *	2,00

* Considerando 50 % de remoção de DBO na lagoa anaeróbia.

3.4.2 Tipos de lagoas de estabilização

Há diversas variantes dos sistemas de lagoas de estabilização, com diferentes níveis de simplicidade operacional e requisitos de área. Dentre estas, são as seguintes (PROSAB, 2003):

- lagoas facultativas
- sistema de lagoas anaeróbias seguidas por lagoas facultativas.
- Além dessas lagoas, cujo principal objetivo é a remoção da matéria carbonácea, há também as *lagoas de maturação*, direcionadas à remoção de organismos patogênicos.
- Existem ainda as *lagoas de polimento*, conceitualmente similares às lagoas de maturação, mas que recebem essa nomenclatura específica por realizarem o polimento de efluentes de estações de tratamento, em particular os reatores anaeróbios, mais especificamente os reatores tipo UASB. Além da efetiva remoção de organismos patogênicos, alcança-se ainda certo polimento na qualidade do efluente, em termos de matéria orgânica (PROSAB, 2003).

Os diferentes tipos de lagoas são resumidos a seguir, segundo a atividade biológica predominante:

1. lagoas anaeróbias:

Aquelas que operam ou são projetadas com cargas orgânicas tais que não contêm oxigênio molecular livre em todo o instante e através de todo o seu volume. Predominam, nestas lagoas, os processos de fermentação ácida e metanogênica na camada do lodo e no líquido sobrenadante. Embora considerável redução de DBO seja obtida, o efluente, para atender a legislação estadual de lançamento em corpos de água, necessita de tratamento complementar (CETESB, 1990);

2. lagoas aeróbias:

Lagoas rasas que permitem a penetração de luz em toda sua profundidade. As lagoas aeróbias aceleradas têm profundidade de 0,30 m a 0,50 m e são misturadas mecanicamente de modo a expor todas as algas à iluminação solar, evitando, assim, o desenvolvimento de uma camada de lodo de fundo. São projetadas e operadas para maximizar a produção de algas (CETESB, 1990);

3. lagoas facultativas:

Aquelas onde ocorrem uma estabilização aeróbia na zona fótica - onde a penetração da luz é efetiva - e uma fermentação anaeróbia na camada inferior de fundo. A produção de oxigênio provém, em maior proporção, da atividade fotossintética das algas e, em menor, da reaeração superficial (CETESB, 1990);

As lagoas facultativas são classificadas em lagoas primárias e secundárias. Quando as lagoas facultativas recebem esgoto bruto, são denominadas *lagoas primárias*. Uma lagoa secundária é aquela que recebe seu afluente de uma unidade de tratamento precedente, tal como lagoas anaeróbias. O esgoto afluente entra continuamente em uma extremidade da lagoa e sai na extremidade oposta. Ao longo desse percurso, que demora vários dias, uma série de fenômenos contribui para a purificação dos esgotos. Parte da matéria orgânica em suspensão (*DBO particulada*) tende a sedimentar, vindo a constituir o lodo de fundo.

Esse lodo sofre o processo de decomposição por microrganismos anaeróbios, sendo convertido em gás carbônico, metano e outros. Apenas a fração inerte (não biodegradável) permanece na camada de fundo sem alteração na sua natureza. A matéria orgânica dissolvida (*DBO solúvel* ou *filtrada*), conjuntamente com a matéria orgânica em suspensão de pequenas dimensões (*DBO finamente particulada*), não sedimenta, permanecendo dispersa na massa líquida. A sua decomposição se dá pela ação de bactérias *facultativas*, que têm a capacidade de sobreviver tanto na presença quanto na ausência de oxigênio livre (daí a designação de facultativas, que define o próprio nome da lagoa). Essas bactérias se utilizam da matéria orgânica como fonte de energia, alcançada através da respiração. Na respiração aeróbia, é necessária a presença de oxigênio, o qual é suprido ao meio pela fotossíntese realizada pelas algas. Há, assim, perfeito equilíbrio entre o consumo e a produção de oxigênio e gás carbônico, como pode ser observado na figura 3.2 (PROSAB, 2003).

Bactérias	→	<i>respiração:</i> Consumo de oxigênio Produção de gás carbônico
Algas	→	<i>fotossíntese:</i> Produção de oxigênio Consumo de gás carbônico

Figura 3.2: Consumo e produção de gás carbônico de bactérias e algas em lagoas facultativas. Fonte: PROSAB, 2003.

Para a ocorrência da fotossíntese é necessária uma fonte de energia luminosa, neste caso, representada pelo sol. Por essa razão, locais com elevada radiação solar e baixa nebulosidade são bastante propícios à implantação de lagoas facultativas (PROSAB, 2003).

A fotossíntese, por depender da energia solar, é mais elevada próximo à superfície. Profundidades típicas de lagoas facultativas são da ordem de 1,5 a 2,0 m. À medida que se aprofunda na lagoa, a penetração da luz é menor, o que ocasiona a predominância do consumo de oxigênio (*respiração*) sobre sua produção (*fotossíntese*), com a eventual ausência de oxigênio dissolvido a partir de certa profundidade. Ademais, a fotossíntese só ocorre durante o dia, fazendo com que durante a noite possa prevalecer a ausência de oxigênio. Em razão desses fatos, é essencial que as principais bactérias responsáveis pela estabilização da matéria orgânica sejam facultativas, para poderem sobreviver e proliferarem tanto na presença quanto na ausência de oxigênio. O processo de lagoas facultativas é essencialmente natural, não necessitando de equipamento algum. Por essa razão, a estabilização da matéria orgânica se processa em taxas mais lentas, implicando a necessidade de elevado período de detenção na lagoa (usualmente superior a 15 dias).

A fotossíntese, para que seja efetiva, necessita de elevada área de exposição para o melhor aproveitamento da energia solar pelas algas, também implicando a necessidade de grandes unidades. Dessa forma, a área total requerida pelas lagoas facultativas é a maior dentre todos os processos de tratamento dos esgotos (excluindo-se os processos de disposição sobre o solo). Por outro lado, o fato de ser um processo totalmente natural está associado a maior simplicidade operacional, fator de fundamental importância em países em desenvolvimento. É essencial que o esgoto afluyente seja previamente gradeado e desarenado, objetivando-se neste caso retirar o material grosseiro e reduzir a sedimentação de areia no fundo da lagoa, principalmente nas proximidades da tubulação de entrada (PROSAB, 2003).

4. Sistema de lagoas anaeróbias – Lagoas Facultativas:

O processo de lagoas facultativas, apesar de sua eficiência satisfatória, requer grande área, muitas vezes não disponível na localidade em questão. Há, portanto, a necessidade de buscar soluções que possam implicar a redução da área total requerida. Uma dessas soluções é a do sistema de lagoas anaeróbias seguidas por lagoas facultativas. Nesse caso, a lagoa facultativa é também denominada *lagoa secundária*, já que recebe o afluyente de uma unidade de tratamento a montante, e não o esgoto bruto. O esgoto bruto entra numa lagoa de menores dimensões e mais profunda (em torno de 3,5 a 5,0 m). Em razão das menores dimensões dessa lagoa, a fotossíntese basicamente não ocorre. Predominam as condições anaeróbias nessa primeira lagoa, denominada, em decorrência, de *lagoa anaeróbia*. Nas lagoas anaeróbias ocorre sedimentação da matéria orgânica presente na forma de sólidos sedimentáveis (PROSAB, 2003)

Em termos bioquímicos, as bactérias anaeróbias têm uma taxa metabólica e de reprodução mais lenta do que as bactérias aeróbias. Assim decomposição da matéria orgânica é apenas parcial. Mesmo assim, essa remoção da DBO, da ordem de 40% a 70% (em condições bem favoráveis), apesar de insuficiente, representa grande contribuição, aliviando sobremaneira a carga para a lagoa facultativa, situada a jusante. A lagoa facultativa recebe uma carga de apenas 30% a 60% da carga do esgoto bruto, podendo ter, portanto, dimensões bem menores. O requisito de área total (lagoa anaeróbia + lagoa facultativa) é tal que se obtém uma economia de área da ordem de 1/3, comparado a uma lagoa facultativa única. O sistema tem eficiência similar ou apenas ligeiramente superior à de uma lagoa facultativa única e é conceitualmente simples e fácil de operar. No entanto, a existência de uma etapa anaeróbia em uma unidade aberta é sempre causa de preocupação, pela possibilidade de liberação de maus odores. Caso o sistema esteja bem equilibrado, a geração de mau cheiro pode não ocorrer (PROSAB, 2003).

No entanto, eventuais problemas operacionais podem conduzir à liberação de gás sulfídrico, responsável por odores fétidos. Por essa razão, esse sistema é normalmente localizado onde é possível haver grande afastamento das residências, recomendando-se pelo menos cerca de 1.000 metros (PROSAB, 2003).

5. lagoas de maturação:

As lagoas de maturação são geralmente utilizadas para o tratamento terciário do efluente de estações de oxidação biológica, tais como filtros biológicos, lodos ativados e lagoas facultativas. A finalidade é produzir um efluente de alta qualidade através da remoção de sólidos em suspensão, da diminuição do número de bactérias, das concentrações de nitratos e fosfatos e, em pequena proporção, uma redução adicional da DBO. Mas vale ressaltar que o principal objetivo das lagoas de maturação é a *remoção de organismos patogênicos*, e não a remoção adicional de DBO (CETESB, 1990 e PROSAB, 2003).

As lagoas de maturação constituem-se em alternativa bastante econômica à desinfecção do efluente por métodos mais convencionais, como a cloração. O ambiente ideal para os microrganismos patogênicos é o trato intestinal humano ou animal. Fora destes, quer na rede de esgotos, no tratamento de esgotos, quer no corpo receptor, os organismos patogênicos tendem a morrer. Diversos fatores contribuem para tal, como temperatura, insolação, pH, competição, organismos predadores e compostos tóxicos. Essencialmente, as mesmas características das lagoas de estabilização, as quais conduzem à remoção da matéria orgânica, são também as responsáveis pela remoção/inativação de organismos patogênicos – profundidade reduzida, grandes áreas de espelho d'água expostos à ação da luz solar e elevados tempos de detenção. Nas lagoas de maturação, projetadas com profundidades mais reduzidas, a penetração da luz solar na massa líquida é facilitada e a atividade fotossintética, acentuada, promovendo, de forma também acentuada, a produção de OD, o consumo de CO₂ e, conseqüentemente, a elevação do pH. Bactérias e vírus são inativados, preponderantemente, pela exposição prolongada à irradiação solar (raios UV), sendo letal a conjugação dos seguintes fatores (PROSAB, 2003):

- Radiação solar (radiação ultravioleta)
- Elevado pH (pH > 8,5)
- Elevada concentração de OD

As lagoas de maturação devem e podem atingir elevadíssimas eficiências na remoção de coliformes – como indicadores da remoção correspondente de bactérias e vírus ($E > 99,9$ ou $99,99\%$), para que possam ser cumpridos padrões ou recomendações usuais para utilização direta do efluente para irrigação, ou para a manutenção de diversos usos no corpo receptor. Cistos de protozoários e ovos de helmintos são removidos da fase líquida por sedimentação. Considerando os tempos de detenção usualmente empregados, as lagoas de maturação, bem como as que a precederem, podem atingir a remoção total de protozoários e helmintos (PROSAB, 2003).

De forma a maximizar a eficiência na remoção de organismos indicadores e patogênicos, as lagoas de maturação são usualmente projetadas em uma das duas seguintes configurações: (a) três ou quatro lagoas em série ou (b) uma ou mais lagoas com chicanas, como pode ser observado na Figura 3.3.

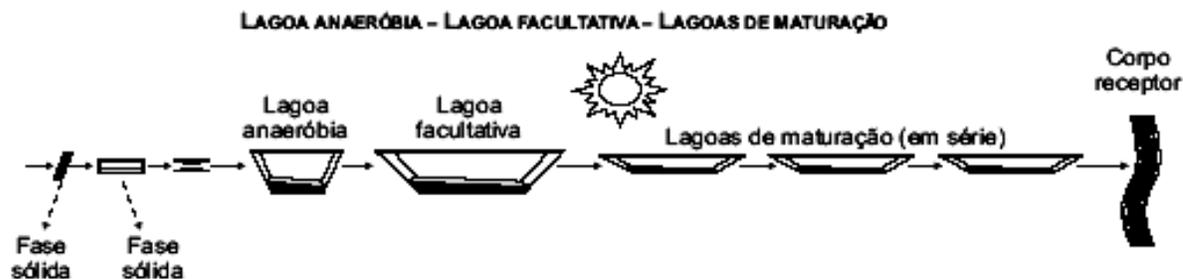


Figura 3.3: Fluxograma típico de um sistema de lagoas de estabilização seguidas por lagoas de maturação em série. Fonte: PROSAB, 2003.

6. Lagoas Aeradas:

As lagoas aeradas diferem das lagoas de fotossíntese pela forma como é fornecido oxigênio às bactérias. Enquanto nestas últimas o oxigênio é produzido naturalmente pelas algas, nas lagoas aeradas o oxigênio é fornecido artificialmente, por dispositivos mecânicos (CETESB, 1990)

7. lagoas de polimento:

Os sistemas anaeróbios de tratamento de esgotos cresceram em popularidade e alcance em países de clima quente como o Brasil. Dentre esses processos, destaca-se o reator anaeróbio de manta de lodo e fluxo ascendente. Os reatores UASB atingem boa eficiência na remoção de DBO (em torno de 60% a 75%), considerando-se os baixos tempos de detenção, a simplicidade do processo e a inexistência de equipamentos, como aeradores. No entanto, essa eficiência é, na maior parte das vezes, insuficiente, exigindo pós-tratamento para o efluente anaeróbio.

O pós-tratamento pode objetivar alguns dos seguintes itens: (a) remoção adicional de DBO; (b) remoção de nutrientes e (c) remoção de organismos patogênicos, principalmente. Uma alternativa de pós-tratamento bastante atraente é representada pelas lagoas de estabilização, pelo fato de se manter em todo o sistema a simplicidade conceitual já assumida para os reatores anaeróbios. Essa combinação de reatores UASB com lagoas de estabilização afigura-se como de aplicabilidade extremamente ampla para países em desenvolvimento e com clima quente. As lagoas não mecanizadas que recebem o efluente de reatores anaeróbios têm sido designadas de *lagoas de polimento*, para diferenciar das concepções clássicas das lagoas facultativas e de maturação (PROSAB, 2003).

Podem-se ter dois tipos de lagoas de polimento (PROSAB, 2003):

- lagoas de polimento do tipo facultativa
- lagoas de polimento do tipo maturação

Inicialmente, as lagoas de polimento eram projetadas como lagoas facultativas. No entanto, em decorrência da remoção de DBO que ocorre nos reatores UASB, *o efluente anaeróbio pode ser lançado diretamente em lagoas de polimento do tipo maturação, em série ou com chicanas*, sem problemas de sobrecarga orgânica na primeira lagoa da série ou no compartimento inicial da lagoa chicaneada. Essas configurações de lagoas aperfeiçoam a remoção de coliformes. Portanto, as evidências atualmente disponíveis sugerem que as lagoas de polimento não necessitam ser dimensionadas como lagoas facultativas clássicas, mas, sim, como lagoas de maturação (utilizando-se os critérios de projeto de lagoas de maturação em relação à configuração geométrica, tempo de detenção e profundidade).

A Figura 3.4 mostra o fluxograma das lagoas de polimento segundo a concepção inicial (lagoa de polimento como uma lagoa facultativa) e a concepção mais recente (lagoa de polimento como lagoas de maturação) (PROSAB, 2003)

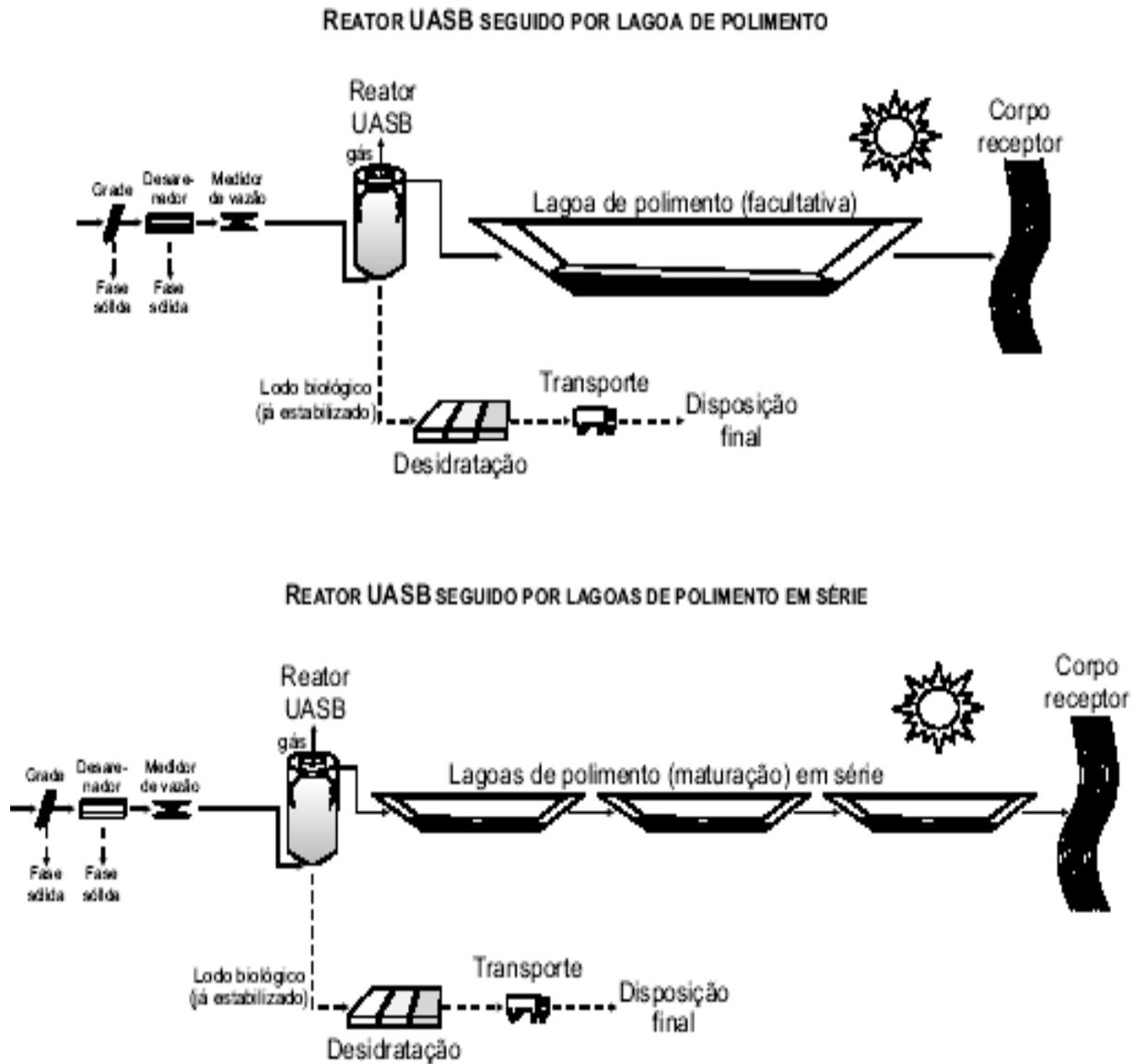


Figura 3.4: Fluxograma de reator UASB seguido por lagoas de polimento.
Fonte: PROSAB, 2003.

3.4.3 Reações biológicas e exigências ambientais das lagoas de estabilização

A tabela 3.10 resume as principais reações biológicas e exigências ambientais em uma lagoa de estabilização de esgotos sanitários.

Tabela 3.10: Resumo das principais reações biológicas e exigências ambientais numa lagoa de estabilização de esgotos sanitários.

Fonte: CETESB - Operação e manutenção de lagoas anaeróbias e facultativas - Série Manuais, nº 5. São Paulo, 1989.

Reação Biológica	Características					Fatores ambientais			
	Organismos	Alimentos básicos	Principais produtos	Tempo requerido (dias) *	Odores produzidos	Temperatura permissível adequada (°C) **	Oxigênio	pH	Luz
Oxidação aeróbia	Bactérias aeróbias	Carboidratos Proteínas	CO ₂ , NH ₃	5 - 10	Nenhum	0 - 40 15 - 30	Necessário	7,0 - 9,0	Não necessária
Ação fotossintética	Algas	CO ₂ , NH ₃	Oxigênio das algas	10 - 20	Nenhum	4 - 40 15 - 25	Necessário dentro de certas condições	6,5 - 10,5	Necessária
Fermentação ácida	Bactérias facultativas heterotróficas	Carboidratos Proteínas Gorduras	Ácidos orgânicos	10 - 20	H ₂ S Ácidos orgânicos	0 - 50 10 - 40	Necessário dentro de certas condições	4,5 - 8,5	Não necessária
Fermentação metânica	Bactérias produtoras de metano	Ácidos orgânicos	CH ₄ CO ₂ H ₂	40 - 50	H ₂ S	6 - 50 14 - 30	Deve ser excluído	6,8 - 7,2	Não necessária

* Tempo requerido para desenvolver uma população de organismos estável.

** Os números que se situam acima da linha dizem respeito à faixa permissível e os números abaixo da linha se referem à faixa adequada.

A figura 3.5 ilustra o esquema dos processos que ocorrem em uma lagoa de estabilização e a figura 3.6 mostra a representação esquemática das reações biológicas de uma lagoa facultativa. Fonte: CETESB - Opções para tratamento de esgotos de pequenas comunidades - Série Manuais, nº 3. São Paulo, 1988.

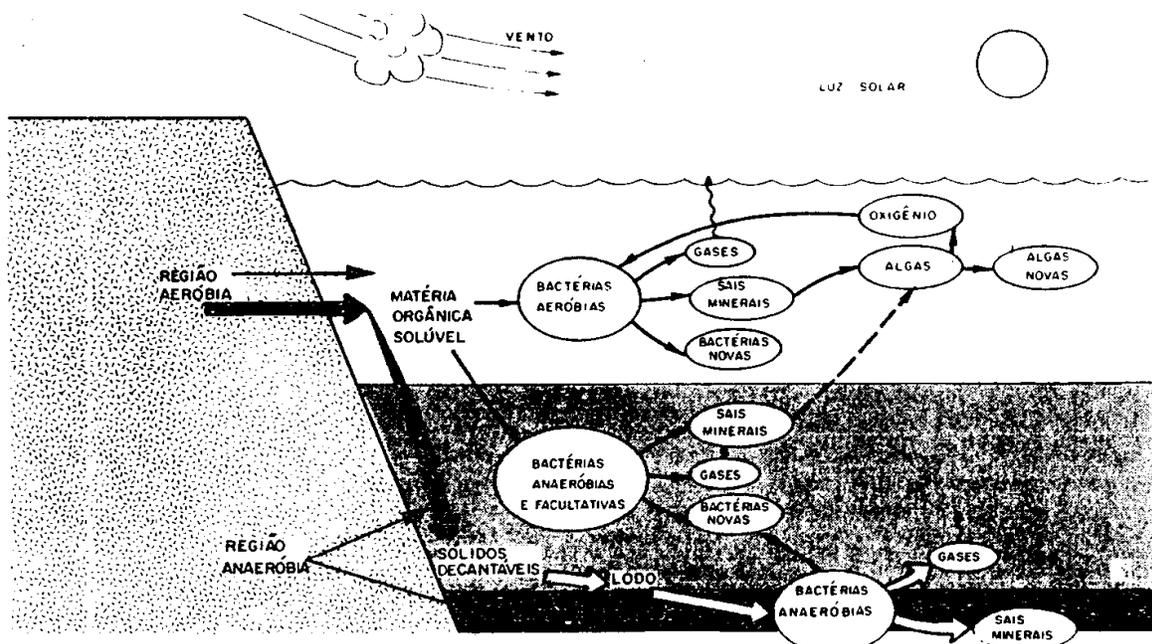


Figura 3.5: Esquema dos processos que ocorrem em uma lagoa de estabilização

Fonte : CETESB - Operação e manutenção de lagoas anaeróbias e facultativas - Série Manuais, nº 5. São Paulo, 1989.

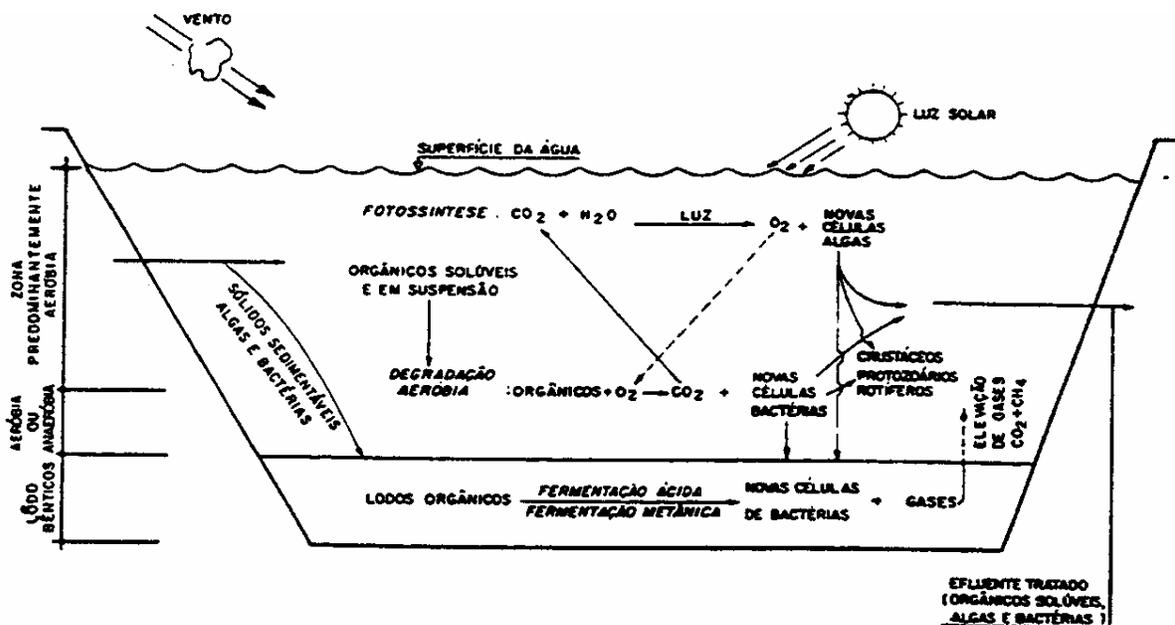


Figura 3.6: Representação esquemática das reações biológicas de uma lagoa facultativa.

Fonte : CETESB - Operação e manutenção de lagoas anaeróbias e facultativas - Série Manuais, nº 5. São Paulo, 1989.

A figura 3.7 ilustra a representação esquemática da seção transversal de uma lagoa de estabilização.

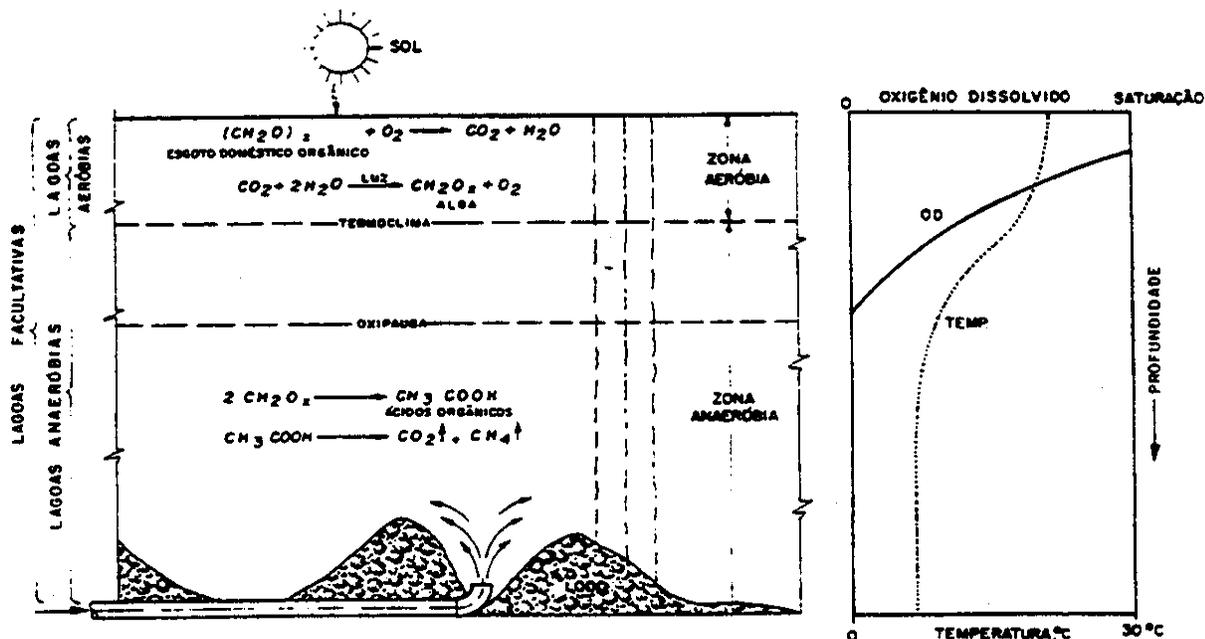


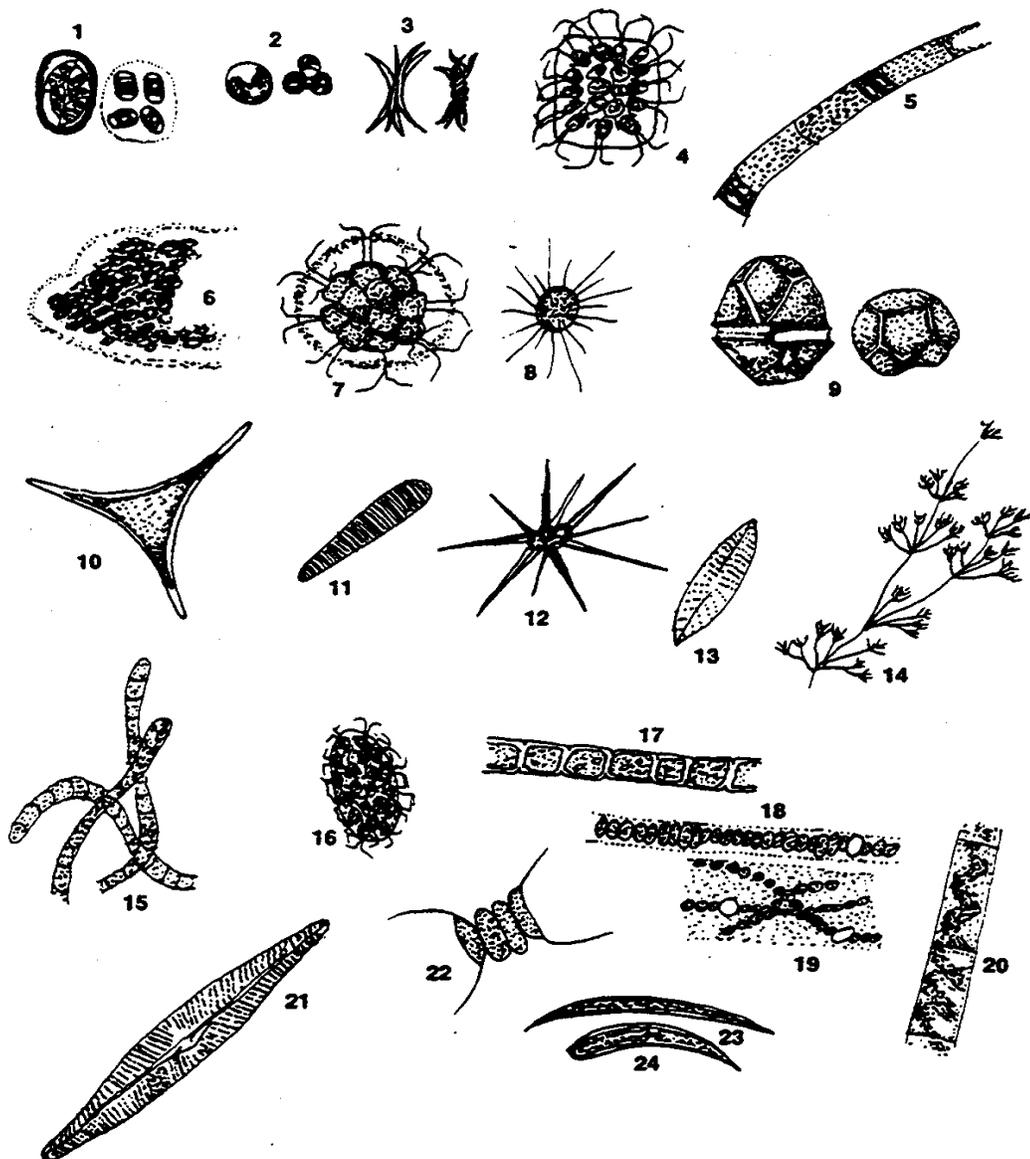
Figura 3.7: Representação esquemática da seção transversal de uma lagoa de estabilização. Fonte: CETESB - Operação e manutenção de lagoas anaeróbicas e facultativas - Série Manuais, nº 5. São Paulo, 1989.

3.4.4 Microrganismos existentes nas lagoas de estabilização

As lagoas de estabilização são habitadas por vários tipos de organismos vivos: bactérias, algas, macroinvertebrados, protozoários, que coexistem da interação entre eles e o próprio meio ambiente. Essa comunidade de seres vivos, assim como os seres humanos, está sujeita a contínuas mudanças, sendo difícil prever, com certeza, quando e como estas ocorrerão. Sabe-se, contudo, serem os seguintes principais fatores que afetam os organismos desse meio ambiente e, conseqüentemente, a própria eficácia do tratamento (CETESB, 1990):

- disponibilidade de energias e nutrientes para o seu crescimento: mudanças no tipo de resíduo;
- efeitos das interações entre os próprios seres vivos da comunidade;
- mudanças ambientais de natureza física, tais como temperatura, umidade, radiação solar;
- mudanças sazonais na operação das lagoas.

A figura 3.8 mostra as algas encontradas em uma lagoa de estabilização.



- | | | |
|---|---------------------------------------|--------------------------------------|
| 1 - <i>COCYSTIS</i> (30 μ m) | 9 - <i>GONYAULAX</i> (37 μ m) | 17 - <i>MICROSPORA</i> (93 μ m) |
| 2 - <i>CHLORELLA</i> (7 μ m) | 10 - <i>TETRAEDRON</i> (60 μ m) | 18 - <i>NODULARIA</i> (133 μ m) |
| 3 - <i>ANKISTRODESMUS</i> (153 μ m) | 11 - <i>MERIDIUM</i> (47 μ m) | 19 - <i>NOSTOC</i> (83 μ m) |
| 4 - <i>GONIUM</i> (75 μ m) | 12 - <i>MICRATINIUM</i> (47 μ m) | 20 - <i>SPIROGYRA</i> (233 μ m) |
| 5 - <i>MELOSIRA</i> (140 μ m) | 13 - <i>NAVICULA</i> (80 μ m) | 21 - <i>NAVICULA</i> (80 μ m) |
| 6 - <i>MICROCYSTIS</i> (42 μ m) | 14 - <i>NITELLA</i> (107mm/Segmento) | 22 - <i>SCENEDESMUS</i> (40 μ m) |
| 7 - <i>PANDORINA</i> (93 μ m) | 15 - <i>OSCILLATORIA</i> (73 μ m) | 23 - <i>CLOSTERIUM</i> (100 μ m) |
| 8 - <i>GOLENKINIA</i> (56 μ m) | 16 - <i>EUDORINA</i> (187 μ m) | 24 - <i>CLOSTERIUM</i> (225 μ m) |

Figura 3.8: Algas encontradas em lagoas de estabilização.

Fonte: CETESB - Operação e manutenção de lagoas anaeróbias e facultativas - Série Manuais, nº 5. São Paulo, 1989.

3.4.5 Comparação entre os sistemas de lagoas

As tabelas 3.11 a 3.15 apresentam, de forma sintética e comparativa, as principais características e itens de projeto e operação das lagoas de estabilização. Tais dados foram desenvolvidos em função dos vários estudos desenvolvidos pelo PROSAB e publicados em 2003. Tais dados guardam especificidade regional, podendo assumir valores diferentes em função de características locais. No estudo assumiu-se que os valores apresentados cubram a maior parte das situações nas diversas regiões brasileiras, sendo aplicáveis em temperaturas médias do líquido no mês mais frio, variando entre cerca de 20°C e 25°C.

Tabela 3.11: Faixas de eficiências de remoção de organismos patogênicos e indicadores em lagoas de estabilização. Fonte: PROSAB, 2003.

Parâmetro	Eficiência típica de remoção (% ou unidades log removidas)				
	Lagoa facultativa	Lagoas anaeróbia + facultativa	Lagoas facultativa + maturação	Lagoas anaeróbia + facultativa + maturação	Reator UASB + lagoa de polimento
Coliformes	1 – 2 log	1 – 2 log	3 – 6 log	3 – 6 log	3 – 6 log
Bactérias patogênicas	1– 2 log	1 – 2 log	3 – 6 log	3 – 6 log	3 – 6 log
Vírus	≤ 1 log	≈ 1 log	2 – 4 log	2 – 4 log	2 – 4 log
Cistos de protozoários	≈ 100 %	≈ 100 %	100 %	100 %	100 %
Ovos de helmintos	≈ 100 %	≈ 100 %	100 %	100 %	100 %

* 1 log = 90 %; 2 log = 99 %; 3 log = 99,9 %;
4 log = 99,99 %; 5 log = 99,999 %; 6 log = 99,9999 %

Tabela 3.12: Faixas de eficiências de remoção de constituintes físico-químicos em lagoas de estabilização. Fonte: PROSAB, 2003.

Parâmetro	Eficiência típica de remoção (%)				
	Lagoa facultativa	Lagoas anaeróbia + facultativa	Lagoas facultativa + maturação	Lagoas anaeróbia + facultativa + maturação	Reator UASB + lagoa de polimento
DBO	75 - 85	75 - 85	80 - 85	80 - 85	80 – 85
DQO	65 – 80	65 – 80	70 – 83	70 – 83	70 - 83
SS	70 – 80	70 – 80	70 - 80	70 - 80	70 – 80
Amônia	< 50	< 50	40 – 80	40 – 80	40 – 80
Nitrogênio	< 60	< 60	40 - 65	40 – 70	40 – 70
Fósforo	< 35	< 35	> 40	> 40	> 40

Tabela 3.13: Disposição/utilização do efluente tratado em lagoas de estabilização.

Fonte: PROSAB, 2003.

Parâmetro	Utilização possível do efluente				
	Lagoa facultativa	Lagoas anaeróbia + facultativa	Lagoas facultativa + maturação	Lagoas anaeróbia + facultativa + maturação	Reator UASB + lagoa de polimento
Lançamentos em corpos d'água					
Lançamento em rio	√	√	√	√	√
Lançamento em lago ou represa (c) (d)	√	√	√	√	√
Lançamento em manancial utilizado para abastecimento público (c)	√	√	√	√	√
Lançamento em corpo d'água utilizado para irrigação (a) (b)	√	√	√	√	√
Lançamento em manancial utilizado para balneabilidade (a) (e)	√	√	√	√	√
Reúso direto					
Irrigação restrita (g)	√	√	√	√	√
Irrigação irrestrita (h)			√	√	√
Criação de peixes (i)			√	√	√
Uso industrial	(f)	(f)	(f)	(f)	(f)

(a) Depende da razão de diluição rio / esgoto.

(b) Consultar Resolução CONAMA 20/86 e legislações estaduais pertinentes.

(c) Analisar possibilidade de cianobactérias / cianotoxinas.

(d) Analisar possibilidade de eutrofização.

(e) Consultar Resolução CONAMA 274/2000 e estaduais pertinentes.

(f) Aceitável, caso a água não seja incorporada ao produto; a viabilidade deve ser analisada caso a caso, pois a cada uso corresponderá uma exigência de qualidade de efluente, principalmente em relação aos parâmetros físico-químicos.

Recomendações da OMS :(g) < 1 ovo de helmintos / L, discute-se a adoção de um padrão bacteriológico $\leq 10^4$ CF/100 ml.(h) < 1 ovo de helmintos / L e $\leq 10^3$ CF/100 ml.(i) $\leq 10^4$ CF/100 ml no afluente ao tanque de piscicultura e ausência de ovos de helmintos (trematóides); para a criação de peixes outro fator limitante é a amônia, tóxica para a maioria das espécies em concentrações de 0,6 a 2,0 mg/L.

Tabela 3.14: Gerenciamento do lodo em lagoas de estabilização. Fonte: PROSAB, 2003.

Parâmetro de projeto	Lagoas anaeróbias	Lagoas facultativas primárias	Lagoas facultativas secundárias	Lagoas de maturação	Lagoas de polimento (a)
Taxa de acúmulo de lodo (m ³ /hab.ano)	0,02 – 0,10	0,03 – 0,09	0,03 – 0,05	-	-
Intervalo de remoção (anos)	< 7	> 15	> 20	> 20	> 20
Concentração de sólidos totais no lodo (% ST)	> 10 % (d)	> 10 % (d)	> 10 % (d)	-	-
Relação SV/ST	< 50 %	< 50 %	< 50 %	-	-
Concentração de coliformes fecais no lodo (CF/gST)	10 ² – 10 ⁴				
Concentração de ovos de helmintos no lodo (ovos/gST)	10 ¹ – 10 ³				
Tratamento adicional requerido	Secagem (a)	Secagem (a)	Secagem (b)	-	-
Formas de disposição final	(c)	(c)	(c)	-	-

Observação: é essencial a presença de desaneração.

- (a) No caso de lagoas de polimento, deve-se acrescentar ainda os valores correspondentes ao lodo retirado do reator UASB.
- (b) Higienização (usualmente adição de cal) no caso de disposição para reúso agrícola do lodo.
- (c) Formas de disposição final similares aos lodos dos demais sistemas de tratamento biológico de esgotos (reúso agrícola, aterro, outros).
- (d) Ao ser removido por drenagem hidráulica (bombeamento), a concentração pode reduzir a 5 % a 7 %.

Tabela 3.15 Faixas de custos de implantação e operação de lagoas de estabilização.

Fonte: PROSAB, 2003.

Item	Lagoa facultativa	Lagoas anaeróbia + facultativa	Lagoas facultativa + maturação	Lagoas anaeróbia + facultativa + maturação	Reator UASB + lagoa de polimento
Custo de implantação (R\$ /hab)	0,02 – 0,10	0,03 – 0,09	0,03 – 0,05	-	-
Custo de operação e manutenção (R\$ /hab.ano)	2,0 – 4,0	2,0 – 4,0	2,5 – 5,0	2,5 – 5,0	4,5 – 7,0

A figura 3.9 mostra a comparação entre concepções clássicas de lagoas de estabilização e a concepção mais recente (reator UASB seguido por lagoas de polimento). (PROSAB, 2003).

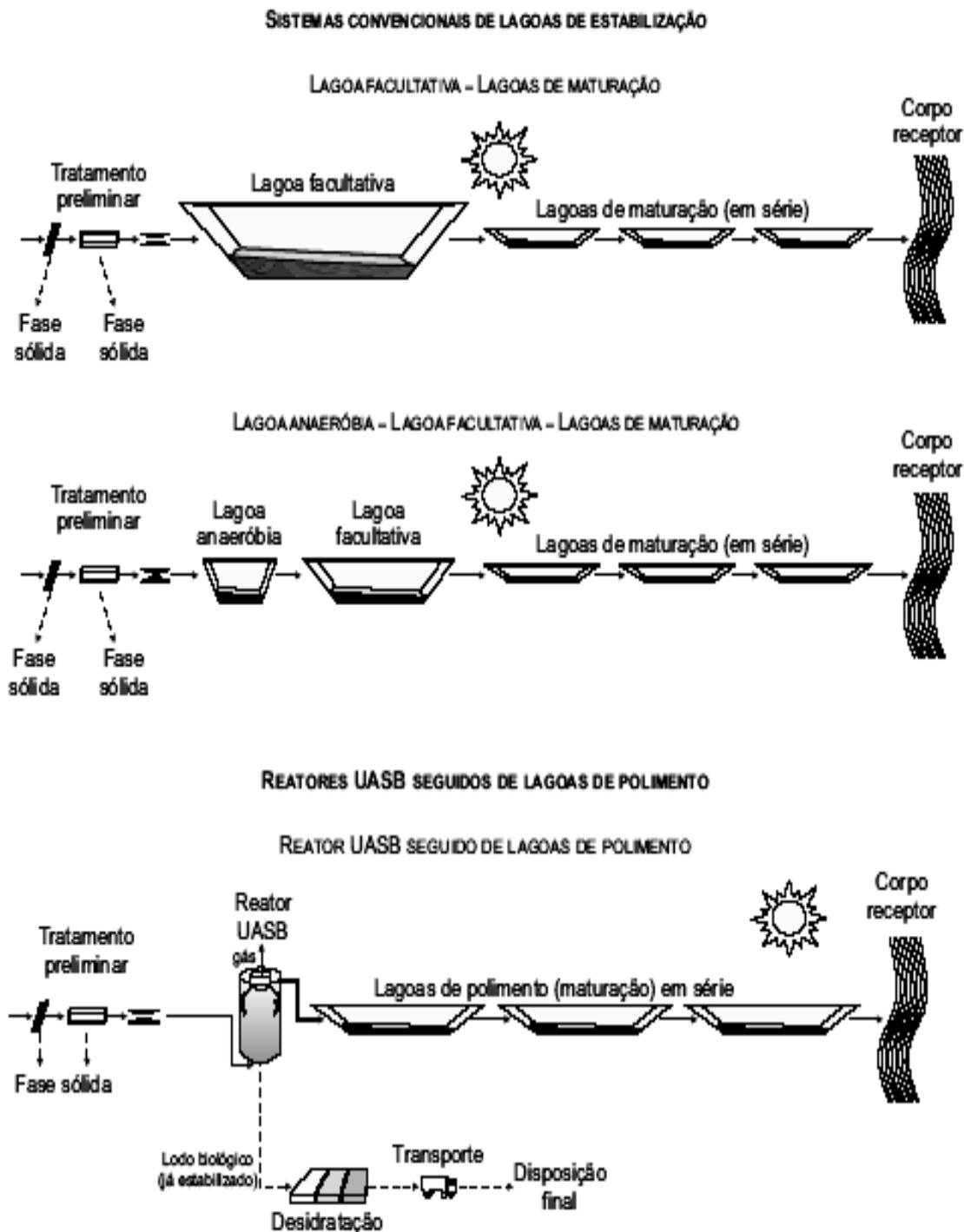


Figura 3.9: Comparação entre concepções clássicas de lagoas de estabilização e a concepção mais recente (reator UASB seguido por lagoas de polimento). Fonte: PROSAB, 2003.

3.5 Desinfecção de esgoto sanitário - Generalidades

3.5.1 Introdução

A desinfecção constitui-se na etapa do tratamento cuja função precípua consiste na inativação e/ou destruição dos microrganismos patogênicos, realizada por intermédio de agentes físicos, agentes químicos, meios mecânicos, e radiação. (DANIEL, 2001) (METCALF & EDDY, 2003).

Quando se trata de tratamento de esgotos sanitários, são diversos os microrganismos patogênicos responsáveis pela disseminação de doenças, tais como: bactérias, cistos e oocistos de protozoários, helmintos e vírus (METCALF & EDDY, 2003).

3.5.2 Características de um desinfetante ideal

Um desinfetante ideal deveria possuir uma ampla gama de características específicas. Como não existe um desinfetante ideal, deve-se considerar uma série de características de forma que se possa avaliar e escolher um desinfetante. É muito importante que o desinfetante seja seguro para manusear e aplicar e que possa ser possível avaliar, de forma quantitativa, sua concentração e eficiência. (METCALF & EDDY, 2003).

Dentre as características de um desinfetante, pode-se citar várias características, tais como: viabilidade técnica e financeira, homogeneidade, segurança (estocagem, manuseio, transporte), estabilidade, solubilidade, toxicidade aos microrganismos e ao meio ambiente, etc. (METCALF & EDDY, 2003).

As características de um desinfetante ideal estão resumidas na tabela 3.16. (METCALF & EDDY, 2003).

Tabela 3.16: Características de um desinfetante ideal.

Fonte: Wastewater Engineering Treatment and Reuse. 4ª edição revisada, edição internacional, 2003.

Características de um desinfetante Ideal	
Característica	Propriedades / Resposta
Viabilidade / custo	Deveria ser disponível (acessível) em grandes quantidades e a um preço razoável
Capacidade de desodorizar	Deveria desodorizar enquanto desinfeta
Homogeneidade	A solução deve ser uniforme na composição
Interação com material externo	Não deveria ser absorvido pela matéria orgânica, a não ser células bacterianas
Corrosividade e poder de descoloração	Deveria não desfigurar metais ou manchar tecidos
Não tóxico a formas de vida superiores	Deveria ser tóxico aos microrganismos e não tóxico aos humanos e outros animais
Penetração	Deveria Ter a capacidade de penetrar através de superfícies
Segurança	Deveria ser seguro para transportar, estocar, manusear e usar.
Solubilidade	Deve ser solúvel em água ou tecido de células
Estabilidade	Deveria ter baixa perda da ação germicida com o passar do tempo
Toxicidade aos microrganismos	Deveria ser efetivo em altas diluições
Toxicidade a temperatura ambiente	Deveria ser efetivo em uma ampla faixa de temperatura

3.5.3 Métodos de Desinfecção

A desinfecção é realizada pelo uso de: (1) agentes químicos, (2) agentes físicos, (3) meios mecânicos, e (4) radiação (METCALF & EDDY, 2003). Estas técnicas serão descritas brevemente a seguir.

A. Agentes químicos:

Os agentes químicos que vem sendo usados como desinfetantes incluem: (1) cloro e seus compostos, (2) bromo, (3) iodo, (4) ozônio, (5) fenol e compostos fenólicos, (6) álcoois, (7) metais pesados e compostos relacionados, (8) tinturas (substâncias utilizadas para colorir materiais ou substâncias), (9) sabões e detergentes sintéticos, (10) compostos de amônia quaternária, (11) peróxido de hidrogênio, (12) ácido paracético, (13) vários álcalis e, (14) vários ácidos (METCALF & EDDY, 2003).

Dentre estes, os desinfetantes mais comuns são os oxidantes químicos, sendo o cloro o mais usado universalmente. O iodo e o bromo também vem sendo usados como desinfetantes de esgotos sanitários. O ozônio é um desinfetante altamente efetivo, embora ele não deixe residual. Águas altamente ácidas ou alcalinas também podem ser usadas para destruir bactérias patogênicas, porque água com pH maior que 11 ou menor que 3 é relativamente tóxica à maioria das bactérias (METCALF & EDDY, 2003).

B. Agentes físicos:

Os agentes físicos que vem sendo usados como desinfetantes são os seguintes: (1) calor, (2) luz e, (3) ondas sonoras. Águas aquecidas no ponto de ebulição, por exemplo, irão destruir a maior parte de bactérias não formadoras de esporos as quais produzem muitas doenças. O calor é usado comumente na indústria de bebidas e laticínios, mas isto não é muito factível, quando se trata de desinfecção de águas residuárias, devido ao alto custo. A luz do sol é também um ótimo desinfetante, devido à radiação ultravioleta, porção do espectro eletromagnético. O decaimento de microrganismos observados em tanques de oxidação é devido, em parte, à sua exposição ao componente ultravioleta da luz do sol. Lâmpadas especiais desenvolvidas para emitir raios ultravioleta vem sendo usadas sucessivamente para desinfetar águas e águas residuárias. O contato geométrico entre a fonte de radiação ultravioleta e a água é extremamente importante devido à matéria suspensa no líquido (sólidos em suspensão), moléculas orgânicas dissolvidas e, a água irá absorver a radiação, além dos microrganismos (METCALF & EDDY, 2003).

C. Meios mecânicos:

Bactérias e outros microrganismos também são removidos por meios mecânicos durante o tratamento de águas residuárias (METCALF & EDDY, 2003).

Eficiências típicas de remoção por meios mecânicos para várias operações e tratamentos são resumidas na tabela 3.17 (METCALF & EDDY, 2003).

Tabela 3.17: Remoção ou destruição de bactérias por diferentes processos de tratamento.

Fonte: Wastewater Engineering Treatment and Reuse. 4ª edição revisada, edição internacional, 2003.

Remoção ou destruição de bactérias por diferentes processos de tratamento	
Processo	Percentual de remoção
Grade (tela) grosseira	0 - 5
Grade (tela) fina	10 - 20
Caixa de areia	10 - 25
Sedimentação plana (decantação simples)	25 - 75
Precipitação química	40 - 80
Filtro de gotejamento (filtro biológico)	90 - 95
Lodos ativados	90 - 98
Cloração de esgoto tratado	98 - 99,999

D. Radiação:

Os maiores tipos de radiação são: eletromagnética, acústica e de partícula. Os raios gama são emitidos a partir de radioisótopos, tais como cobalto - 60. Devido ao seu poder de penetração, os raios gama vêm sendo usados para desinfetar (esterilizar) tanto água quanto esgoto. Embora o uso de dispositivo de emissão de elétrons altamente energéticos para a irradiação de esgoto ou lodo venha sendo estudada extensivamente, não há ainda dispositivos comerciais ou instalação em grande escala em operação (METCALF & EDDY, 2003).

3.5.4 Comparação dos diversos desinfetantes de águas residuárias

Utilizando os critérios definidos na tabela 3.16 - *Características de um desinfetante ideal*, os desinfetantes que vem sendo usados em águas residuárias são comparados na tabela 3.18 (METCALF & EDDY, 2003).

3.5.5 Mecanismos de desinfecção

Basicamente, é possível relacionar cinco tipos de mecanismos que expliquem a ação dos desinfetantes: (1) dano à parede celular, (2) alteração da permeabilidade da célula, (3) alteração da natureza coloidal do protoplasma, (4) alteração dos organismos DNA ou RNA, e (5) inibição da atividade enzimática (METCALF & EDDY, 2003).

(1) Dano à parede celular:

Danificar ou destruir a parede celular irá resultar na ruptura da célula e, conseqüentemente, sua morte. Alguns agentes, tais como penicilina, inibem a síntese da parede celular bacteriana.

(2) alteração da permeabilidade da célula:

Agentes como compostos fenólicos e detergentes alteram a permeabilidade da membrana citoplasmática. Estas substâncias destroem a permeabilidade seletiva da membrana e permitem que nutrientes vitais, tais como nitrogênio e fósforo, escapem.

(3) alteração da natureza coloidal do protoplasma:

Calor, radiação e agentes altamente ácidos ou alcalinos alteram a natureza coloidal do protoplasma. Calor irá coagular a proteína da célula e ácidos e bases irão denaturar proteínas, produzindo efeito letal.

(4) alteração dos organismos DNA ou RNA:

A radiação ultravioleta pode provocar a formação de duplas caligações químicas nos microrganismos bem como a ruptura de alguns filamentos de DNA. Quando fótons de UV são absorvidos pelo DNA de bactérias e protozoários e pelo DNA de vírus, dímeros covalentes podem ser formados de timinas adjacentes no DNA ou uracil no RNA. A formação de duplas ligações químicas interrompem o processo de replicação de tal forma que o organismo não possa mais se reproduzir e, então, fique inativado.

(5) inibição da atividade enzimática:

Agentes oxidantes, tais como cloro e seus compostos, podem alterar o arranjo químico das enzimas e inativá-las.

A comparação de mecanismos de desinfecção de esgotos utilizando cloro, ozônio e radiação UV é apresentada na tabela 3.19.

Tabela 3.19: Mecanismos de desinfecção utilizando cloro, ozônio e radiação UV.

Fonte: Wastewater Engineering Treatment and Reuse. 4ª edição revisada, edição internacional, 2003.

Mecanismos de desinfecção utilizando cloro, radiação UV e ozônio		
Cloro	Ozônio	Radiação ultravioleta
1. Oxidação 2. Reação com cloro disponível 3. Precipitação da proteína 4. Modificação da permeabilidade da parede celular 5. Hidrólise e ruptura mecânica.	1. Oxidação direta / destruição da parede celular com vazamento dos constituintes celulares para fora da célula 2. Reações com subprodutos radicais da decomposição do ozônio 3. Danificação dos constituintes do ácido nucléico (purinas e pirimidinas) 4. Ruptura da ligação química entre o carbono e o nitrogênio, levando à depolimerização.	1. Danificação fotoquímica do RNA ou do DNA (exemplo, formação de duplas ligações químicas) das células de um organismo 2. Em microrganismos, os ácidos nucléicos são os mais absorvidos pela energia da radiação UV, no comprimento de onda de 240 a 280 nm. 3. Devido ao carregamento genético de informações genéticas do DNA e RNA para a reprodução, o dano destas substâncias pode efetivamente inativar a célula.

No tratamento de água e de águas residuárias, os dois tipos preponderantes de mecanismos de desinfecção são: a oxidação, com posterior ruptura da parede celular, e a difusão no interior das células, com conseqüente interferência na atividade celular. Assim, a capacidade para oxidar moléculas biológicas e a capacidade de difusão, através da parede celular, são pré-requisitos essenciais para qualquer agente desinfetante ser considerado eficiente (DANIEL, 2001).

3.5.6 Fatores relacionados à eficiência de um sistema de desinfecção

A ação dos desinfetantes é influenciada por diversos fatores, tais como: (1) Características do desinfetante, (2) tempo de contato, (3) concentração do desinfetante, (4) intensidade e natureza do agente físico, (5) temperatura, (6) tipo de organismos, (7) natureza do líquido em suspensão e, (8) homogeneidade da dispersão do desinfetante na massa líquida (METCALF & EDDY, 2003 e DANIEL, 2001).

(1) Características do Desinfetante

Os mecanismos de ação e as propriedades relacionadas à interação do desinfetante com as características físico-químicas e microbiológicas da água (DANIEL, 2001).

(2) Tempo de Contato:

Talvez uma das mais importantes variáveis do processo de desinfecção seja o tempo de contato. Trabalhando na Inglaterra no início do século XX, Harriet Chick observou que, para uma dada concentração do desinfetante, quanto maior o tempo de contato, maior a influência na inativação dos microrganismos (ver figura abaixo). Esta observação foi primeiramente reportada na literatura no início do século XX, em 1.908 (METCALF & EDDY, 2003). A figura 3.10 mostra essa relação: efeito do tempo de contato e a concentração de fração de sobreviventes de microrganismos em um reator em batelada, utilizando cloro como agente desinfetante.

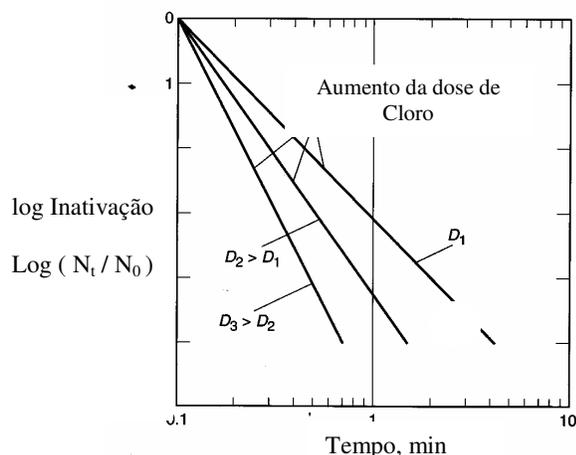


Figura 3.10: Efeito do tempo de contato e concentração de fração de sobreviventes de *E.Coli* em um reator em batelada, utilizando cloro como agente desinfetante a 20 °C.
Fonte: METCALF & EDDY, 2003.

Na forma diferencial, a lei de Chick é:
$$\frac{dN_t}{dt} = -k.N_t$$

onde,

dN_t / dt = velocidade de mudança de concentração de organismos com o tempo

k = constante de velocidade de inativação, T^{-1}

N_t = número de organismos, no tempo t

t = tempo

Se N_0 é o número de organismos quando t é igual à 0, a equação acima pode ser integrada em

$$\frac{N_t}{N_0} = e^{-k.t}$$

ou

$$\ln \frac{N_t}{N_0} = -kt$$

O valor da constante de velocidade de inativação K pode ser obtido plotando-se $-\ln (N_t/N_0)$ versus tempo de contato t .

(3) Concentração do Desinfetante:

Também trabalhando na Inglaterra no início do século XX, Hebert Watson relatou que a constante de velocidade de inativação estava relacionada com a concentração. Esta observação também se deu no início do século XX, em 1.908 (METCALF & EDDY, 2003).

$$k = k'C^n$$

onde:

k = constante de velocidade de inativação

k' = constante de extinção (morte de microrganismos)

C = concentração do desinfetante

n = coeficiente de diluição

Combinando as expressões propostas por Chick e Watson em forma de produto diferencial, temos:

$$\frac{dN_t}{dt} = -k' C^n N_t$$

Integrando-se a equação acima, temos:

$$\frac{N_t}{N_o} = e^{-k' C^n t} \quad \text{ou} \quad \ln \frac{N_t}{N_o} = -k' C^n t$$

A forma linearizada da equação acima é:

$$\ln C = -\frac{1}{n} \ln t + \frac{1}{n} \ln \left[\frac{1}{k'} \cdot \left(-\ln \frac{N_t}{N_o} \right) \right]$$

O valor de n pode ser obtido plotando-se C versus t em papel log log para um dado nível de inativação. Assim, com os valores de n pode-se chegar à seguinte conclusão:

- Se $n = 1$ a concentração e tempo são igualmente importantes
- Se $n > 1$ a concentração é mais importante que o tempo
- Se $n < 1$ o tempo é mais importante que a concentração

(4) Intensidade e Natureza do Agente Físico:

Calor e luz são agentes físicos que vem sendo usados cada vez mais para a inativação de esgotos. Em função de vários estudos, foi descoberto que a efetividade de desinfecção é função da intensidade. Por exemplo, se o decaimento de organismos pode ser descrito por uma reação de 1º ordem, o que se vê na reação $\frac{dN_t}{dt} = -k N_t$ então o efeito da intensidade do desinfetante físico é refletido na constante k através de um relacionamento funcional (METCALF & EDDY, 2003).

(5) Temperatura:

O efeito da temperatura na velocidade de morte de microrganismos com desinfetantes químicos pode ser representado pela forma da relação de Van't Hoff-Arrhenius. O aumento da temperatura resulta em uma maior rapidez na morte dos microrganismos. Em termos de tempo t exigido para efetivar uma dada porcentagem de morte de microrganismos, temos a seguinte equação:

$$\ln \frac{t_1}{t_2} = \frac{E(T_2 - T_1)}{R T_1 T_2}$$

onde:

t_1, t_2 = tempo para uma dada porcentagem de morte de microrganismos a uma temperatura T_1 e T_2 respectivamente

E = energia de ativação, J/mole (cal / mole)

R = constante dos gases, 8,3144 J / mole . K = (1,99 cal / mole.K)

(6) Tipos de Microrganismos:

A resistência relativa dos microrganismos ao desinfetante é dependente da espécie, da forma - encistada ou não - e da concentração dos mesmos na massa líquida (DANIEL, 2001).

A efetividade de vários desinfetantes será influenciada pelo tipo, natureza e condição dos microrganismos. Por exemplo, o crescimento de células bacterianas são freqüentemente mais fáceis de serem mortas do que outras células que desenvolveram uma camada de lodo. Em contraste, bactérias esporoladas são extremamente resistentes e, muitos agentes químicos normalmente usados, obterão um resultado pequeno ou até mesmo sem nenhum efeito. Similarmente, muitos dos vírus e protozoários respondem diferentemente a cada um dos agentes químicos. Em muitos casos, outros agentes desinfetantes, tais como calor e radiação U.V. podem ser usados (METCALF & EDDY, 2003).

(7) Natureza do Líquido em Suspensão:

A natureza do líquido em suspensão deve ser considerada cuidadosamente. Por exemplo, a matéria orgânica poderá reagir com muitos desinfetantes oxidantes e reduzir sua efetividade. A presença de material em suspensão irá reduzir a efetividade de desinfetantes pela absorção do desinfetante e promovendo um escudo de proteção em algumas bactérias (METCALF & EDDY, 2003).

Em relação às características físicas, a turbidez desempenha papel preponderante na eficiência da desinfecção, promovendo efeito escudo sobre os microrganismos, protegendo-os da ação do desinfetante. Além da turbidez, interferem na eficiência da desinfecção (DANIEL, 2001):

- presença de matéria orgânica, freqüentemente associada à cor verdadeira - aderindo aos microrganismos e protegendo-os da ação do desinfetante ou reagindo com este para formar subprodutos;
- presença de compostos inorgânicos que reagem com o desinfetante;
- pH e temperatura da água, relacionando-se às formas de dissociação química do desinfetante.

(8) Homogeneidade da dispersão do desinfetante na massa líquida

A conjunção destes fatores materializa-se na lei de Chick-Watson, consubstanciada na equação abaixo (DANIEL, 2001):

$$I_n = \frac{N}{N_0} = - K \cdot C^n \cdot T$$

em que:

N_0 , N: número de organismos viáveis, no início e no tempo t;

C: concentração do desinfetante;

n: coeficiente de diluição, relacionado com a dispersão do desinfetante na massa líquida;

t: tempo de exposição;

k: constante de inativação.

3.5.7 Avaliação e seleção do processo de desinfecção de esgotos sanitários

São muitas as opções técnicas para desinfecção de esgotos sanitários. Além dessa multiplicidade de opções, diversas variáveis devem ser consideradas na escolha do processo de desinfecção, em especial aquelas que se referem à preservação da qualidade das águas dos corpos receptores, às densidades de patógenos no esgoto sanitário e aos aspectos relacionados a processos de desinfecção, relacionados na tabela a seguir. Portanto, a tomada de decisão deve considerar (PROSAB, 2003):

- Investigação sobre os usos da água a jusante do ponto de lançamento e sobre os riscos de saúde pública associados a ela.
- Avaliação das alternativas disponíveis para controle dos esgotos contaminados por patógenos.
- Avaliação dos impactos ambientais que as medidas de controle podem ocasionar.

3.5.7.1 Critérios para a escolha do desinfetante :

Os processos de desinfecção não são equivalentes. É necessário escolher aqueles mais apropriados, devido a condições particulares (características e usos da água ou efluente e tipos de microrganismo a eliminar). Para tanto, um desinfetante ou processo de desinfecção deve apresentar idealmente as seguintes características (PROSAB, 2003):

- não ser tóxico para o homem ou qualquer outro animal;
- ser tóxico em baixa concentração para os organismos-alvo;
- ser suficientemente solúvel em água;
- ser eficaz nas condições de temperatura e pH encontrados no meio líquido;
- ser de custo razoável em relação aos volumes de água ou efluente a desinfetar;
- não apresentar elevado risco aos operadores;
- permitir fácil medida e controle de sua concentração.

Em geral, efetua-se a desinfecção de efluentes por meio de cloro (80% da desinfecção no mundo), por apresentar várias das características anteriormente citadas. Entretanto, a adição do cloro pode ocasionar efeitos secundários indesejáveis, pois ao reagir com a matéria orgânica pode levar à formação de substâncias cancerígenas (THM). Além disso, o cloro não é um oxidante suficientemente poderoso para eliminar completamente organismos mais resistentes como os vírus. A fim de amenizar essas deficiências, outros agentes desinfetantes podem ser utilizados, como o dióxido de cloro, ozônio e radiação ultravioleta (PROSAB, 2003).

Nas tabelas a seguir (3.20 a 3.25) estão resumidos os principais aspectos relativos à utilização dos processos de cloração, cloração/descloração, ozonização, radiação ultravioleta, lagoas de estabilização e tratamento no solo para a desinfecção de esgotos sanitários. Nestas tabelas considera-se o nível de desenvolvimento da tecnologia, os aspectos relativos à operação e à manutenção dos processos, a efetividade do processo sobre os organismos patogênicos do esgoto sanitário, bem como as informações sobre os possíveis impactos à saúde dos trabalhadores e ao meio ambiente (USEPA 1986 e PROSAB, 2003).

Tabela 3.20: Principais fatores a serem considerados na avaliação de alternativas de desinfecção. Fontes: USEPA, 1986 e PROSAB, 2003.

Efetividade	<ul style="list-style-type: none"> • Habilidade em atingir os limites desejados de organismos indicadores • Capacidade de desinfecção de uma larga faixa de microrganismos • Confiabilidade
Custos	<ul style="list-style-type: none"> • Custos de implantação • Custos de amortização • Custos de operação e manutenção • Custos do tratamento do esgoto a montante da etapa
Operação	<ul style="list-style-type: none"> • Facilidade de transporte, estocagem e geração <i>in loco</i> • Facilidade de aplicação e controle • Flexibilidade • Complexidade • Capacidade de previsão de resultados • Considerações sobre segurança
Estudo piloto	<ul style="list-style-type: none"> • Dose necessária • Detalhes de refinamento de projeto
Potenciais efeitos adversos	<ul style="list-style-type: none"> • Toxicidade à vida aquática • Formação e transmissão de indesejáveis substâncias bioacumuláveis • Formação e transmissão de substâncias tóxicas, mutagênicas e carcinogênicas

Tabela 3.21: Nível de desenvolvimento, aspectos de operação e manutenção dos processos de desinfecção. Fontes : (USEPA 1986 e PROSAB, 2003).

Consideração	Cloração	Cloração/ Descloração	Ozônio	Radiação UV	Lagoas de estabilização	Tratamento no solo
Tamanho da ETE	Todos os tamanhos	Todos os tamanhos	Médio a grande	Todos os tamanhos	Pequeno a médio	Pequeno
Nível de tratamento antes da desinfecção	Todos os níveis	Todos os níveis	Secundário	Secundário	Primário ou anaeróbico	Primário ou anaeróbico
Complexidade de seletividade da tecnologia	Simple a moderada	Moderada	Complexa	Simple a moderada	Muito simples	Simple
Confiabilidade	Muito boa	Boa	Boa	Boa	Boa	Regular
Controle do processo	Bem desenvolvido	Desenvolvido	Em desenvolvimento	Em desenvolvimento	Desenvolvido	Em desenvolvimento
Sensibilidade à operação e à manutenção	Mínima	Moderada	Alta	Moderada	Pouca	Pouca

Tabela 3.22: Efetividade do processo sobre os organismos patogênicos do esgoto sanitário. Fontes : (USEPA 1986 e PROSAB, 2003).

Consideração	Cloração	Cloração/ Descloração	Ozônio	Radiação UV	Lagoas de estabilização	Tratamento no solo
Efeito bactericida	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom
Efeito virucida	Ruim	Ruim	Bom	Bom	Bom	Desconhecido
Efeito sobre protozoários	Regular	Regular	Regular	Pouco	Bom	Bom
Efeito sobre helmintos	Regular	Regular	Regular	Pouco	Bom	Bom

Tabela 3.23: Tempo de detenção hidráulica, outras reações e impactos na qualidade do efluente tratado. Fontes : (USEPA 1986 e PROSAB, 2003).

Consideração	Cloração	Cloração/ Descloração	Ozônio	Radiação UV	Lagoas de estabilização	Tratamento no solo
Tempo de detenção	Longo	Longo	Moderado	Curto	Muito longo	Longo
Incremento de OD	Não	Não	Sim	Não	Sim	Sim
Reação com amônia	Sim	Sim	Sim (pH alto)	Não	Moderada	Sim
Remoção de cor	Moderada	Moderada	Sim	Não	Moderada	Moderada
Sólidos dissolvidos	Aumenta	Aumenta	Não atua	Não atua	Provavelmente diminui	Provavelmente diminui
Sólidos suspensos	Diminui	Diminui	Diminui	Não atua	Variável	Diminui
Dependente do pH	Sim	Sim	Pouco	Não	Sim	Sim

Tabela 3.24: Aspectos referentes ao impacto na saúde dos trabalhadores, nas estruturas e no meio ambiente. Fontes : (USEPA 1986 e PROSAB, 2003).

Consideração	Cloração	Cloração/ Descloração	Ozônio	Radiação UV	Lagoas de estabilização	Tratamento no solo
Durabilidade do residual	Longa	Nenhuma	Nenhuma	Sem residual	Sem residual	Sem residual
Subprodutos tóxicos	Sim	Sim	Não esperado (se processo controlado)	Não	Não	Não
Riscos à saúde / Perigo no transporte	Sim, Substancial	Sim, Substancial	Não, Moderado	Não, Mínimo	Não, Nenhum	Não, Nenhum
Corrosão	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não

Tabela 3.25: Características típicas dos principais processos e desinfetantes.

Fontes : Metcalf & Eddy, 2003 e PROSAB, 2003.

Características	Cloro gasoso	Hipocloritos	Dióxido de cloro	Radiação UV	Ozônio	Lagoas de maturação
Custo de implantação	Menor	Médio	Médio	Elevado	Elevado	Elevado
Custo de operação	Menor	Médio	Médio	Elevado	Elevado	Menor
Eficiência de desinfecção	Elevada	Elevada	Elevada	Elevada	Elevada	Elevada
Aplicabilidade a ETE's	Médias a grandes	Pequenas a médias	Pequenas a médias	Pequenas a grandes	Médias a grandes	Pequenas a médias
Geração de subprodutos	Organoclorados possível	Organoclorados possível	Menor	Não	Não	Não
Pureza do desinfetante	Elevada	Baixa	Boa, se gerado <i>in loco</i>	--	--	--
Toxicidade aos microrganismos	Elevada	Elevada	Elevada	Elevada	Elevada	--
Toxicidade à vida aquática	Elevada	Elevada	Elevada	Não	Elevada	Não
Grau mínimo de tratamento	Primário	Primário	Primário	Secundário	Secundário	Secundário
Corrosividade	Elevada	Elevada	Elevada	Não	Elevada	Não
Riscos operacionais	Elevados	Elevados	Elevados	Não	Moderados	Não

A tabela 3.26 mostra faixas de dose residual ($C_{R.t}$) para diversos graus de inativação de bactérias e diferentes desinfetantes (Metcalf & Eddy, 2003 e PROSAB, 2003).

Tabela 3.26: Faixas usuais de dose residual para a inativação de bactérias, para efluente secundário filtrado a 20 °C e pH = 7. Fonte : Metcalf & Eddy, 2003.

Desinfetante	Unidade	Inativação 1 - log	Inativação 2 - log	Inativação 3 - log	Inativação 4 - log
Cloro livre	mg.min/L	0,1 – 0,2	0,4 – 0,8	1,5 – 3,0	10,0 – 12,0
Cloramina	mg.min/L	4,0 – 6,0	12,0 – 20,0	30,0 – 75,0	200,0 – 250,0
Dióxido de cloro	mg.min/L	2,0 – 4,0	8,0 – 10,0	20,0 – 30,0	50,0 – 70,0
Ozônio	mg.min/L	--	3,0 – 4,0	--	--
Radiação UV	mJ/cm ²	--	30 - 60	60,0 – 80,0	80,0 – 100,0

3.6 Desinfetantes Químicos

Todos os agentes químicos utilizados para a desinfecção têm a função precípua de controlar doenças de veiculação hídrica e inativar organismos patogênicos na potabilização das águas, inclusive também em águas residuárias, as quais podem ser reutilizadas para diversos fins, tais como agricultura, uso industrial, etc. (DANIEL, 2001).

Os desinfetantes químicos têm permitido melhora da qualidade de vida e diminuição da mortalidade infantil por doenças entéricas, com uma eficiência sem precedentes na história da humanidade (FUNASA, 1998). Por outro lado, pesquisas recentes têm mostrado que muitos desses agentes, por serem oxidantes muito fortes, podem gerar alguns subprodutos da desinfecção que, apesar da pequena concentração, podem ser danosos aos usuários de águas tratadas e ao meio ambiente. O cloro livre como agente desinfetante e oxidante, por ser largamente utilizado mundialmente com grande sucesso e excelentes resultados, foi contemplado pelos pesquisadores em suas diferentes formas de utilização. No entanto, para algumas águas naturais particulares, o emprego do cloro como agente pré-oxidante e desinfetante pode apresentar inconvenientes, ressaltando-se a formação de subprodutos da desinfecção. Em função da formação dos subprodutos, a utilização de métodos alternativos de desinfecção é de suma importância (DANIEL, 2001).

Pode-se classificar estes subprodutos em: (DANIEL, 2001)

- compostos orgânicos halogenados, como trihalometanos, ácidos haloacéticos, halocetonas e outros, resultantes da cloração;
- outros compostos orgânicos, como aldeídos, cetonas, carbono orgânico assimilável e carbono orgânico biodegradável, associados ao ozônio, ao cloro e aos processos de oxidação avançada;
- compostos inorgânicos, como cloritos e cloratos, associados ao dióxido de cloro, gerado quando o dióxido de cloro é exposto à luz solar, e ao bromato, associado à ozonização.

A geração de diferentes tipos de concentrações de subprodutos de desinfecção depende, principalmente, do tipo de desinfetante, da qualidade da água, da seqüência de tratamento, do tempo de contato e de fatores ambientais como: alcalinidade, pH, temperatura, força iônica e catalisadores naturais.

3.6.1 Mecanismos de ação dos desinfetantes químicos:

Há três mecanismos principais de inativação de organismos patogênicos por agentes químicos (DANIEL, 2001):

I. Destruição ou rearranjo estrutural da organização celular por ataque aos principais constituintes da célula, por exemplo, destruindo a parede celular ou modificando as funções de semipermeabilidade das membranas;

II. interferência no metabolismo energético, tornando as enzimas não funcionais;

III. interferência na biossíntese e no crescimento, pelo prejuízo à síntese de proteínas, ácidos nucléicos, coenzimas ou parede celular.

Acredita-se que a habilidade de desinfetante oxidar ou romper a parede celular, se difundir dentro da célula e interferir nas atividades celulares seja o principal mecanismo controlador da eficiência da desinfecção (DANIEL, 2001). Mais especificamente, segundo a AWWA (1997), o cloro e seus compostos atacam as atividades respiratórias, o transporte através da parede celular e o ácido nucléico das bactérias. No caso dos vírus, o mecanismo parece ser o desarranjo dos ácidos nucléicos. Os polivírus sofrem ataque na capa de proteína externa.

No caso de dióxido de cloro, a inativação de bactérias tem sido atribuída à perturbação da síntese de proteínas. Por outro lado, o ozônio ataca o ácido nucléico das células bacterianas. A inativação perde eficiência com o tempo, pois certos organismos podem desenvolver resistência aos desinfetantes ou proteger-se dos agentes químicos por adsorção ou seqüestro de partículas inertes na água. Verifica-se que, em sistemas de distribuição, mudando o desinfetante químico, muda a população microbiológica resistente remanescente (DANIEL, 2001).

3.6.2 Subprodutos oriundos de desinfetantes químicos

3.6.2.1 Subprodutos oriundos da desinfecção com cloro

No início dos anos de 1970, descobriu-se que o uso de oxidantes, tais como cloro e ozônio, em desinfecção de estações de tratamento de água, para sabor, odor, remoção de cor e outros usos, resultaram na produção de subprodutos de desinfecção indesejáveis (USEPA, 1999).

Os subprodutos que se formam com mais freqüência e em maiores concentrações são os trihalometanos (THM's) e ácidos holoacéticos (HAA's). Os trihalometanos (THM's) e outros subprodutos são formados como resultado de uma série de reações complexas entre o cloro livre e um grupo de ácidos orgânicos conhecidos como ácidos húmicos. Estas reações levam à formação de moléculas de carbono ligadas à compostos halogenados, frequentemente designados como HCX_3 , onde X é, em geral, átomo de Cloro(Cl) ou Bromo (Br). Por exemplo, a fórmula química do clorofórmio é HCCl_3 . O clorofórmio, por exemplo, é um composto carcinogênico bem conhecido e muitos dos holofórmios também são carcinogênicos aos animais. Além do mais, muitos destes compostos foram classificados como prováveis carcinogênicos ao homem. Muitos outros compostos halogenados são conhecidos em causar aberrações cromossômicas e anomalias nos espermatozoides.

Reconhecendo o pouco conhecimento, os riscos à saúde pública, e os riscos ambientais associados a esses compostos, a agência de proteção ambiental americana (EPA) se posicionou agressivamente para controlar a sua formação em águas para consumo humano. Além dos trihalometanos e os ácidos holoacéticos, uma variedade de outros subprodutos também é produzida. Tais subprodutos estão relacionados na tabela 3.27.

Tabela 3.27: Subprodutos de desinfecção representativos resultantes de cloração de esgoto contendo constituintes orgânicos e inorgânicos (METCALF & EDDY, 2003).

A Residual de desinfetantes	B Subprodutos inorgânicos
<p>Cloro Livre</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ácido hipocloroso • Íon hipoclorito <p>Cloraminas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Monocloraminas • Dicloraminas • Tricloraminas <p>Dióxido de cloro</p>	<p>Íons cloratos</p> <p>Íons cloretos</p> <p>Íons bromatos</p> <p>Íons iodatos</p> <p>Peróxido de hidrogênio</p> <p>Amônia</p>

C Subprodutos de oxidação orgânica	
<p>Aldeídos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Formaldeído • Acetaldeído • Cloroacetaldeído • Dicloroacetaldeído • Tricloroacetaldeído (hidrato de cloro) • Gloxal (metilgloxal) • Hexanal • Heptanal 	<p>Ácidos carboxílicos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ácido hexanóico • Ácido heptanóico • Ácido oxálico <p>Carbono orgânico assimilável</p> <p>Nitrosoaminas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nitrosodimetilamina (NDMA)
D Subprodutos orgânicos halogenados	
<p>Trihalometanos (THM's)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Clorofórmio • Bromodiclorometano (BDCM) • Dibromoclorometano (DBCM) • Bromofórmio • Trihalometanos totais <p>Ácido haloacéticos (HAA's)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ácido monocloroacético • Ácido dicloroacético (DCA) • Ácido tricloroacético • Ácido monobromoacético • Ácido dibromoacético • Ácidos haloacéticos totais <p>Clorofenóis</p> <ul style="list-style-type: none"> • 2 clorofenol • 2,4 diclorofenol • 2,4,6 triclorofenol 	<p>Halocetonas</p> <ul style="list-style-type: none"> • 1,1 dicloropropanona • 1,1,1 tricloropropanona • Halocetonas totais <p>Haloacetoneitrilos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cloroacetoneitrilo (CAN) • Dicloroacetoneitrilo (DCAN) • Tricloroacetoneitrilo (TCAN) • Bromocloroacetoneitrilo (BCAN) • Dibromoacetoneitrilo (DCAN) • Haloacetoneitrilos totais <p>Cloropicrin</p> <p>Hidrato de cloro</p> <p>Cloreto de cianogeno</p> <p>N- Organocloraminas</p> <p>(MX) 3-cloro-4-diclorometil-5hidroxi-2-furanona</p>

Muitos dos compostos identificados nesta tabela foram identificados em efluentes tratados que foram previamente desinfetados com cloro. A formação dos subprodutos é uma grande preocupação devido ao potencial impacto que estes compostos podem trazer à saúde pública e ao meio ambiente (METCALF & EDDY, 2003).

A velocidade de formação dos subprodutos depende do número de fatores que incluem:

- presença de precursores orgânicos
- concentração de cloro livre
- concentração de bromo
- pH
- temperatura

O tipo e concentração de precursores orgânicos irão afetar tanto a velocidade de reação quanto qual o tipo de reação será completada. Pensava-se que somente a presença de cloro livre era necessário para a formação de THM's, mas parece que os THM's podem ser formados na presença de cloro combinado. Neste caso esta reação ocorre em velocidade muito reduzida. É importante notar que a mistura inicial pode afetar a formação de THM's devido às reações de competição entre o cloro e amônia com o cloro e os ácidos brúmicos. Se o bromo está presente ele pode ser oxidado a brometo pelo cloro livre. Em compensação o íon brometo pode se combinar com os precursores orgânicos para formar os THM's, incluindo bromodiclorometano, dibromomonoclorometano, e bromofórmio. A velocidade de formação de THM's foi observada com o aumento tanto do pH quanto da temperatura.

Outro subproduto que foi recentemente descoberto em efluentes de esgoto tratado por meio de desinfecção com cloro é o NDMA (N-nitrosodimetilamina), o qual é um membro da classe dos compostos conhecidos como nitrosaminas. Estes são conhecidamente carcinogênicos, sendo que estes compostos produziram câncer em todas as espécies de animais testados em laboratório (METCALF & EDDY, 2003).

As principais formas de controlar a formação de THM's e outros subprodutos relacionados ao esgoto é evitar a adição direta de cloro livre. Baseado em evidências e diversos estudos realizados nos últimos anos, o uso de cloraminas não irá levar à formação de THM's e outros subprodutos relacionados em quantidades relativamente preocupantes. É importante notar que se as cloraminas forem utilizadas como agente desinfetante, a solução de cloramina deverá ser preparada com água potável contendo pouca ou nenhuma quantidade de amônia. Não deverão ser utilizadas em estações de tratamento de água.

Com respeito ao NDMA, parece que se o processo de tratamento biológico do esgoto for operado e controlado adequadamente, o potencial para a formação ou amplificação dos compostos de NDMA podem ser reduzidos. Remoção de 50 a 70 % de NDMA foram reportados quando se utilizou osmose reversa empregando filmes extremamente finos na composição das membranas. O uso de desinfecção com radiação UV provou ser efetivo no controle de NDMA. Atualmente uma grande variedade de estudos vem sendo realizados para desenvolver formas de controlar a descarga de efluentes com elevada concentração de NDMA (METCALF & EDDY, 2003).

3.6.2.2 Subprodutos oriundos da desinfecção com ozônio

Assim como o cloro, a formação indesejada de subprodutos é um dos problemas associados ao uso do ozônio como desinfetante de esgotos sanitários. Porém, se comparado ao cloro, o uso do ozônio não produz subprodutos clorados, tais como THM's (trihalometanos) e HAA's (ácidos haloacéticos). Entretanto, forma outros subprodutos, que incluem aldeídos, vários ácidos, e aldo e cetoácidos quando quantidades significantes de bromo não estão presentes. Na presença de bromo, os seguintes subprodutos também podem ser produzidos: íon bromato inorgânico, bromofórmio, ácido acético bromado, bromopicrim, acetonitrilos bromados e, brometo de cianogênio. Ocasionalmente, peróxido de hidrogênio também pode ser gerado. Especificas quantidades e relativa distribuição dos compostos irá depender da natureza dos compostos precursores que estão presentes. Em função das características químicas do esgoto variar de local para local, testes pilotos deverão ser necessários se se pretende avaliar a efetividade do ozônio como desinfetante. A tabela 3.28 apresenta os principais subprodutos resultantes do uso de ozônio para desinfecção de esgotos.

Tabela 3.28: Subprodutos de desinfecção representativos resultantes da ozonização de esgotos contendo orgânicos e constituintes inorgânicos selecionados. Fontes: USEPA, 1999 b e METCALF & EDDY, 2003.

Subprodutos resultantes da desinfecção com Ozônio	
<p>Aldeídos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Formaldeído • Acetaldeído • Glyoxal • Metil Glyoxal <p>Ácidos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ácido Acético • Ácido Fórmico • Ácido Oxálico • Ácido Succinico <p>Aldo e Cetoácidos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ácido Pirúvico 	<p>Subprodutos Bromados</p> <p>(íon brometo deve estar presente na forma de subprodutos bromados)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Íon bromato • Bromofórmio • Ácidos acéticos bromados • Bromopicrim • Acetonitrilas bromadas • Brometo de Cianogênio <p>Outros</p> <ul style="list-style-type: none"> • Peróxido de Hidrogênio

Os subprodutos da utilização de ozônio, quando não possuem o bromo em sua estrutura, são razoavelmente biodegradáveis. Assim, podem ser removidos pela passagem do efluente em filtro biologicamente ativado ou coluna de carvão ou mesmo outro processo ativo biologicamente. Os compostos não bromados também podem ser removidos pela aplicação no solo. Porém, quando o subproduto contém bromo, sua remoção se torna bem mais complexa. A partir daí passa-se a considerar outras alternativas de desinfecção, como é o caso da utilização da radiação ultravioleta.

3.6.3 Resumo das vantagens e desvantagens da desinfecção de esgoto sanitário utilizando o cloro e o ozônio.

As vantagens e desvantagens da desinfecção de esgoto sanitário utilizando o cloro e o ozônio são resumidas na tabelas 3.29 e 3.30 (Adaptado de Metcalf & Eddy, 2003, USEPA, 1999 e DANIEL, 2001).

Tabela 3.29: Resumo das vantagens e desvantagens do Cloro como agente desinfetante de esgotos sanitários. Fontes: Metcalf & Eddy, 2003, USEPA, 1999 e DANIEL, 2001.

Cloro	
Vantagens	Desvantagens
<ol style="list-style-type: none"> 1. É o método de desinfecção mais fácil de ser utilizado e o de menor custo, indiferentemente do tamanho do sistema; 2. É o método de desinfecção mais amplamente utilizado e, portanto, o mais conhecido; 3. Tecnologia bem estabelecida; 4. Desinfetante extremamente efetivo; 5. O cloro residual pode ser monitorado e mantido; 6. O cloro residual combinado também pode ser providenciado pela adição de amônia; 	<ol style="list-style-type: none"> 1. O cloro gasoso é um gás corrosivo e perigoso, o que pode ser um risco aos trabalhadores da planta (risco de natureza ocupacional) e ao público (risco de natureza acidental / operacional). Medidas de segurança austeras devem ser seguidas; 2. Requer relativo longo tempo de contato, quando comparado a outros desinfetantes; 3. O cloro combinado é menos efetivo na inativação de alguns vírus, esporos e cistos a baixas dosagens, usadas para organismos coliformes; 4. Toxicidades residuais de efluentes tratados devem ser reduzidas, através da descloração;

7. O cloro residual germicida pode ser mantido em longas linhas de transmissão (tubulações de grande extensão);

8. Disponibilidade de sistema químico para usos auxiliares, tais como controle de odor, redução de cor, dosagens de linhas de esgoto e instalações de desinfecção de sistemas de água;

9. Oxida sulfetos;

10. Custo relativamente barato;

11. Disponível como hipoclorito de cálcio e sódio, considerados mais seguros que o cloro gasoso. O uso destas soluções é mais vantajoso para sistemas menores do que o cloro gasoso, pois é mais fácil de usar, mais seguro e necessita de menos equipamentos, se comparado ao cloro gasoso.

5. Formação de subprodutos halogenados substituídos (trihalometanos - THM's) e outros subprodutos;

6. Liberação de compostos voláteis orgânicos através do contato com o cloro;

7. Oxida ferro, magnésio e outros compostos inorgânicos (que consomem o desinfetante);

8. Oxida uma variedade de compostos orgânicos (que consomem o desinfetante);

9. O nível de sólidos dissolvidos totais do efluente tratado é aumentado;

10. O conteúdo de cloro do esgoto é aumentado;

11. Geração de ácido. O pH do esgoto pode ser reduzido se a alcalinidade for insuficiente;

12. Aumento de regras de segurança, especialmente na prevenção e combate ao incêndio;

13. Normalmente, o hipoclorito de cálcio e sódio são mais caros do que o cloro gasoso;

14. O hipoclorito de sódio degrada com o tempo e quando exposto à luz;

15. O hipoclorito de sódio é corrosivo;

16. O hipoclorito de cálcio deve ser estocado em local seco e fresco devido à sua capacidade de reagir em ambiente úmido ou quente;

17. A solução de hipoclorito de cálcio pode formar precipitado, se houver impurezas, portanto, um antiprecipitante químico poderá ser necessário;

18. Elevadas concentrações de soluções de hipoclorito são instáveis e produzirão clorato como subproduto;

19. O cloro é menos efetivo em elevado pH.

Tabela 3.30: Resumo das vantagens e desvantagens do Ozônio como agente desinfetante de esgotos sanitários. Fontes: Metcalff & Eddy, 2003, USEPA, 1999 e DANIEL, 2001.

Ozônio	
Vantagens	Desvantagens
<ol style="list-style-type: none"> 1. Desinfetante efetivo; 2. É mais efetivo que o cloro na inativação da maioria dos vírus, esporos, cistos e oocistos; 3. As propriedades biocidas não são influenciadas pelo pH; 4. É um dos mais eficientes desinfetantes químicos. Exige tempo de contato menor que o cloro; 5. Oxida sulfetos; 6. Requer menos espaço; 7. Com exceção do Brometo, subprodutos halogenados substitutos (THM's) não são formados; 8. Contribui para o aumento de oxigênio dissolvido; 9. Na decomposição, o único residual é o oxigênio dissolvido. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Não é possível medir imediatamente a eficiência da desinfecção (se foi suficiente e bem sucedida); 2. Não deixa residual (ao contrário do cloro e dióxido de cloro); 3. Menos efetivo na inativação de alguns vírus, esporos e cistos a baixas dosagens, usadas para organismos coliformes; 4. Formação de subprodutos (formaldeído, acetadeído, ácido acético, ácido fórmico, ácido oxálico, ácido pirúvico, íon bromato, bromofórmio, acetonitrilas brominadas, peróxido de hidrogênio, etc.); 5. Oxida ferro, magnésio e outros compostos inorgânicos (que consomem o desinfetante); 6. Oxida uma variedade de compostos orgânicos (que também consomem o desinfetante); 7. Requer tratamento do gás tratado; 8. O ozônio decai rapidamente em elevado pH e temperaturas elevadas; 9. Requer preocupação com segurança, uma vez que o ozônio é um gás altamente corrosivo e tóxico; 10. O ozônio exige alto cuidado com manutenção e operadores extremamente treinados; 11. O ozônio é intensivamente energético. A geração de ozônio requer muita energia e, por isso, deveria ser gerado no local de consumo; 12. O ozônio é relativamente caro. O custo inicial do equipamento de ozonização é elevado; 13. A operação e manutenção são extremamente sensíveis; 14. Deve estar limitado a plantas onde a geração de oxigênio altamente purificado já exista.

3.7 Desinfecção de esgoto sanitário com Radiação Ultravioleta

3.7.1 Introdução

Diferentemente da maior parte dos desinfetantes, a radiação ultravioleta - U.V. não inativa os microrganismos por interação química. A radiação U.V. inativa os microrganismos pela absorção da luz, que provoca reações fotoquímicas que alteram os componentes essenciais ao funcionamento da célula. Logo que os raios U.V. penetram na parede celular do microrganismo, a energia reage com o ácido nucléico e outros componentes vitais, resultando em dano ou morte das células expostas (USEPA, 1999 e DANIEL, 2001).

A radiação ultravioleta requer um tempo de contato (t) da ordem de segundos para realizar a inativação dos microrganismos, ao contrário da maioria dos agentes químicos, que requer tempo de contato significativamente maior. Porém, como qualquer desinfetante, a radiação ultravioleta tem suas limitações. Por exemplo, no que tange à desinfecção de águas para abastecimento, pelo fato de ser um agente físico e não químico, ela não proporciona residual para controlar a proliferação de patógenos e a formação de biofilme no sistema de distribuição de água para abastecimento. Quando se usa a radiação ultravioleta como agente desinfetante primário de água para abastecimento, alguma forma de desinfecção secundária com agente químico deve ser feita para manter a qualidade da água ao longo do sistema de distribuição (USEPA, 1999).

O efeito germicida desse tipo de energia foi reportado pela primeira vez por Downs & Blunt no final do século XIX, precisamente em 1878. Por problemas de confiabilidade de equipamento, tecnologia, entre outros, a utilização da radiação U.V. foi abandonada na época (DANIEL, 2001).

Apesar da comprovada ação germicida, a aplicação da radiação UV na desinfecção de efluentes praticamente não evoluiu no século XIX e na maior parte do século XX. Dois fatores contribuíram para tanto:

- O lento desenvolvimento de lâmpadas germicidas, concomitante ao desenvolvimento das lâmpadas fluorescentes, cuja comercialização em escala ocorreu por volta de 1940.
- O surgimento da técnica de cloração, ainda no século XIX, largamente utilizada e com bons resultados na desinfecção.

Primeiramente, esta tecnologia foi usada em suprimento de água para consumo humano, a radiação U.V. utilizada como desinfetante de esgotos desenvolveu-se quase um século depois, por volta de 1990, com o desenvolvimento de novas lâmpadas e equipamentos. Em dosagens adequadas, a radiação U.V. provou ser um efetivo bactericida e virucida na aplicação em esgotos, além de não contribuir para a formação de produtos tóxicos (METCALF & EDDY, 2003).

O método de desinfecção por radiação ultravioleta começou a ganhar popularidade, principalmente nos países europeus, e a pesquisa e o desenvolvimento desse método têm aumentado bastante nos últimos anos. Um dos fatores importantes para sua popularização, é o custo, que o torna competitivo economicamente se comparado à cloração (DANIEL, 2001).

Começaram a ser desenvolvidas pesquisas de métodos de desinfecção alternativos à cloração, com o intuito tanto de substituir os antigos métodos químicos como minimizar a formação de precursores de trihalometanos -THM e outros subprodutos que apresentam potencial cancerígeno (DANIEL, 2001).

No tratamento de esgotos sanitários, a radiação UV mostra-se altamente competitiva com a cloração, nos casos em que a implantação de uma etapa adicional de descloração se faz necessária. Esta última etapa tem por função o controle de subprodutos tóxicos de cloro nos efluentes tratados, como os organoclorados (trihalometanos e outros), que não são gerados nos processos de desinfecção UV. O emprego da radiação UV é, portanto, uma importante alternativa à desinfecção química de águas residuárias. Nenhum tipo de produto é adicionado à corrente líquida, resultando em processos simples, de baixo custo e com pouca exigência de operação e manutenção (PROSAB, 2003).

3.7.2 Fonte de a radiação ultravioleta

A radiação ultravioleta pertence ao espectro eletromagnético e está situada na faixa de 100 a 400 nm de comprimento de onda, entre os raios X e a luz visível. A subdivisão da faixa de radiação ultravioleta entre os vários valores de comprimento de onda é mostrada na tabela 3.31 (USEPA, 1999; DANIEL, 2001 e LOW & REED, 2002):

Tabela 3.31: Subdivisão da faixa de radiação ultravioleta entre os vários valores de comprimento de onda. Fontes: adaptado de USEPA, DANIEL E LOW & REED.

Região	Comprimento de onda	Outros nomes
UV vácuo	100 a 200 nm	U.V. do vácuo
UV C	200 a 280 nm	U.V. curto ou U.V. germicida
UV B	280 a 315 nm	U.V. médio ou U.V. eritematoso
UV A	315 a 400 nm	Também chamado de U.V. longo, ou luz negra

As divisões entre as diferentes faixas de onda não estão rigidamente fixadas, e algumas vezes 315 nm é escolhido como o limite entre UVA e o UVB, e 280 nm como o limite entre UVB e UVC. É muito comum que se utilize o termo *luz ultravioleta*, embora essa seja uma denominação incorreta. O termo luz deve ficar reservado para os comprimentos de onda de radiação que atingem a retina e resultam numa sensação de visão (aproximadamente entre 400 e 700 nm). A denominação correta é *radiação ultravioleta*, ou *UVR* (DIFFEY & FARR, 1994).

O intervalo de comprimento de onda compreendido entre 245 e 285 nm é considerado a faixa germicida ótima para a inativação de microrganismos (USEPA, 1999 e DANIEL, 2001). De acordo com BOLTON (1999), o comprimento de onda de maior efeito bactericida é o de 254 nm, estando, portanto, inserido na faixa do UV C. No entanto, HARM (1980) afirma que a absorção máxima de radiação ultravioleta ocorre em 260 nm, e o comprimento de onda de 254 nm é relativo à emissão máxima de lâmpadas de baixa pressão de vapor de mercúrio (DANIEL, 2001). A figura 3.11 mostra o efeito germicida associado ao comprimento de onda da radiação UV (PROSAB, 2003).

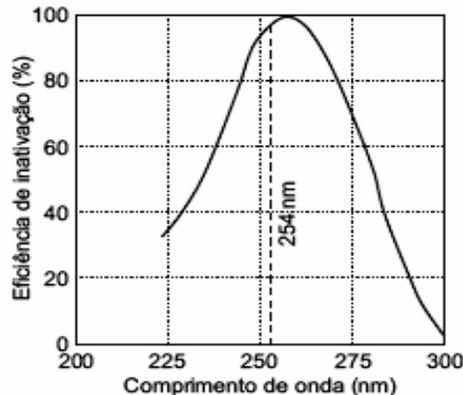


Figura 3.11: Efeito germicida associado ao comprimento de onda da radiação UV (PROSAB, 2003).

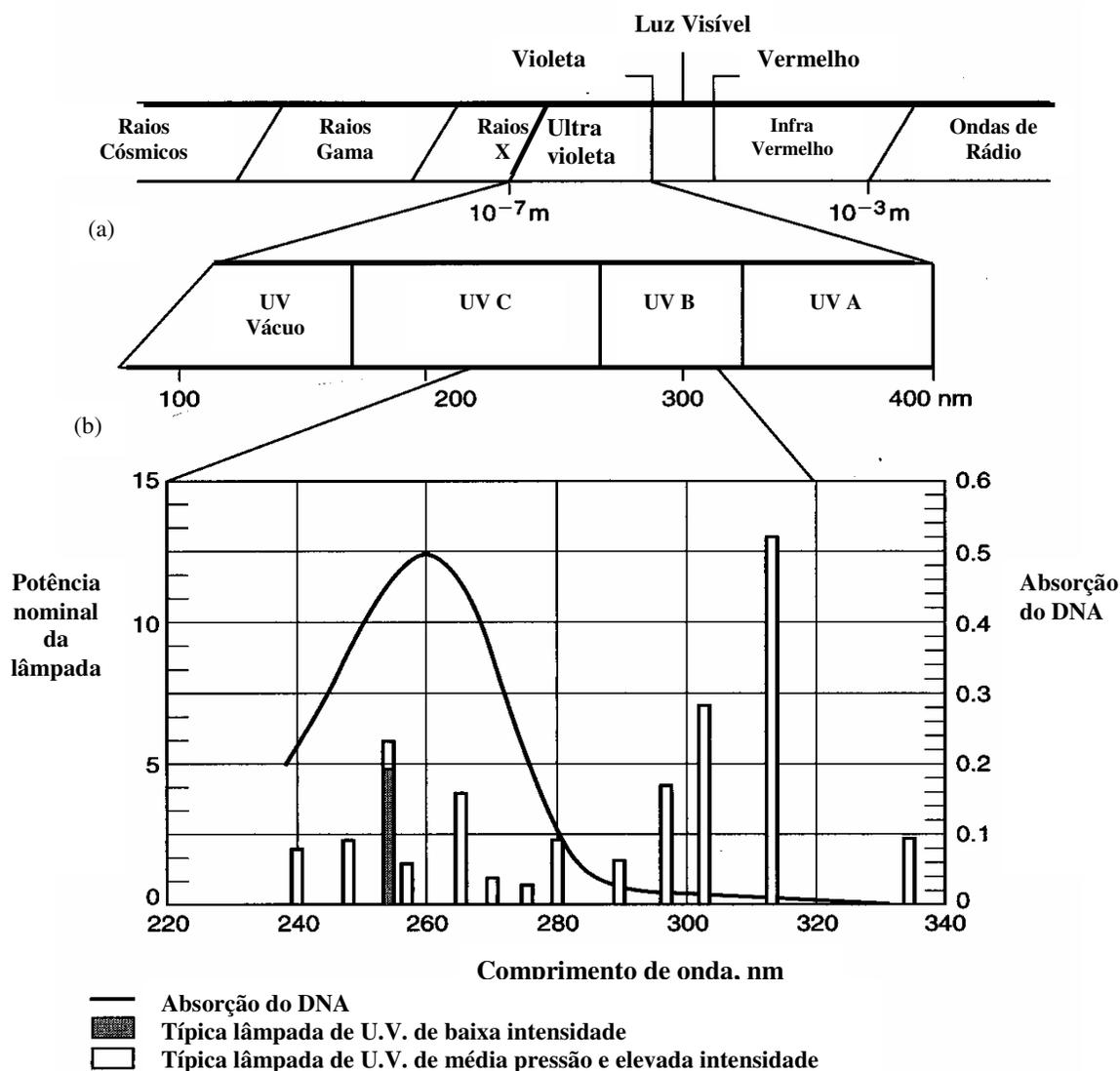
A figura 3.12 mostra o espectro eletromagnético (seção a), da porção da radiação U.V. (seção b) e a faixa onde o comprimento de onda possui maior efeito bactericida (seção c).

Figura 3.12: Espectro eletromagnético (seção a), da porção da radiação U.V. (seção b) e a faixa onde o comprimento de onda possui maior efeito bactericida (seção c).

Seção (a): Identificação da porção ultravioleta do espectro eletromagnético;

Seção (b): Identificação da porção germicida da radiação ultravioleta no espectro eletromagnético;

Seção (c): Espectro da radiação ultravioleta para as lâmpadas de baixa pressão e baixa intensidade e média pressão e alta intensidade e a relativa absorção da radiação ultravioleta do DNA sobreposta sobre o espectro das lâmpadas de radiação ultravioleta.



(c)

Em geral, o sistema de desinfecção com radiação ultravioleta está subdividido em 3 categorias, baseadas nos parâmetros operacionais internos da lâmpada de U.V.: sistemas de baixa pressão e baixa intensidade, sistemas de baixa pressão e alta intensidade e sistemas de média pressão e alta intensidade (METCALF & EDDY, 2003).

Os sistemas de desinfecção com radiação ultravioleta podem também ser classificados em: canal aberto ou recipiente fechado, baseado nas características hidráulicas do sistema (METCALF & EDDY, 2003).

3.7.3 Princípios básicos de óptica e radiação ultravioleta

Visando a uma maior compreensão dos mecanismos e dos processos envolvidos na desinfecção de esgotos sanitários com radiação ultravioleta, algumas definições e conceitos básicos da física, aplicados à radiação UV, são apresentados a seguir (PROSAB, 2003):

Fonte de energia UV (S): é a energia (W) emitida em todas as direções por uma fonte.

Intensidade (I): pode ser definida como a energia total incidente em todas as direções em um elemento infinitesimal de área transversal dA , contendo o ponto considerado. Em unidades do sistema internacional SI, a unidade de intensidade é $W.m^{-2}$, entretanto, é comum o uso de $mW.cm^{-2}$ ($1 mW/cm^2 = 10 W/m^2$).

Dose UV (dose): é o principal parâmetro de projeto e controle operacional da desinfecção UV, sendo definida como o produto da intensidade de radiação I e do tempo de exposição t . Em unidades SI a dose é expressa em $J.m^{-2}$, entretanto, é mais comum o uso de $mW.s.cm^{-2}$, ou $mJ.cm^{-2}$ ($1 mJ/cm^2 = 1 mWs/cm^2 = 10 J/m^2$).

Absorbância e Lei de Beer-Lambert: a radiação UV não é transmitida em um meio com intensidade constante e equivalente àquela gerada na fonte. A partir da fonte ocorre um efeito de atenuação, devido à absorção da radiação originalmente emitida no próprio meio. Objetivando estimar a referida atenuação para efeito de projeto, é comum o emprego do termo coeficiente de absorbância (α) para corrigir a absorbância do meio, de acordo com a Equação a seguir:

$$\alpha = A \times \ln(10) = 2,303 A$$

em que,

α = coeficiente de absorbância;

A = absorbância a 254 nm (cm^{-1}).

A absorvância de uma radiação luminosa com determinado comprimento de onda através de um líquido pode ser quantificada por espectrofotometria, obtendo a absorvância de energia por unidade de profundidade. A relação entre absorvância e transmitância é mostrada na Equação a seguir :

$$T (\%) = 100 \times 10^{-A}$$

em que:

T = transmitância (%);

A = absorvância (cm⁻¹).

A variação da intensidade média efetiva de determinada radiação em um meio pode ser descrita pela Lei de Beer-Lambert :

$$I_{\text{médio}} = \frac{I_0}{\alpha \cdot L} (1 - e^{-\alpha L})$$

em que:

I₀ = intensidade UV aplicada no meio líquido;

L = caminho ótico (cm).

3.7.4 Lâmpadas de radiação ultravioleta (também denominadas de lâmpadas germicidas ou lâmpadas UV)

A radiação ultravioleta utilizada para a inativação de microrganismos, usualmente, é obtida por meio de lâmpadas especiais, chamadas comercialmente de lâmpadas germicidas. Isso significa que o método de desinfecção com radiação ultravioleta utiliza a energia elétrica a fim de gerar radiação para a eliminação, a inativação ou a inviabilização de microrganismos (DANIEL, 2001).

A grande maioria é composta por lâmpadas de vapor de mercúrio ionizado, de baixa e média pressão (por exemplo, tubular, tipo lâmpadas fluorescentes) e com diversos valores de potência. Estas lâmpadas consistem em um tubo de quartzo, preenchido com gás inerte, tais como argônio, e pequenas quantidades de mercúrio. O tubo de quartzo tem a finalidade de separar a água da superfície da lâmpada, de forma a manter a temperatura da lâmpada perto de 40 °C (DANIEL, 2001 e USEPA, 1999).

O bulbo da lâmpada é constituído de um vidro especial, quartzo, que permite a transmissão da radiação ultravioleta gerada pelo mercúrio mais a energia visível. Embora o tubo de Teflon seja uma alternativa o tubo de quartzo, o tubo de quartzo absorve apenas 5 % da radiação U.V., enquanto o tubo de teflon absorve 35 %. Por essa razão, o Teflon não é recomendado. A eficiência operacional das lâmpadas germicidas depende da temperatura do meio e da movimentação do ar. As lâmpadas de radiação ultravioleta operam da mesma forma que as lâmpadas fluorescentes: um fluxo de elétrons entre os eletrodos que ionizam os vapores de mercúrio. A diferença entre os dois tipos de lâmpadas é que o bulbo de lâmpadas fluorescentes é revestido com compostos fosforados, que convertem a radiação ultravioleta em luz visível. A lâmpada de radiação ultravioleta não é revestida por compostos fosforados. Nas lâmpadas germicidas convencionais, de baixa pressão de vapores de mercúrio, a intensidade da radiação ultravioleta está na faixa de 10 mWcm⁻² a 1.000 mWcm⁻². Já em lâmpadas de alta pressão a intensidade de emissão da radiação ultravioleta está na faixa de 100.000 a 1.000.000 mWcm⁻² (USEPA, 1999).

A eficiência operacional das lâmpadas germicidas depende da temperatura do meio e da movimentação do ar. As lâmpadas germicidas comerciais são desenvolvidas, geralmente, para trabalhar a 27°C. Ambas as lâmpadas de baixa e média pressão são disponíveis para aplicações de desinfecção. Lâmpadas de baixa pressão emitem sua máxima energia no comprimento de onda de 253,7 nm, enquanto que as lâmpadas de média pressão emitem energia na faixa de comprimento de onda de 180 a 1370 nm. A intensidade das lâmpadas de média pressão é muito maior do que as lâmpadas de baixa pressão. Desta maneira, menos lâmpadas de média pressão são exigidas para uma dosagem equivalente (USEPA, 1999).

Para sistemas pequenos, o sistema de média pressão pode consistir em apenas uma lâmpada. Embora ambos tipos de lâmpadas trabalhem bem igualmente para a inativação de organismos, as lâmpadas de baixa pressão são mais recomendadas para pequenos sistemas, devido à confiabilidade associada às múltiplas lâmpadas de baixa pressão (duas lâmpadas ou mais), ao contrário da única lâmpada de média pressão. Outro problema é a necessidade de limpeza da lâmpada; se o sistema de média pressão trabalha normalmente apenas com uma lâmpada, o tratamento de desinfecção deve ser interrompido para a operação de limpeza. Já num sistema de baixa pressão, onde são utilizadas diversas lâmpadas, a operação de limpeza não compromete o tratamento de desinfecção, já que enquanto uma ou mais lâmpadas são limpas, as demais continuam o processo de desinfecção. O projeto de instalação do sistema de desinfecção já prevê esta necessidade de rodízio e paradas para limpeza e manutenção. Ainda com relação à operação de limpeza de lâmpadas, a mesma pode ser manual ou automatizada. Tal escolha é função do número de lâmpadas, do tipo da instalação do sistema e do capital disponível (limitação de ordem financeira) (USEPA, 1999).

3.7.4.1 Princípio de funcionamento de uma lâmpada de vapor de mercúrio

A aplicação de voltagem através de um par de eletrodos lacrados dentro de um tubo de quartzo transmissor de U.V. que contém um pouco de vapor de mercúrio causa colisões entre os elétrons e os átomos de mercúrio. Isso leva à formação de íons livres de mercúrio e elétrons. À medida que estes se recombinam, uma corrente constante flui com os elétrons sendo acrescentados a um eletrodo e removidos de outro. Esse processo necessita de uma alta voltagem para iniciar, mas continua com uma voltagem mais baixa e é regulado, imitando a corrente que se permite passar através do tubo. À medida que a voltagem alternada da rede elétrica é aplicada, o processo se reverte cem vezes a cada segundo. Quando os elétrons livres estão sendo acelerados no interior do tubo, ocorrem muitas colisões com os átomos de vapor de mercúrio neutros. Isto se processa da seguinte forma (LOWW & REED, 2002):

- por meio de colisões elásticas que não afetam os átomos;
- retirando um elétron do átomo - ionização e;
- movendo um elétron para um nível mais alto de energia - excitação

Quando esses elétrons excitados retornam ao seu nível de energia normal, a energia que eles perdem é emitida como um fóton de um comprimento de onda característico para aquela transição particular. Do mesmo modo, elétrons que se recombinam com íons darão o mesmo efeito. Os comprimentos de onda característicos dos fótons emitidos pelos átomos de mercúrio ficam na extremidade de verde-azul-violeta do espectro visível e no ultravioleta. A linha do espectro produzida e sua intensidade pode ser modificada com pressões diferentes na lâmpada e com adição de traços de halóides metálicos, como iodeto de chumbo. Pode também ser filtrada pelo quartzo ou por um envelope de vidro especial (LOWW & REED, 2002).

A. Lâmpadas de U.V. de baixa pressão e baixa intensidade

As lâmpadas de baixa pressão e baixa intensidade geram essencialmente radiação monocromática em comprimento de onda de 254 nm, o qual está dentro da faixa de 255 a 265 nm de comprimento de onda, faixa esta considerada ser a mais efetiva para a inativação de microrganismos. (METCALF & EDDY, 2003).

As lâmpadas de argônio - mercúrio são usadas para gerar radiação no comprimento de onda da região UV-C. Normalmente as lâmpadas de U.V. de baixa pressão e baixa intensidade são pequenas e estreitas, com comprimento que varia de 0,75 a 1,5 metros e diâmetro variando de 15 a 20 milímetros. Estas lâmpadas operam com a temperatura na superfície da parede a 40 °C e pressão interna de 0,007 mm Hg (1 mm Hg = 133,322 N/m²) (METCALF & EDDY, 2003).

A potência nominal das lâmpadas de baixa pressão e baixa intensidade varia de 25 a 27 W para um consumo de 70 a 80 W de potência. Aproximadamente 85 a 88 % da irradiação da lâmpada é monocromática a 254 nm, sendo portanto, uma excelente opção para processos de desinfecção (METCALF & EDDY, 2003).

Os tubos de quartzo são usados para isolar as lâmpadas de U.V. do contato direto com a água e para controlar a temperatura da parede da lâmpada, protegendo a lâmpada de temperaturas extremas do efluente, os quais as lâmpadas são expostas mantendo, portanto, a irradiação da lâmpada razoavelmente uniforme (USEPA, 1999).

A produção do sistema de desinfecção por U.V. também decai com o tempo, devido à redução dos reservatórios de elétrons do interior da lâmpada de U.V., pela deterioração dos eletrodos e pelo envelhecimento do tubo de quartzo (METCALF & EDDY, 2003).

A vida útil da lâmpada de U.V. de baixa pressão e baixa intensidade varia de 9.000 a 13.000 horas, dependendo da forma de utilização. A vida útil do tubo de quartzo varia de 4 a 8 anos (METCALF & EDDY, 2003).

B. Lâmpadas de U.V. de baixa pressão e elevada intensidade

As lâmpadas de U.V. de baixa pressão e elevada intensidade são similares às lâmpadas de U.V. de baixa pressão e baixa intensidade, com exceção de que, ao invés da utilização de mercúrio, utiliza-se um amálgama de mercúrio e índio. As lâmpadas de U.V. de baixa pressão e elevada intensidade operam com descargas de corrente mais elevadas e pressões entre 0,001 e 0,01 mmHg. O uso do amálgama de mercúrio permite uma produção maior de irradiação na faixa do UV C, normalmente de 2 a 4 vezes se comparado à irradiação das convencionais lâmpadas de U.V. de baixa intensidade (METCALF & EDDY, 2003).

O amálgama da lâmpada de baixa pressão e elevada intensidade é usado para manter um constante nível dos átomos de mercúrio e provém uma maior estabilidade acerca da ampla faixa de temperatura, além de aumentar a vida útil da lâmpada (25 % à mais do que a lâmpada de baixa pressão e baixa intensidade) (METCALF & EDDY, 2003).

Deve-se revisar continuamente os catálogos dos fabricantes de lâmpadas de baixa pressão e elevada intensidade, pois novas tecnologias vem sendo desenvolvidas continuamente.

C. Lâmpadas de U.V. de média pressão e elevada intensidade

As lâmpadas de U.V. de média pressão e elevada intensidade vêm sendo desenvolvidas a partir da última década de 1990. As lâmpadas de U.V. de média pressão e elevada intensidade, as quais operam a temperatura de 600 a 800 °C e pressões de 10^2 a 10^4 mmHg, geram radiação policromática (verificar figura 12-32 C). Cerca de 27 a 44 % da irradiação total da lâmpada de U.V. de média pressão e elevada intensidade está na faixa de comprimento de onda de UV C. Apenas 7 a 15 % da produção está próxima de 254 nm. Entretanto, a lâmpada de U.V. de média pressão e elevada intensidade gera aproximadamente 50 a 100 vezes a produção total de UV C, se comparado às lâmpadas convencionais de U.V. de baixa pressão e baixa intensidade. Seu uso é limitado principalmente a fluxos de esgotos bastante elevados, inundações provenientes de fortes tempestades ou em locais onde a restrição de espaço é bastante grande, uma vez que o sistema necessita de poucas lâmpadas e a área ocupada pelo sistema é bastante reduzida (por exemplo, o tempo de contato é reduzido) (METCALF & EDDY, 2003).

As Informações comparativas das características operacionais das lâmpadas de U.V. são apresentadas na tabela 3.32 (METCALF & EDDY, 2003).

Tabela 3.32: Informações comparativas das características operacionais das lâmpadas de U.V. Fonte: METCALF & EDDY.

Item	Unidade	Lâmpada de baixa pressão e baixa intensidade	Lâmpada de baixa pressão e elevada intensidade	Lâmpada de média pressão e elevada intensidade
Consumo	W kW	70 - 100	200 - 500 1.2 a	2 - 5
Corrente	mA	350 - 550	Variável	Variável
Voltagem	V	220	Variável	Variável
Eficiência	%	30 - 40	25 - 35	10 - 12 b
Potência nominal a 254 nm	W	25 - 27	60 - 400	
Temperatura	°C	35 - 45	90 - 150	600 - 800
Pressão	mmHg	0,007	0,001 - 0,01	
Comprimento da lâmpada	m	0,75 - 1,5	Variável	Variável
Diâmetro da lâmpada	mm	15 - 20	Variável	Variável

a - Potência nominal da lâmpada muito elevada

b - Irradiação na faixa germicida (~ 250 - 260 μ m)

3.7.5 Componentes e configurações de sistemas de desinfecção por meio de radiação ultravioleta

Os principais componentes de um sistema de desinfecção consistem em: (1) lâmpadas U.V., (2) tubos de quartzo; (3) estrutura de suporte das lâmpadas e tubo de quartzo; (4) reatores utilizados para suprir a energia para as lâmpadas de U.V. e, (5) o suprimento de energia que é utilizado para acionar (ligar e desligar) os reatores. Os reatores são usados para limitar a corrente que chega à lâmpada (atua como um estabilizador / limitador da corrente) (METCALF & EDDY, 2003).

Reatores de acionamento das lâmpadas fluorescentes

Os reatores de acionamento das lâmpadas fluorescentes de ultravioleta são transformadores que controlam a potência das lâmpadas ultravioleta. Eles deveriam operar a temperatura abaixo de 60 °C para prevenir que o equipamento quebre prematuramente.

Sem o reator para regular a corrente de entrada das lâmpadas, limitando a corrente, as lâmpadas seriam danificadas e até destruídas. Normalmente, os reatores das lâmpadas geram calor suficiente para exigir a necessidade de resfriamento (por meio de ventoinha, ventiladores ou ar condicionado). Dois tipos de reatores de lâmpadas são utilizados: eletrônico e eletromagnético. O reator de lâmpadas eletrônico opera com frequências muito mais elevadas do que o reator eletromagnético, resultando em temperaturas de operação das lâmpadas mais baixas, menor uso de energia, menos produção de calor e, aumento da vida útil do reator das lâmpadas (USEPA, 1999).

A figura 3.13 mostra os reatores utilizados para acionar as lâmpadas fluorescentes de radiação ultravioleta.



Figura 3.13: Reatores de acionamento das lâmpadas U.V.

A figura 3.14 mostra os reatores de acionamento das lâmpadas de radiação U.V. usados na parte experimental com reator piloto em bateladas (esquerda) e reator piloto de fluxo contínuo (direita)

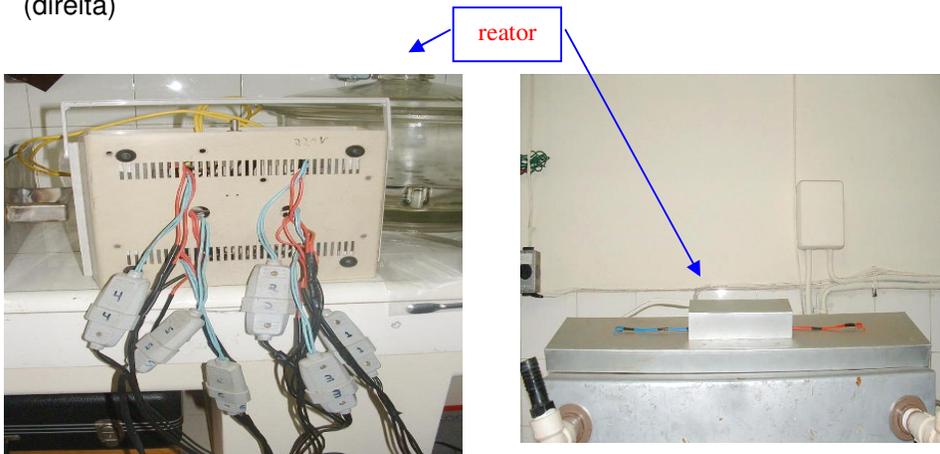


Figura 3.14: Reatores de acionamento das lâmpadas de radiação U.V. usadas na parte experimental com reator piloto operando em bateladas (esquerda) e reator piloto de fluxo contínuo (direita).

3.7.6 Classificação de sistemas de desinfecção U.V. em função das características hidráulicas do sistema: aberto (conhecido como open channel) e fechado (conhecido como closed vessel)

Além do tipo da lâmpada utilizada, o sistema de U.V. para desinfecção de esgotos pode ser classificada de acordo com o fluxo, se aberto ou fechado (METCALF & EDDY, 2003).

Quando o sistema de desinfecção é aberto, chama-se canal aberto (em inglês, open channel). Quando o sistema de desinfecção é fechado, chama-se recipiente fechado (em inglês, closed vessel). Em geral, para sistemas de tratamento de água para consumo humano, o sistema fechado é o mais utilizado, em função do vários aspectos, tais como menor área de cobertura, minimização da emissão de poluentes, minimização da exposição ocupacional à radiação U.V. e, simplificação do projeto de instalação do sistema (USEPA, 1999).

Um sistema de desinfecção U.V. deve incluir:

- Sensor para detectar variações da intensidade de potência das lâmpadas U.V.;
- Sistemas de alarme e desligamento;
- Ciclo de limpeza manual ou automático e;
- Sistemas de telemetria para instalações remotas (telemetria é uma técnica de obtenção, processamento e transmissão de dados à distância).

3.7.6.1 Sistemas de desinfecção U.V em canal aberto (open channel)

Os principais componentes do sistema de radiação ultravioleta de canal aberto (tanto para lâmpadas de baixa pressão e baixa intensidade quanto para lâmpadas de baixa pressão e elevada intensidade) são usados para a desinfecção de esgotos e estão ilustrados nas figuras seguintes. Pode-se observar a disposição das lâmpadas: estas podem estar posicionadas na horizontal, paralelo ao fluxo (figura 3.15 a) ou posicionadas na vertical, perpendicular ao fluxo (figura 3.15 b) (METCALF & EDDY, 2003).

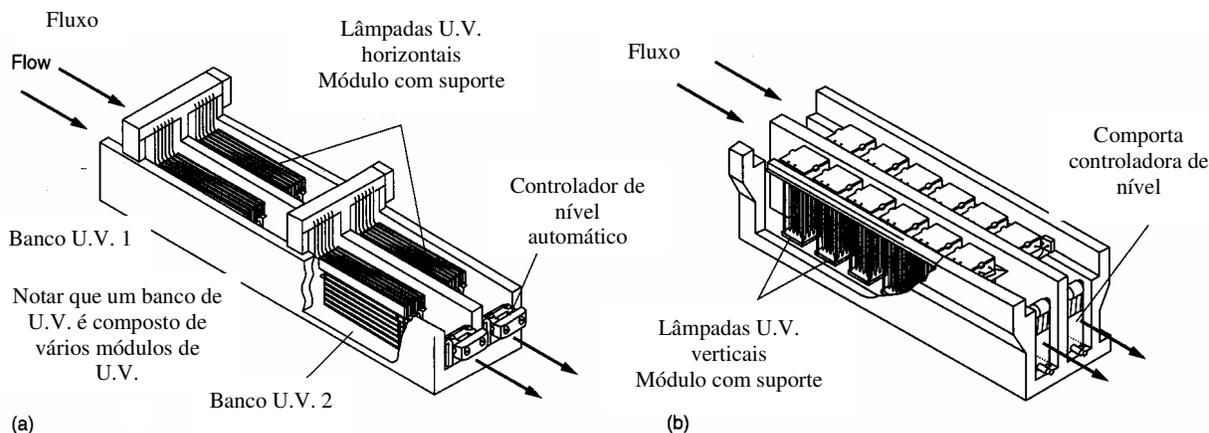


Figura 3.15: Visão do corte isométrico de um típico sistema de desinfecção de U.V. de canal aberto com grade de cobertura removível: (a) sistema de lâmpadas horizontal, paralelo ao fluxo e (b) sistema de lâmpadas vertical, perpendicular ao fluxo.

Fonte: METCALF & EDDY, 2003.

Exemplos de sistemas de desinfecção com U.V. utilizando lâmpadas de baixa pressão e baixa intensidade são mostradas nas figuras 3.18 e 3.19. O fluxo de esgoto normalmente é dividido igualmente entre os canais abertos (METCALF & EDDY, 2003).

Em geral, cada canal contém dois ou mais bancos de lâmpadas de U.V. em série e cada banco é composto de um número específico de módulos de lâmpadas de U.V. É importante notar que um banco reserva (standby) ou canal deveria ser provido de um sistema de confiabilidade. Cada módulo contém um específico número de lâmpadas U.V. protegidas pelo tubo de quartzo. O número de lâmpadas U.V. por módulo é 2, 4, 8, 12 e 16. O espaçamento de 75 mm entre o centro das lâmpadas U.V. costuma ser o mais usado pelos fabricantes de tais sistemas de desinfecção.

Uma comporta especial ou um controlador de nível automático são usados para controlar a profundidade do fluxo em cada canal de desinfecção. Para superar o efeito do acúmulo de lodo nas lâmpadas U.V., o qual provoca redução da intensidade da luz no efluente a ser tratado, as lâmpadas devem ser removidas de vez em quando do canal e limpas. Sistemas mecânicos de limpeza são usados em sistemas de desinfecção com lâmpadas de baixa pressão e elevada intensidade para evitar o acúmulo de lodo dos tubos de quartzo (METCALF & EDDY, 2003).

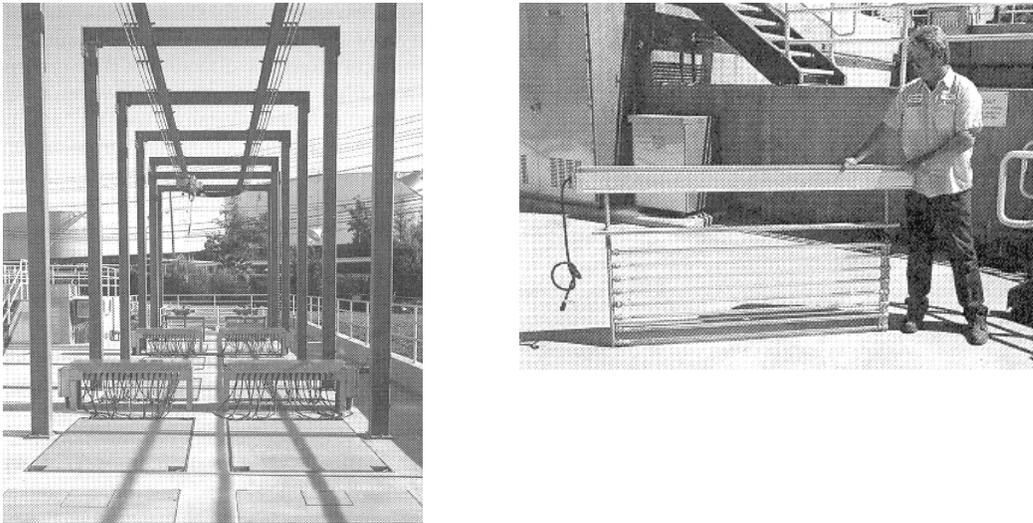


Figura 3.16: Exemplo típico de um sistema de desinfecção com radiação U.V. de canal aberto com as lâmpadas dispostas na horizontal. A foto (a) mostra dois canais de sistemas de desinfecção de U.V. com 4 bancos por canal. Acima do canal, está instalado um guindaste que tem por finalidade a remoção de módulos de lâmpadas. A foto (b) mostra um típico módulo de lâmpada, contendo 8 lâmpadas. Fonte: METCALF & EDDY, 2003.

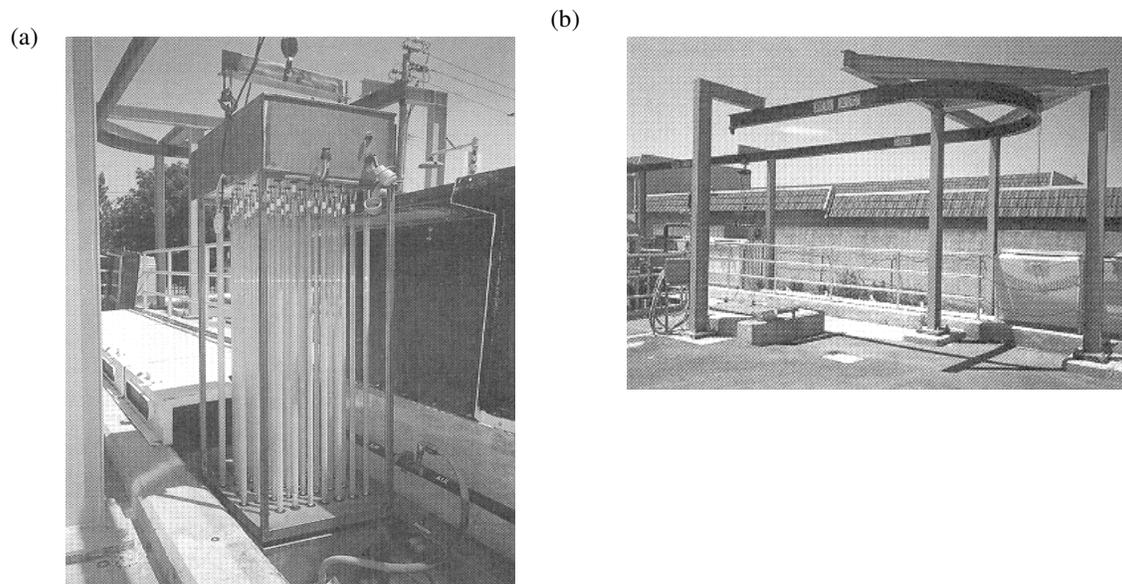


Figura 3.17: Exemplo típico de um sistema de desinfecção com radiação U.V. de canal aberto com as lâmpadas dispostas na vertical. A foto (a) mostra um sistema de desinfecção de canal único composto de 7 (sete) bancos de U.V. por canal, com um dos bancos removíveis para limpeza. A foto (b) mostra um guindaste que tem por finalidade remover os módulos de lâmpadas para limpeza. Fonte: METCALF & EDDY, 2003.

3.7.6.2 Sistemas de desinfecção em recipiente fechado (closed vessel)

Um grande número de sistemas de desinfecção U.V. de baixa e média pressão e elevada intensidade são projetados para operar em recipiente fechado. Na maior parte das configurações dos projetos, a direção do fluxo é perpendicular à disposição das lâmpadas, como mostrado na figura 3.18.

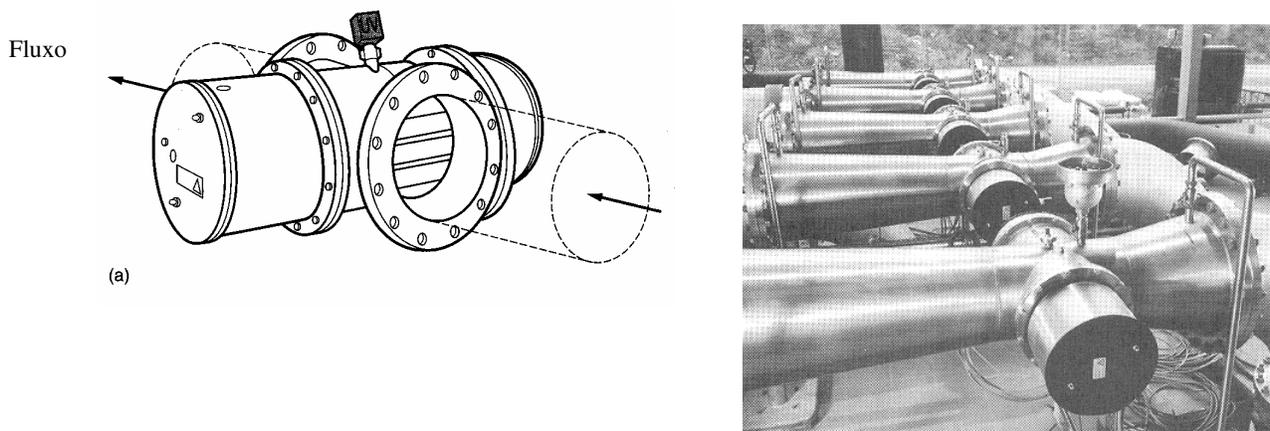


Figura 3.18: Exemplo típico de um sistema de desinfecção U.V. em recipiente fechado com as lâmpadas dispostas perpendicularmente ao fluxo. A figura (a) mostra o corte isométrico do reator de desinfecção. A foto (b) mostra o reator de desinfecção de sistema fechado. Fonte: METCALF & EDDY, 2003

Existem, entretanto, configurações de projeto os quais a direção do fluxo é paralela às lâmpadas, como mostra a figura 3.19.

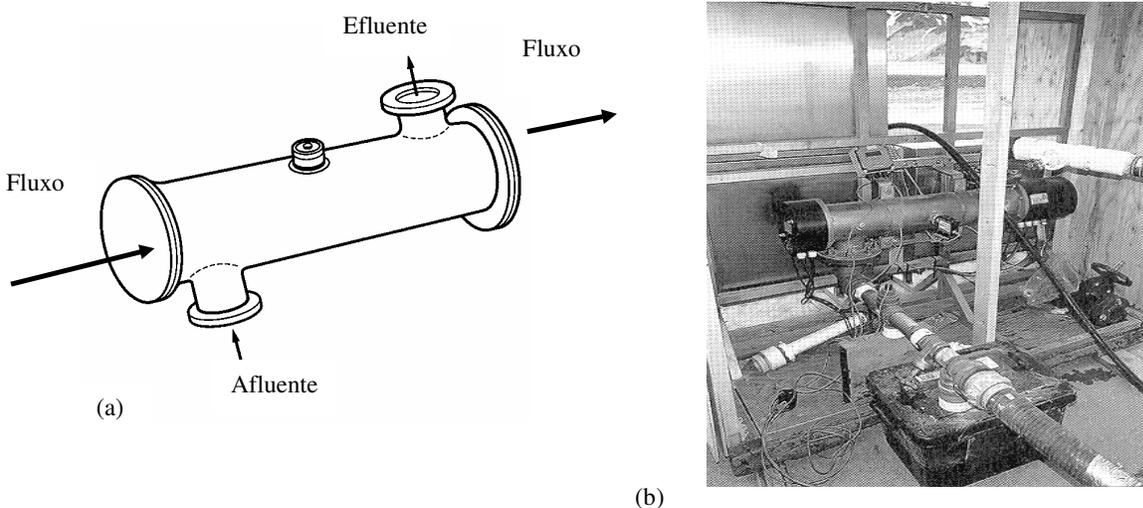


Figura 3.19: Exemplo típico de um sistema de desinfecção U.V. em recipiente fechado com uma ou mais lâmpadas dispostas paralelamente ao fluxo. A figura (a) mostra o corte isométrico do reator de desinfecção. A foto (b) mostra um reator em tamanho natural utilizado em um programa de teste piloto. Fonte: METCALF & EDDY, 2003.

Hidráulica do sistema U.V. de recipientes fechados

Os maiores elementos que deveriam ser considerados em um projeto hidráulico em um reator de recipiente fechado são: dispersão, turbulência, volume efetivo, tempo de residência e velocidade do fluxo (USEPA, 1996).

Dispersão:

Dispersão é a característica pela qual os elementos aquáticos tem de dispersar-se em relação ao espaço. O reator ideal U.V. é o plug flow, onde as partículas líquidas são escoadas do reator na mesma sequência em que entraram e cada elemento da água atravessa o reator no mesmo período de tempo. Um ideal reator plug flow não dispersa e assemelha-se a um longo tanque com elevado comprimento em relação à largura, no qual a dispersão é mínima (USEPA, 1999).

Turbulência:

Além das características do plug flow, o reator ideal de U.V. deve ter um fluxo turbulento radialmente à partir da direção do fluxo, para eliminar zonas mortas. Essa turbulência radial do fluxo padronizada promove a aplicação uniforme da radiação ultravioleta. O fato de não haver o fluxo turbulento e radial pode ocasionar na interrupção das características do plug flow, influenciando nos resultados de dispersões axiais (USEPA, 1999).

Técnicas, tais como o desalinhamento da entrada e saída, e utilizando uma chapa delicadamente perfurada, vem sendo utilizadas para ajustar as contraditórias características do plug flow e turbulência (USEPA, 1999).

3.7.7 Mecanismos de Inativação da radiação ultravioleta

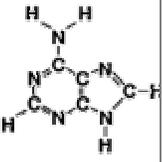
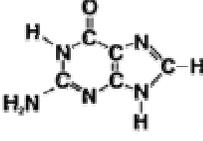
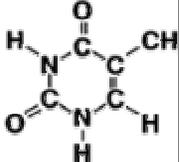
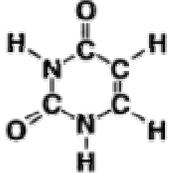
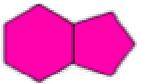
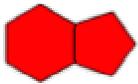
Ao contrário da maioria dos agentes desinfetantes utilizados na desinfecção de esgotos, a radiação ultravioleta não inativa os microrganismos por meio de interação (reação) química. A inativação dos microrganismos é causada pela absorção dessa luz de alta energia, que promove reações fotoquímicas com os componentes fundamentais das células, prejudicando seu funcionamento normal, por exemplo, interrompendo o mecanismo de duplicação celular ou até provocando a morte da célula (DANIEL, 2001).

Para entender o mecanismo de inativação por meio da radiação ultravioleta, é preciso conhecer os componentes fundamentais das células, em especial os ácidos nucleicos.

3.7.7.1 Os ácidos nucleicos DNA e RNA

O DNA é um polímero de ácido nucleico, constituído por uma seqüência de quatro bases nitrogenadas (adenina - A, citosina - C, guanina - G e timina - T) que constituem o código genético. Adenina e guanina são classificadas como purinas, pois elas são moléculas compostas por dois anéis. Citosina e timina são classificadas como pirimidinas, pois elas são moléculas formadas por um único anel. Diagramas estruturais das quatro bases são mostrados na tabela 3.33. (<http://www.biologianaweb.com/Livro2/C1/acidnuc.html>, 2003).

Tabela 3.33: Diagramas estruturais das quatro bases nitrogenadas

Nome do nucleotídeo	Adenina	Guanina	Timina	Citosina
Base	Adenina (A)	Guanina (G)	Timina (T)	Citosina (C)
Purina/ Pirimidina	Purina	Purina	Pirimidina	Pirimidina
Estrutura Química				
Representação Simplificada				

* C = Carbono, N = Nitrogênio, O = Oxigênio.

Essas bases formam as chamadas bases emparelhadas (por exemplo, adenina com timina e citosina com guanina), ligadas por pontes de hidrogênio. São essas ligações que fazem com que as duas fitas do DNA permaneçam ligadas, dando origem à estrutura conhecida como dupla hélice (PROSAB, 2003).

Uma purina se liga a uma pirimidina no DNA para formar um par de base. Adenina e timina ligam-se uma à outra para formar um par de base A-T. Igualmente, guanina e citosina ligam-se uma à outra para formar um par de base G-C. As bases permanecem unidas por fracas pontes de hidrogênio, e são estas pontes de hidrogênio as responsáveis pela manutenção da estrutura de dupla hélice do DNA (<http://www.biologianaweb.com/Livro2/C1/acidnuc.html>, 2003).

A figura 3.20 mostra as ligações Timina – Adenina e Citosina- Guanina.

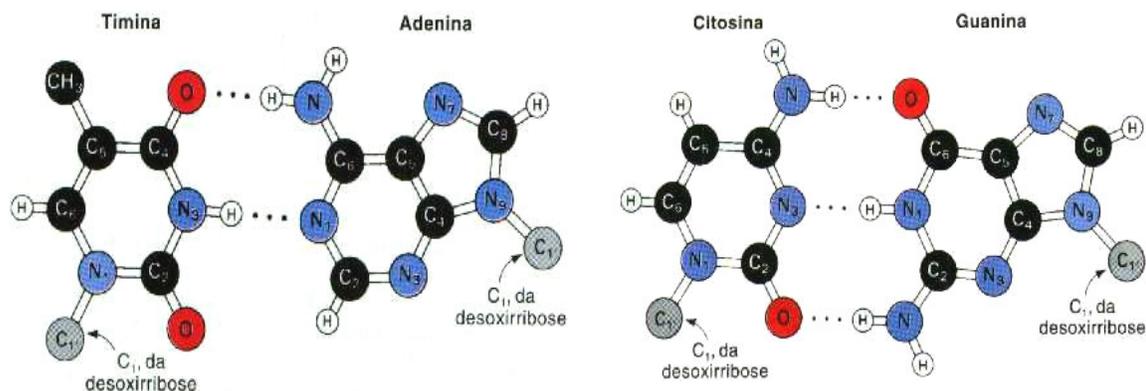


Figura 3.20: Ligações Timina – Adenina e Citosina - Guanina

Ao invés de sempre ver um diagrama molecular enorme de uma fita de DNA, o que vemos freqüentemente é uma seqüência de letras, tais como " ATCTTAG ". Esta seqüência representa que bases estão em um determinado lado de uma fita de DNA. A seqüência acima (ATCTTAG) representa a fita: adenina - timina - citosina - timina - timina - adenina - guanina."

O DNA tem duas fitas. Os nucleotídeos que estão em uma fita, correspondem à seqüência dos nucleotídeos da outra fita devido à maneira como ocorre o emparelhamento das bases (A com T, G com C). As duas fitas são complementares. Elas não são idênticas, mas se complementam perfeitamente. Além disso, deve-se notar que as duas fitas são antiparalelas. Isso significa que correm em sentidos opostos. A figura 3.21 mostra a forma de dupla-hélice do DNA. As duas fitas são claramente visíveis, uma azul e a outra verde.

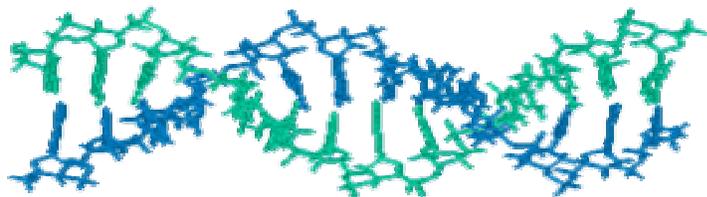


Figura 3.21: Forma de dupla hélice do DNA.

Fonte: <http://www.biologianaweb.com/Livro2/C1/acidnuc.html>, 2003.

3.7.7.2 A ação da radiação ultravioleta sobre os ácidos nucléicos

A radiação ultravioleta penetra na parede celular dos microrganismos e é absorvida pelos ácidos nucléicos, promovendo reações fotoquímicas nos ácidos nucléicos, o que prejudica no seu funcionamento normal, por exemplo, interrompendo o mecanismo de duplicação celular ou até provocando a morte da célula. A radiação penetra na parede celular dos microrganismos e é absorvida pelos ácidos nucléicos, como pode ser visto nas figuras 3.22 e 3.23 (METCALF & EDDY, 2003):

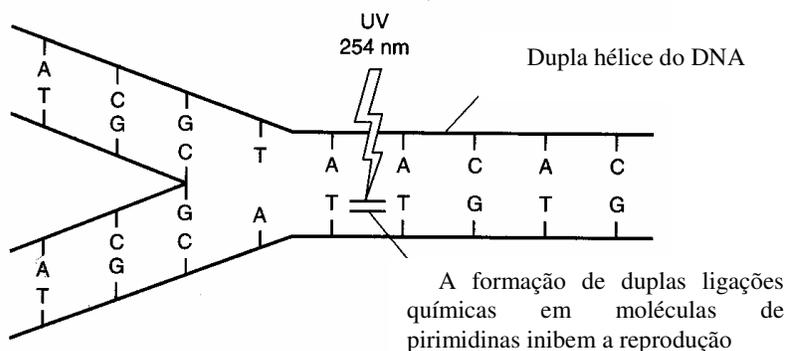


Figura 3.22: Formação de dupla ligação química em microrganismos expostos à radiação ultravioleta. Fonte: METCALF & EDDY, 2003.

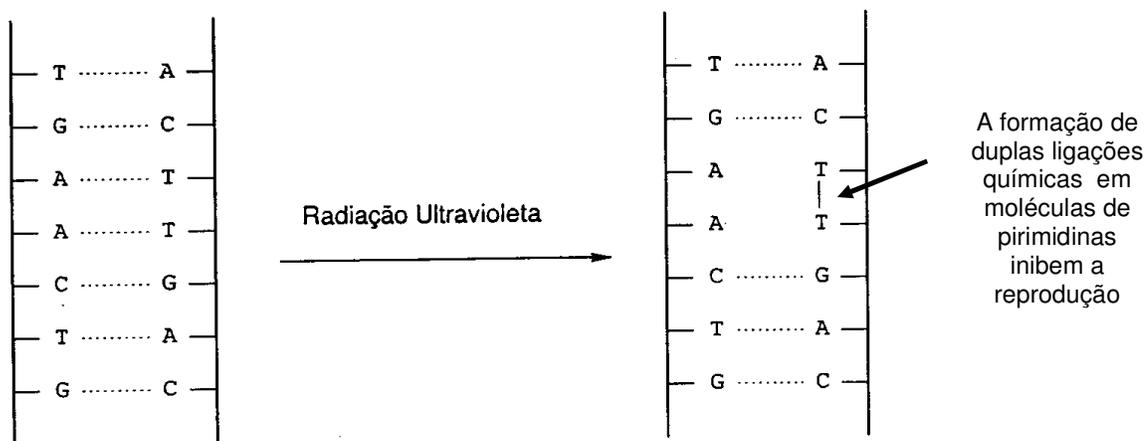


Figura 3.23: Representação de uma lesão nas bases Adenosina e Timina no DNA, provocada pela ação da radiação ultravioleta. Fonte: PELCZAR et al., 1980.

O mecanismo de desinfecção por radiação U.V. ocorre devido à absorção da radiação pelas proteínas e pelos ácidos nucléicos RNA e DNA. A absorção de altas doses de U.V. pelas proteínas presentes nas membranas celulares leva ao rompimento dessas membranas e, conseqüentemente, à morte da célula. Porém, a absorção de pequenas doses de radiação ultravioleta pelo DNA pode apenas interromper a habilidade do microrganismo de se reproduzir, impedindo-o de contaminar o meio (DANIEL, 2001).

Os efeitos germicidas da radiação ultravioleta estão associados a reações fotoquímicas que ocorrem no DNA e RNA dos microrganismos. Os ácidos nucléicos dos microrganismos são os que mais absorvem a energia luminosa no comprimento de onda de 240 a 280 nm. O DNA e o RNA carregam a informação genética necessária para a reprodução. Portanto, danificar uma destas substâncias pode efetivamente esterilizar o microrganismo (USEPA, 1999).

Os raios ultravioletas são rapidamente absorvidos por algumas moléculas presentes no DNA, como as purinas e as pirimidinas, que se tornam mais reativas. A absorção máxima de UV pelo DNA ocorre em 260 nm, sugerindo que a inativação pela radiação é mediada pela absorção direta de purinas e pirimidinas pelas moléculas, levando à formação de dímeros e hidratos (DANIEL, 2001).

A absorção de radiação ultravioleta por bases nitrogenadas adjacentes pode resultar na formação de dímeros, como citosina-citosina, adenina-adenina e timina-timina. A timina, por ter a estrutura mais simples das bases nitrogenadas, é a que apresenta maior formação de dímeros, os quais mudam a estrutura do DNA impedindo a reprodução do microrganismo (DANIEL, 2001). A figura 3.24 mostra a dimerização fotoquímica de duas bases de timina.

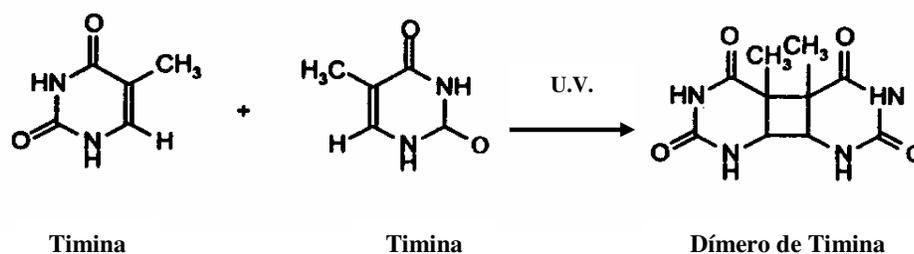


Figura 3.24: Mecanismo fundamental da desinfecção U.V.: Dimerização fotoquímica de duas bases de Timina (DANIEL, 2001)

A replicação do ácido nucléico fica muito dificultada a partir do momento em que moléculas de pirimidina são ligadas umas às outras, devido à distorção da estrutura da hélice do DNA, provocada pela radiação ultravioleta. Mesmo se a replicação da célula danificada ocorrer, células mutantes serão replicadas, o que aumenta a quantidade de células danificadas, as quais são incapazes de se reproduzir. (USEPA, 1999).

A resistência à inativação dos diferentes organismos patogênicos por radiações UV varia de acordo com a espécie, sendo este um dos principais parâmetros de dimensionamento dos reatores UV para desinfecção. A Tabela 3.35 apresenta uma compilação das doses de UV para inativação de diversos organismos (patogênicos ou não aos seres humanos). De modo geral, bactérias e vírus são muito sensíveis à radiação UV, bastando doses efetivas da ordem de 20 mWs/cm² para inativar a maioria das espécies (PROSAB, 2003).

Entretanto, o mesmo não pode ser dito de protozoários e helmintos, dotados de proteções naturais que permitem sua sobrevivência em ambientes adversos. As formas encistadas dos protozoários e os ovos de helmintos são muito resistentes à radiações UV, exigindo doses extremamente elevadas e, na maioria dos casos, antieconômicas, para resultar em eficiente inativação. Portanto, esses organismos devem ser retidos ou eliminados nas etapas do tratamento que precedem a desinfecção UV, o que, em função das consideráveis proporções, geralmente ocorre por sedimentação ou filtração (PROSAB, 2003).

Tabela 3.34: Doses de radiação UV para a inativação de bactérias, vírus, algas, protozoários, helmintos e leveduras. Fonte: PROSAB, 2003.

Bactéria	Dose UV (mWs/cm ²)	Vírus	Dose UV (mWs/cm ²)
<i>Agrobacterium lumenfaciens</i>	8,5	Adenovírus Tipo III 3	4,5
<i>Bacillus anthracis</i>	8,7	Bacteriófagos	6,6
<i>Bacillus anthracis</i> (esporos de Antrax)	46,2	Coxsackie	6,3
<i>Bacillus paratyphosus</i>	6,1	Hepatite A*	3,7
<i>Bacillus subtilis</i>	11	Hepatite infecciosa	8
<i>Clostridium tetani</i>	23,1	Influenza	6,6
<i>Corynebacterium diphtheriae</i>	6,5	Mosaico do tabaco	440
<i>Dysentery bacilli</i>	4,2	Poliovírus*	7,5
<i>Eberthella typhosa</i>	4,1	Rotavírus	24
<i>Escherichia coli</i>	6,6	Rotavírus SA – 11*	9,9
Espécies de <i>Salmonella</i>	15,2		
Esporos de <i>Bacillus subtilis</i>	22	Protozoários e helmintos	
<i>Legionella bozemanii</i>	3,5	Cistos de <i>Giardia lamblia</i>	100
<i>Legionella pneumophila</i> (doença dos legionários)	12,3	<i>E. histolytica</i>	84
<i>Leptospira interrogans</i>	6	Ovos de nematodos	40
<i>Micrococcus candidus</i>	12,3		
<i>Mycobacterium tuberculosis</i>	10	Algas	
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> (cepas ambientais)	10,5	<i>Chlorella vulgaris</i>	22,0
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> (cepas laboratoriais)	3,9	Alga azul-verde	420
<i>Salmonella enteritidis</i>	7,6		
<i>Salmonella paratyphi</i> (febre entérica)	6,1	Fungos	
<i>Salmonella typhi</i> (febre tifóide)	7	<i>Aspergillus amstelodami</i>	77
<i>Salmonella typhimurium</i>	15,2	<i>Aspergillus glaucus</i>	88
<i>Sarcina lutea</i>	26,4	<i>Aspergillus niger</i>	330
<i>Shigella dysenteriae</i> – disenteria	4,2	<i>Penicillium digitatum</i>	88
<i>Shigella flexneri</i> – disenteria	3,4	<i>Penicillium expansum</i>	22
<i>Shigella paradysenteriae</i>	3,4	<i>Rhizopus nigricans</i>	220
<i>Staphylococcus aureus</i>	6,6		
<i>Staphylococcus epidermidis</i>	5,8	Leveduras	
<i>Streptococcus faecaila</i>	10	Levedura do pão	8,8
<i>Streptococcus hemolyticus</i>	5,5	Levedura de cerveja	6,6
<i>Vibrio cholerae</i>	6,5	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	13,2
<i>Vibrio comma</i> (cólera)	6,5	<i>Saccharomyces ellipsoideus</i>	13,2

3.7.7.3 Fotorreativação

Dois fenômenos são extremamente importantes quando se utiliza a radiação ultravioleta como agente desinfetante; o mecanismo da reparação no escuro e a capacidade que certos organismos tem de fotorreativar quando expostos a luz de certos comprimentos de onda. A fotorreativação foi descoberta por Kelner e Dulbecco em 1.949 (PELCZAR, 1980). Sob certas condições, alguns organismos são capazes de recuperar o dano no DNA e reverter seu estado ativo de reprodução, na qual esta se torna possível novamente. Normalmente, a fotorreativação ocorre como consequência de efeitos catalisadores da luz do Sol em comprimento de onda visível, fora da faixa efetiva de desinfecção (240 a 280 nm). (USEPA, 1999).

A extensão da fotorreativação varia entre os microrganismos, de acordo com sua estrutura biológica e a extensão da lesão sofrida. A recuperação depende sobretudo da dose inicial de radiação ultravioleta aplicada, da dose fotorreativante e das características biológicas da espécie irradiada (WEF, 1996 e USEPA, 1999).

Organismos indicadores de coliformes e algumas bactérias patogênicas, tais como *shigella*, tem apresentado o mecanismo da fotorreativação; entretanto os vírus (como exceção quando estes infectam uma célula hospedeira que seja auto fotorreativa) e outros tipos de bactérias não podem fotorreativar (USEPA 1980 e 1986).

A influência da reabilitação microbiana na fração de bactérias *Escherichia coli* e *Streptococcus faecalis* sobreviventes pode ser observada na tabela 3.35 (WEF, 1996).

Tabela 3.35: Influência da fotorreativação na taxa de sobrevivência microbiana.

Fonte WEF, 1996.

	Dose ($\mu W.s/cm^2$)	Fotorreativação ($\log N/N_0$)	
		Ausente	Presente
<i>E. coli</i>	2,5	-1,01	-0,22
	5,0	-4,00	-0,53
	7,5	-4,64	-1,29
	10,0	-5,26	-3,18
	15,0	-5,98	-3,24
<i>S. faecalis</i>	2,5	-0,17	-0,21
	5,0	-0,80	-0,47
	7,5	-2,68	-1,33
	10,0	-4,26	-1,82
	15,0	-5,41	-3,04

Uma vez que o dano do DNA tende a se tornar irreversível com o tempo, existe um período crítico durante o qual a fotorreativação pode ocorrer. Para minimizar o efeito da fotorreativação, a câmara de contato de radiação ultravioleta deveria ser projetada para também resguardar o fluxo do efluente ou limitar a exposição de efluente contaminado a luz do sol imediatamente após a desinfecção com radiação ultravioleta. (USEPA, 1999).

3.7.8 Efetividade germicida da radiação ultravioleta

A efetividade do processo de desinfecção com radiação ultravioleta depende de diversas variáveis, tais como: a) a definição da Dose U.V., b) características do sistema de desinfecção por ultravioleta, c) sistema hidráulico irregular, d) impacto das partículas, e) as características dos microrganismos e, f) as características químicas do esgoto (METCALF & EDDY, 2003).

a) Definição da Dose U.V.

A efetividade do processo de desinfecção com radiação ultravioleta é baseada na Dose U.V., à qual os microrganismos são expostos. A Dose U.V. é definida como:

$$D = I \times t$$

Onde,

$$D = \text{Dose U.V.}, \text{ mJ/cm}^2 \text{ (mJ/cm}^2 = \text{mW.s/cm}^2)$$

$$I = \text{Intensidade U.V.}, \text{ mW/cm}^2$$

$$t = \text{tempo de exposição, s}$$

O termo da dose U.V. é análogo ao termo da dose usada para a desinfecção com cloro (C,t). Em função da equação $D = I \times t$, a dose U.V. pode ser variada mudando-se a intensidade (I) ou o tempo de exposição (t). Em função da intensidade U.V. ser atenuada de acordo com a distância, devido ao tubo de quartzo (modelo utilizado pela Lei de Beer), o cálculo da intensidade de um sistema de desinfecção U.V. geralmente é calculado matematicamente. O uso de modelos matemáticos para sistemas de desinfecção com radiação U.V. ainda não foi satisfatoriamente comprovado, em função de muitas variáveis que podem afetar o desempenho do sistema (METCALF & EDDY, 2003).

b) Impacto das características do sistema

Problemas com a aplicação da equação $D = I \times t$ para o uso no projeto de reatores de desinfecção U.V. estão associados a: (1) conhecimento inexato da intensidade U.V. e (2) o tempo de exposição associado a todos os patógenos que morrem devido ao sistema U.V. (METCALF & EDDY, 2003).

Na prática, reatores de desinfecção U.V. em escala de campo possuem resultados de distribuição da dose em função do perfil da intensidade interna e da distribuição do tempo de exposição. O perfil de intensidade interno se deve em função do reflexo das lâmpadas U.V. dispostas de forma não homogênea no interior do reator, carência de mistura radial ideal dentro do sistema, do efeito da absorção / dispersão dos materiais particulados e, da absorvância do meio líquido. A distribuição associada ao tempo de exposição é o reflexo do sistema hidráulico não ideal que conduz a uma mistura longitudinal. (METCALF & EDDY, 2003).

c) Configuração hidráulica irregular (entrada e saída do canal mal projetada)

Um dos mais sérios problemas encontrados em um sistema de desinfecção com radiação ultravioleta em canal aberto é conseguir projetar o sistema de forma que a velocidade do fluxo seja uniforme na entrada e saída do canal. (METCALF & EDDY, 2003).

d) Impacto das partículas

A presença de partículas no esgoto também afeta a distribuição da intensidade de luz U.V. aplicada, à qual deveria atingir os microrganismos. Muitos microrganismos de interesse no esgoto sanitário (por exemplo, bactérias coliformes) estão presentes de forma dispersa (não ligadas a outros objetos ou microrganismos) ou associadas a outras partículas (por exemplo, ligadas a outras bactérias ou fragmentos celulares). Bactérias coliformes tem uma importância particular no esgoto sanitário, pois são usados como indicadores da presença de outros microrganismos patogênicos e sua inativação é adotada para correlacionar a inativação de outros microrganismos patogênicos. Bactérias coliformes, quando dispersas no esgoto sanitário, são prontamente inativadas, pois são totalmente expostas à luz ultravioleta. (METCALF & EDDY, 2003).

Em vários processos de tratamento de esgoto sanitário utilizando radiação ultravioleta foram relacionados problemas na desinfecção, muitos dos quais resultados da influência de partículas associadas aos microrganismos. De fato, as bactérias coliformes podem se associar a outras partículas, gradualmente, até que estejam completamente protegidas (ou escondidas) da luz ultravioleta. Uma partícula de tamanho extremamente pequeno (da ordem de 10 μm) já é capaz de proteger as bactérias coliformes da luz ultravioleta. Pode-se considerar que as partículas presentes nos esgotos sanitários devem ter um tamanho mínimo, chamado de tamanho crítico, da qual interferem no processo de desinfecção por meio da radiação ultravioleta. Partículas menores que o tamanho crítico são, portanto, incapazes de reduzir a intensidade de luz ultravioleta aplicada ao esgoto e também de agregar os microrganismos. Estas são inativadas de forma similar aos microrganismos dispersos. Já as partículas maiores que o tamanho crítico podem proteger as bactérias coliformes da luz ultravioleta e agregá-las. Embora seja importante, o tamanho da partícula não é considerado determinante, uma vez que o tamanho crítico muitas vezes é excedido por que as bactérias coliformes se localizam no interior das partículas de forma ocasional, não se instalando nas regiões mais profundas das partículas (METCALF & EDDY, 2003).

e) Características dos microrganismos

A efetividade do processo de desinfecção com radiação ultravioleta depende das características dos microrganismos. A relativa efetividade da radiação ultravioleta para a desinfecção de vários microrganismos está relacionada na tabela 3.36. Estes valores servem unicamente como referência, tomando-se como base a dose requerida para a inativação de coliformes totais. Vale ressaltar que conhecimentos acerca da dose U.V. requerida para a inativação de um patógeno específico pode continuamente mudar, à medida que os métodos e análises são aplicados. Por exemplo, acreditava-se que dosagens razoáveis de radiação ultravioleta (em torno de 200 mJ/cm^2) não era o suficiente para inativar *Cryptosporidium parvum* e *Giardia Lamblia*. Entretanto, baseados em estudos de infecção, descobriu-se que ambos protozoários são inativados com doses extremamente baixas (na faixa de 5 a 15 mJ/cm^2). Deve-se consultar periodicamente a literatura técnica, de forma que se possa obter informações mais precisas acerca das dosagens de radiação ultravioleta para a inativação de microrganismos específicos.(METCALF & EDDY, 2003).

Tabela 3.36: Estimativa relativa acerca da efetividade da radiação ultravioleta para a desinfecção de microrganismos representativos no esgoto sanitário .(METCALF & EDDY, 2003).

Microrganismo	Dosagem relativa à dosagem de coliformes totais^a
Bactéria:	
Coliforme fecal	0,5 - 0,9
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	1,5 - 2,0
<i>Salmonella typhosa</i>	0,7 - 0,9
<i>Staphylococcus aureus</i>	1,0 - 1,5
Coliforme Total	1,0
Vírus:	
Adenovírus	0,7 - 0,9
Coxsackie A2	1,0 - 1,5
F específico bacteriófago	0,4 - 0,8
Polio tipo 1	0,9 - 1,1
MS bacteriófago	0,9 - 1,0
Protozoário:	
<i>Acanthamoeba castellanii</i>	10 - 12
<i>Acanthamoeba culbertsoni</i>	10 - 12
<i>Cryptosporidium parvum oocistos</i> ^b	0,2 - 0,4
<i>Cistos de Giardia Lambia</i> ^b	0,2 - 0,6

a - Doses relativas baseadas em microrganismos isolados (não estão agrupados) e em suspensão. Se os microrganismos estão agrupados ou associados à partículas, as doses relativas relacionadas acima não são válidas.

b - Baseados em estudos de infecção envolvendo estes microrganismos.

f) Efeito dos constituintes químicos do esgoto

Contaminantes dissolvidos impactam na desinfecção com radiação ultravioleta, além de serem responsáveis pela variação da absorvância do esgoto (a elevação da absorvância atenua a luz ultravioleta em grau mais elevado) e por sujar (ou impregnar) as lâmpadas U.V. (impregnam as lâmpadas), bem como reduzem a intensidade de luz U.V. aplicada no meio da massa líquida. Um dos mais complexos problemas encontrados na aplicação da desinfecção de esgotos por meio da radiação ultravioleta é a variação comumente observada na absorvância (ou transmitância) do esgoto nas estações de tratamento de esgoto.

Tais variações são freqüentemente causadas por descargas industriais, liberadas sazonalmente ou diariamente. Os despejos industriais mais comuns e que mais interferem na absorvância são os pigmentos orgânicos e inorgânicos, resíduos contendo metais e complexos compostos orgânicos. Entretanto, enxurradas também podem ser responsáveis por grandes variações na absorvância, especialmente quando materiais húmicos estão presentes. Em ambos os casos, a solução para os problemas de variação da absorvância irá exigir um monitoramento mais eficaz e rigoroso das descargas industriais, a implementação de programas de controle das fontes poluidoras e a correta informação acerca da origem das infiltrações.

Em alguns casos, o tratamento biológico irá mitigar a variação do afluente. Em algumas extremas situações, pode-se chegar à conclusão de que a desinfecção por meio da radiação ultravioleta simplesmente não será feita. Nos locais onde a desinfecção com radiação ultravioleta está sendo avaliada, recomenda-se que seja instalado equipamento de monitoramento de transmitância on-line para documentar as variações ocorridas na transmitância ao longo do tempo. (METCALF & EDDY, 2003).

Os efeitos dos constituintes na desinfecção com radiação ultravioleta são apresentados na tabela 3.37 (METCALF & EDDY, 2003).

Tabela 3.37: Estimativa relativa acerca da efetividade da radiação ultravioleta para a desinfecção de microrganismos representativos no esgoto sanitário.

Fonte: METCALF & EDDY, 2003.

Constituinte ^a	Efeito
DBO – demanda bioquímica de oxigênio, DQO – demanda química de oxigênio, COT - carbono orgânico total, etc.	Nenhum ou mínimo efeito, a menos que materiais húmicos compreendam grande porção da DBO
Materiais húmicos	Fortes absorventes da radiação ultravioleta
Óleos e graxas	Podem se acumular nos tubos de quartzo das lâmpadas de U.V. Podem absorver a radiação ultravioleta
SST - sólidos suspensos totais	Absorção da radiação ultravioleta Podem proteger (na forma de escudo) bactérias
Alcalinidade	Afeta a solubilidade de metais que podem absorver a luz U.V.
Dureza	Cálcio, magnésio e outros sais podem formar depósitos minerais nos tubos de quartzo das lâmpadas de U.V., especialmente em temperaturas elevadas.
Amônia	Nenhum ou mínimo efeito
Nitrito	Nenhum ou mínimo efeito
Nitrato	Nenhum ou mínimo efeito
Ferro	Forte absorvente da radiação ultravioleta; Pode precipitar-se nos tubos de quartzo; Pode proteger (na forma de escudo) bactérias da luz U.V.
Manganês	Forte absorvente da radiação ultravioleta
pH	Pode afetar a solubilidade de metais e carbonatos (que podem, conseqüentemente absorver a luz ultravioleta)
SDT - sólidos dissolvidos totais	Pode formar depósitos minerais nos tubos de quartzo das lâmpadas de U.V.
Descargas industriais	Dependendo dos constituintes (por exemplo, corantes), pode ocasionar variações sazonais ou mesmo diárias na transmitância.
Influxo de tempestades	Dependendo dos constituintes, pode variar a transmitância do efluente

a - Constituintes inorgânicos incluem bicarbonatos, íon cloreto e nitrato podem afetar a fotólise da U.V. e outros constituintes.

3.7.9 Interferentes da radiação ultravioleta

Para realizar a inativação, a radiação ultravioleta deveria ser absorvida pelo microrganismo. Portanto, qualquer coisa que impossibilite a radiação ultravioleta de reagir com o microrganismo irá diminuir a eficiência da desinfecção por radiação ultravioleta. Sólidos suspensos podem ser os interferentes que mais impactam negativamente na eficácia da desinfecção por radiação ultravioleta. Partículas podem abrigar ou proteger bactérias e, conseqüentemente, protegê-las parcialmente da luz ultravioleta. Partículas podem ser completamente penetradas, parcialmente penetradas ou dispersas pela luz U.V. Nem todas as partículas presentes no meio líquido podem ser absorvidas pela luz U.V. Muitas substâncias químicas podem interferir na transmissão da radiação ultravioleta no comprimento de onda de 254 nm, incluindo compostos fenólicos, ácidos húmicos, sulfetos, nitritos, etc. (USEPA, 1999).

Sabendo que a radiação ultravioleta é energia na forma de onda eletromagnética, sua eficiência não é limitada pela maioria das variáveis que definem a qualidade da água. Isso implica que parâmetros como pH, temperatura e alcalinidade não interferem na eficiência de desinfecção com radiação ultravioleta. Entretanto, a dureza poderá causar problemas na funcionalidade e limpeza dos tubos de quartzo das lâmpadas de U.V. A deposição de sais pouco solúveis (por exemplo, CaCO_3) no tubo que reveste a lâmpada poderá reduzir a transmissão de radiação ultravioleta (USEPA, 1999 e DANIEL, 2001).

A presença, ou adição, de oxidantes (por exemplo, ozônio e/ou peróxido de hidrogênio) aumenta a efetividade da radiação ultravioleta (USEPA, 1999). A presença de sais e matéria orgânica em suspensão também pode afetar a eficiência da desinfecção. Alguns compostos, como ferro, sulfeto, nitrito e fenol, absorvem radiação ultravioleta no comprimento de onda de 254 nm; enquanto os microrganismos podem usar partículas em suspensão como uma forma de proteção à radiação incidente. (USEPA, 1999 e DANIEL, 2001).

São vários os fatores que podem afetar a eficiência da desinfecção com radiação ultravioleta, entre eles:

- a) Filmes químicos e biológicos que se desenvolvem na superfície da lâmpada UV e orgânicos e inorgânicos dissolvidos
- b) Aglomerado ou agregação de microrganismos, cor e turbidez
- c) Geometria do reator e curto circuito no fluxo de efluente no interior da câmara de contato do reator UV

a) Filmes químicos e biológicos que se desenvolvem na superfície da lâmpada UV e orgânicos e inorgânicos dissolvidos

A acumulação de sólidos sobre a superfície das lâmpadas de UV podem reduzir a intensidade de UV aplicada e, conseqüentemente, a eficiência da desinfecção. Além dos biofilmes provocados pela matéria orgânica foram observados também o acumulo de Cálcio, Ferro e Magnésio. Águas contendo elevadas concentrações de Ferro, Dureza, Sulfeto de Hidrogênio e Compostos Orgânicos são mais susceptíveis a se aderir a lâmpada de UV, formando uma fina película na lâmpada, o que gradualmente diminui a intensidade da radiação ultravioleta aplicada (USEPA 1999).

Uma grande variedade de substâncias químicas pode diminuir a transmissão da radiação ultravioleta. Tais substâncias incluem os ácidos húmicos, compostos fenólicos e ligninas sulfonadas, bem como o Cromo, Cobalto, Cobre e Níquel. Também foi reportado que agentes corantes e certos extratos reduzem a intensidade da radiação ultravioleta dentro da câmara de contato. Além do mais, Ferro, Sulfitos, Nitritos, e Fenóis podem absorver a radiação ultravioleta (USEPA 1999).

b) Aglomeração de microorganismos e turbidez

Partículas podem afetar a eficiência da desinfecção por radiação ultravioleta pelo fato de encobrirem (ou abrigar) bactérias e outros patógenos, protegendo-os parcialmente da radiação ultravioleta e dissipando a luz UV. (USEPA 1999).

A figura 3.25 ilustra a interação das partículas com a luz UV, impactando na efetividade da desinfecção (USEPA 1999).

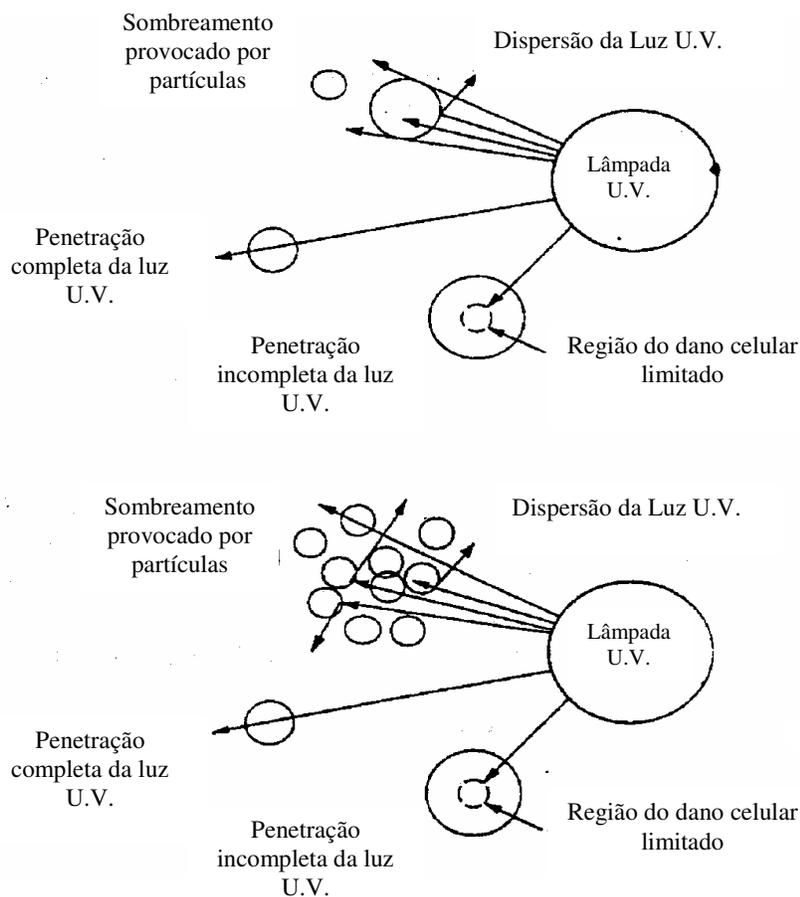


Figura 3.25: Interação das partículas com a luz UV, impactando na efetividade da desinfecção. Fonte: USEPA 1999

Normalmente efluentes com baixa turbidez apresentam mínimo impacto na eficiência da desinfecção. Porém, efluentes com elevada turbidez podem sofrer considerável impacto na eficiência da desinfecção (USEPA 1999).

Similar às partículas que provocam turbidez, o agregado de microorganismos pode impactar na eficiência da desinfecção pelo fato de proteger (ou encobrir) os patógenos em seu interior e sombrear (resguardar) os patógenos que deveriam de outra forma ser inativados (USEPA 1999).

c) Geometria do reator e curto circuito

Se a câmara de contato do reator tiver uma geometria inadequada (como por exemplo espaço entre as lâmpadas excessivo), pode gerar a formação de áreas mortas, onde a desinfecção será ineficiente. O ponto chave da questão é que se deve minimizar o acúmulo de espaços mortos onde pode ocorrer uma exposição limitada de radiação ultravioleta. (USEPA 1999).

Condições plug flow deveriam ser mantidas na câmara de contato, embora alguma turbulência deveria ser criada entre as lâmpadas para provocar uma mistura radial no fluxo do efluente. Desta maneira o fluxo pode ser uniformemente distribuído através de uma variação de intensidade de radiação ultravioleta, permitindo a exposição de uma ampla faixa de radiação ultravioleta disponível (USEPA, 1999).

3.7.10 Medição da radiação ultravioleta no meio líquido

A demanda de radiação ultravioleta no meio aquático é medida por meio de espectrofotômetro em comprimento de onda de 254 nm, utilizando cubeta de 1 cm de espessura. O resultado da medição representa a absorção de energia por unidade de profundidade, ou absorvância. A porcentagem de transmitância é um parâmetro comumente utilizado para determinar a capacidade da radiação ultravioleta no processo de desinfecção (USEPA, 1999).

A porcentagem de transmitância é determinada a partir da absorvância (A), através da seguinte equação: $\text{Porcentagem de transmitância} = 100 \times 10^{-A}$

A tabela 3.38 mostra a relação da medição da absorvância e a medição da porcentagem de transmitância para vários tipos de água (no caso, água para consumo humano) (USEPA, 1999).

Tabela 3.38: Qualidade da água e medição de U.V. associada

Fonte: USEPA, 1999.

Qualidade de água requerida	Absorvância (unidades de absorvância / cm)	Porcentagem de Transmitância
Excelente	0,022	95 %
Boa	0,071	85 %
Regular	0,125	75 %

O valor da absorvância, medida a 254 nm, varia em função do tipo de esgoto. A tabela 3.39 relaciona tais valores (METCALF & EDDY):

Tabela 3.39: Valor da absorvância em função do tipo de esgoto (254 nm)

Tipo de esgoto	Absorvância (unidades de absorvância por centímetro)
Efluente primário	0,5 a 0,8
Efluente secundário	0,3 a 0,5
Efluente secundário nitrificado	0,25 a 0,45
Efluente secundário filtrado	0,20 a 0,40
Efluente secundário microfiltrado	0,15 a 0,30
Efluente de osmose reversa	0,05 a 0,20

3.7.11. Reações da desinfecção com radiação ultravioleta

O grau pelo qual a destruição ou inativação de microrganismos ocorre pela radiação ultravioleta é diretamente relacionado à dose de U.V. A dosagem de radiação ultravioleta é calculada da seguinte forma: $d = I \times t$

Onde,

D = Dose U.V. (mWs/cm²)

I = Intensidade (mW/cm²)

t = tempo de exposição (segundos)

Pesquisas indicam que quando os microrganismos são expostos à radiação ultravioleta, uma fração constante de população sobrevivente é inativada durante cada incremento progressivo de tempo. Essa relação dose-resposta, para efeito germicida, indica que durante um curto período de tempo, se for aplicada uma dose elevada de energia, a resposta de eficiência (microrganismos inativados) seria a mesma se fosse aplicada uma dose de energia de menor intensidade por um período de tempo mais longo que o período anterior (USEPA, 1999).

A dose de radiação ultravioleta exigida para uma determinada inativação efetiva é determinada pela relação da qualidade do efluente e a remoção de log requerida. Baseado em cinética de primeira ordem, a fração de sobrevivência de microrganismos pode ser calculada como função da dose e do tempo de contato (USEPA, 1996). Para remoções mais elevadas, a concentração remanescente de microrganismos parece estar exclusivamente relacionada à dose e à qualidade do efluente, não dependendo portanto da densidade inicial de microrganismos (USEPA, 1999).

Existe uma relação entre a dose de radiação ultravioleta e a fração sobrevivente de coliformes. Esta relação é a seguinte:

$$N = f \times D^n$$

Onde,

N = densidade de coliformes do efluente / 100 ml

D = dose de radiação ultravioleta, em mWs/cm²

n = coeficiente empírico relacionado à dose

f = fator empírico da qualidade do efluente.

O fator empírico da qualidade do efluente (*f*) reflete a presença de partículas, cor, etc. no efluente. Para o tratamento de água para consumo humano, por exemplo, espera-se que o fator empírico da qualidade seja função da turbidez e transmitância (USEPA, 1999).

3.7.12 Considerações Operacionais do sistema de desinfecção com radiação ultravioleta

Antes de implantar um sistema de desinfecção com radiação ultravioleta, recomenda-se antes que sejam feitos testes em sistemas piloto, no mesmo local onde se deseja instalar o sistema em escala real. Com isso, será possível determinar a eficiência do sistema e adequar o sistema à realidade do efluente. O teste de eficiência deve determinar a fração de sobrevivência dos microrganismos (USEPA, 1999).

A norma técnica nº 55 do N.S.F. - National Science Foundation para tratamento de águas recomenda que o sistema de desinfecção com radiação ultravioleta não deve ser utilizado se a transmitância for menos que 75 % (NSF, 1991).

Se o efluente a ser desinfetado tiver a transmitância menor do que 75 %, o sistema com radiação ultravioleta deverá ser precedido por outro processo de tratamento, como por exemplo, sistema físico químico, filtração, etc.(USEPA, 1999).

Conforme já foi dito anteriormente, alguns constituintes interferem negativamente na eficiência do sistema de desinfecção com radiação ultravioleta, por encobrirem e/ou absorverem a radiação ultravioleta aplicada ao efluente. Tais constituintes, como por exemplo, o ferro, cobre, cobalto, sulfitos, nitritos e matéria orgânica em suspensão. Portanto, cuidados deveriam ser tomados com sistemas de tratamentos auxiliares, que antecedem a desinfecção com radiação ultravioleta e que, em vez de aumentar a transmitância do efluente à radiação ultravioleta, acabam por prejudicar o sistema de desinfecção por radiação ultravioleta (USEPA, 1999).

a) Operação dos equipamentos

Os equipamentos do sistema de desinfecção com radiação ultravioleta devem ser projetados para prever a variação da vazão do efluente a ser desinfetado. Para pequenas vazões, basta apenas um reator para suprir a demanda. Porém, deve-se prever um reator reserva, de mesma capacidade que o primeiro, para substituir o outro, caso haja necessidade de parada para manutenção, de forma a não comprometer o sistema de desinfecção. Para vazões mais elevadas, deve-se projetar uma quantidade maior de reatores, os quais deverão ser providos de sistema de retardo e aceleração da vazão e um sistema de divisão do fluxo, podendo assim variar o tempo de contato do efluente com a radiação ultravioleta de cada um dos reatores, evitando uma sobrecarga hidráulica (USEPA, 1999).

Deve-se instalar válvulas no interior das tubulações de interconexão do efluente, de forma a isolar um reator do outro. O projeto também deve prever um dispositivo de drenagem do efluente do interior do reator, caso o equipamento necessite ser retirado para manutenção (preventiva ou corretiva) (USEPA, 1999).

1. envelhecimento das lâmpadas de U.V.

A potência nominal da lâmpada de radiação ultravioleta diminui com o tempo. Dentre vários fatores que podem alterar o desempenho das lâmpadas, dois são os principais:

1. a radiação ultravioleta é responsável por um fenômeno chamado solarização, o qual torna a lâmpada opaca com o uso, ao longo do tempo;
2. deficiência do eletrodo da lâmpada, ocasionada pela deterioração progressiva na superfície dos eletrodos, a cada manobra de ligar e desligar a lâmpada.

Ligar e desligar a lâmpada com muita frequência irá levar ao envelhecimento precoce da lâmpada. A vida útil da lâmpada de baixa pressão é de aproximadamente 8.800 horas (USEPA, 1999)

2. tubo de quartzo sujo

Sujeira do tubo de quartzo reduz a quantidade de radiação ultravioleta que penetra no meio líquido. O tubo de quartzo tem uma transmissibilidade de cerca de 90 % quando novo e limpo. Com o passar do tempo, a superfície do tubo de quartzo que está em contato com o efluente começa a ficar impregnada com os fragmentos de matéria orgânica e inorgânica (por exemplo, ferro, cálcio, lodo, limo, etc.) causando a redução da transmissibilidade. (USEPA, 1996).

b) Manutenção dos equipamentos

1. Substituição / reposição das lâmpadas U.V.

Deve-se prever um espaço adequado no interior do reator de canal aberto de forma a permitir o acesso para manutenção e substituição / reposição das lâmpadas. Utilizando-se uma estrutura modular elétrica, a substituição das lâmpadas consistem em desconectar a conexão da lâmpada velha e conectar a nova (USEPA, 1999).

2. Limpeza do tubo de quartzo

A limpeza do tubo de quartzo deve ser feita por meio químico ou físico. Alternativas físicas incluem (USEPA, 1999):

- limpeza mecânica automática;
- dispositivo ultra-sônico;
- lavagem com água em alta pressão e;
- limpeza com corrente de ar.

Limpeza por meio de agentes químicos inclui ácido sulfúrico ou ácido clorídrico. Um reator de canal aberto pode conter um ou mais sistemas físicos de limpeza com o provisionamento de uma ocasional limpeza química (USEPA, 1999).

c) Requisitos básicos operacionais de manutenção dos equipamentos do sistema de radiação ultravioleta

Uma efetiva manutenção de um sistema de desinfecção com radiação ultravioleta deve envolver:

- Checagem periódica para uma adequada operação;
- Calibração da medição da intensidade de radiação ultravioleta incidente no meio líquido;
- Inspeção e limpeza do interior do reator de canal aberto.

d) Fornecimento de energia elétrica reserva do sistema de radiação ultravioleta

A produção de radiação ultravioleta requer eletricidade para acionar os reatores eletrônicos, os quais fornecem energia às lâmpadas U.V. Uma vez que a desinfecção é de extrema importância, principalmente para tratamento de água para consumo humano, o sistema U.V. deveria permanecer em operação durante períodos em que houver interrupção no fornecimento de energia elétrica. Um duplo sistema de alimentação de energia elétrica ou um gerador de energia elétrica reserva são formas típicas de manter ativa a alimentação de energia do sistema de desinfecção por radiação ultravioleta. Cada lâmpada de baixa pressão requer aproximadamente 100 Watts de energia reserva (USEPA, 1999).

3.7.13 Danos Ocupacionais em função do uso inadequado da radiação ultravioleta

O uso inadequado da radiação ultravioleta pode produzir efeitos danosos nos olhos e pele do trabalhador. A radiação ultravioleta é amplamente absorvida na camada mais externa da pele, de modo que os efeitos diretos se limitam à pele e aos olhos. A profundidade de penetração do UVC é aproximadamente 40-50 μm , enquanto 10 % do UVB e 40-50 % do UVA penetram até a camada basal. Esses efeitos podem ser considerados em dois grupos: os efeitos imediatos ou agudos que ocorrem em algumas horas, dias ou semanas e os efeitos crônicos, a longo prazo, que são observados somente anos depois. Os efeitos fisiológicos da radiação ultravioleta são resumidos a seguir (LOW & REED, 2002):

Efeitos agudos:

Na pele:

- Eritema (ou vermelhidão, decorrente da dilatação dos vasos sanguíneos dérmicos superficiais);
- Pigmentação da pele (ocorre como resultado da formação de melanina na região profunda da epiderme);
- Crescimento aumentado da pele (a radiação UV provoca o aumento da reposição celular de queratinócitos, de modo que a pele cresce mais rapidamente, levando à perda de células mais superficiais, que podem depois se descamar);
- Produção de vitamina D (O UVB é capaz de converter esteróides na pele em vitamina D que, após sofrer alterações no fígado e rins, é capaz de facilitar a absorção de cálcio pelo intestino);
- Imunodepressão (o que pode contribuir para o desenvolvimento de câncer de pele, como por ex. carcinoma das células basais, carcinoma epidermóide e melanoma maligno);

Nos olhos:

- Conjuntivite (inflamação do tecido em cima da córnea e revestimento das pálpebras);
- Fotoqueratite (inflamação da córnea).

Efeitos crônicos na pele:

- Envelhecimento prematuro da pele, principalmente em pessoas de pele clara;
- Risco aumentado de certos cânceres de pele.

3.7.13.1 Segurança no uso da radiação ultravioleta:

Primeiramente, deve haver uma proteção adequada contra os riscos elétricos. Não deve haver nenhuma possibilidade de funcionários entrarem em contato com partes elétricas “vivas” e todos os componentes metálicos. As instalações elétricas devem atender às normas nacionais de segurança elétrica e de segurança do trabalho. Deve-se tomar cuidado de não entrarem em contato com as lâmpadas desprotegidas e de se ferirem com estilhaços de vidro, caso alguma lâmpada quebre em alguma manutenção (DIFFEY & FARR, 1994).

Os riscos ocupacionais associados ao trabalho com radiação ultravioleta são pequenos desde que sejam adotadas boas práticas de trabalho, de forma que o eritema agudo não se desenvolva (LOW & REED, 2002).

O trabalhador deve proteger os olhos das radiações dispersas e refletidas. O trabalhador deve usar protetores para os olhos mesmo quando não estiver de frente para a fonte de radiação U.V. A radiação U.V tem efeito cumulativo ao longo do dia. Os óculos comuns, embora refratários à radiação ultravioleta, não protegem os olhos da radiação lateral, de modo que os óculos de proteção apropriados devem ser usados todas as vezes que o trabalhador tiver contato com as lâmpadas ligadas. Por isso, sempre que possível, o trabalhador deverá desligar as lâmpadas antes de efetuar algum reparo / manutenção no sistema U.V. (LOW & REED, 2002).

Dentre as medidas de segurança para o uso da radiação ultravioleta, estão as seguintes (DIFFEY & FARR, 1994):

1. Projeto de engenharia adequado;
2. Uso de óculos ou protetores faciais apropriados, acompanhados, em caso de necessidade, por roupas adequadas, opacas para a radiação U.V.;
3. Limitação do acesso à área somente para pessoas diretamente envolvidas e devidamente treinadas;
4. Treinamento dos funcionários acerca dos riscos potenciais associados às fontes de radiação U.V.

Não é aceitável que trabalhadores apresentem eritemas cutâneos ou fotoceratite. Caso isto venha a ocorrer, as práticas operacionais deverão ser examinadas e tomadas as devidas medidas, de forma que, no futuro, seja improvável a superexposição (DIFFEY & FARR, 1994).

Riscos do ozônio (presente no interior de algumas lâmpadas):

O ozônio é um gás irritante, tóxico e incolor, formado por uma reação fotoquímica entre a radiação U.V. de curto comprimento de onda e o oxigênio presente no ar. É possível encontrar ozônio nas proximidades das lâmpadas ultravioleta, especialmente aquelas em que uma radiação de comprimentos de onda inferiores a 250 nm é transmitida através do invólucro da lâmpada. Quase todas as modernas lâmpadas de ultravioleta são consideradas “livres de ozônio” ou seja, o invólucro da lâmpada é opaco para comprimentos de onda abaixo dos 260 nm, o que impede que menores comprimentos de onda abaixo da radiação U.V. formem ozônio no ar. Caso haja suspeita da presença de ozônio, seja por meio de medições seja pelo seu odor, o gás deverá ser removido mediante uma ventilação adequada (DIFFEY & FARR, 1994).

3.7.14 Problemas associados ao sistema de desinfecção com radiação ultravioleta

Problemas associados ao sistema de desinfecção com radiação ultravioleta estão associados principalmente à incapacidade da luz ultravioleta em alcançar / atingir toda a área interna do reator, para assim atingir os microrganismos, sem que ocorra a formação de espaços mortos.

A. Sistema hidráulico

Talvez, um dos mais sérios problemas encontrados nesta área é erradicar ou reduzir a eficiência da inativação devido à deficiências do sistema hidráulico. Os mais comuns problemas hidráulicos são relacionados a seguir (METCALF & EDDY, 2003):

- (a). a formação de correntes de diferentes densidades, as quais podem fazer com que o esgoto que entra no reator flua ao longo do fundo ou no topo dos bancos de lâmpadas U.V., resultado em curto circuito;
- (b). condições de projeto de entrada e saída do efluente inadequadas, que podem levar à formação de correntes de redemoinhos que resultam velocidade irregular do efluente, levando por fim à formação de curtos circuitos e;
- (c). a formação de espaços mortos ou zonas no interior do reator, que resultem em curtos circuitos.

A ocorrência de curtos circuitos ou zonas mortas reduz a média do tempo de contato levando ao uso ineficaz do sistema de desinfecção por radiação ultravioleta.

B. Biofilmes acumulados nas paredes do canal e nos equipamentos de U.V.

Outro sério problema encontrado nos sistemas de desinfecção com radiação ultravioleta é o desenvolvimento de biofilmes nas superfícies expostas do reator U.V. O problema é especialmente sério em sistemas de canal aberto cobertos por grades. Se o canal U.V. estiver exposto a qualquer tipo de luz, mesmo que seja mínima, biofilmes (normalmente fungos e bactérias filamentosas) irão se desenvolver nas superfícies expostas. O problema destes biofilmes é que eles podem abrigar / proteger e efetivamente servir de proteção às bactérias. Quando os biofilmes acumulados se desprendem da superfície da qual estavam fixados, as bactérias podem se esconder / proteger, como se o agregado passasse despercebido pelo sistema de desinfecção. A melhor forma de controle é cobrir completamente o canal U.V. Além disso, o canal pode ser limpo de vez em quando e desinfetado utilizando hipoclorito, ácido paracético ou outro agente desinfetante para limpeza mais adequado. Pode ser que ocorra a formação de biofilmes em sistemas fechados (reator fechado), mas a severidade é habitualmente menor, com exceção de sistemas U.V. que utilizam lâmpadas de média pressão e elevada intensidade, isto porque tais lâmpadas emitem luz dentro ou próximo à faixa de luz visível, as quais podem estimular o crescimento de microrganismos nas superfícies expostas. Em alguns casos, crescimento de aproximadamente 300 mm de extensão foram encontrados na estrutura de suporte da lâmpada. A quantidade de luz emitida na faixa de luz visível irá variar de acordo com o tipo de lâmpada U.V. Remover tais biofilmes com um desinfetante adequado deve ser encarado com o rotina operacional. (METCALF & EDDY, 2003).

C. Relação do impacto das partículas e o aumento da intensidade da radiação ultravioleta

Antigamente pensava-se que o impacto das partículas exercia sobre o desempenho no sistema de desinfecção com radiação ultravioleta poderia ser superado através do aumento da intensidade da radiação ultravioleta. Infelizmente, não é possível aumentar a intensidade da radiação ultravioleta o suficiente para superar os efeitos do sombreamento provocado pelas partículas. Um exemplo disto pode ser verificado na figura 3.26 (METCALF & EDDY, 2003):

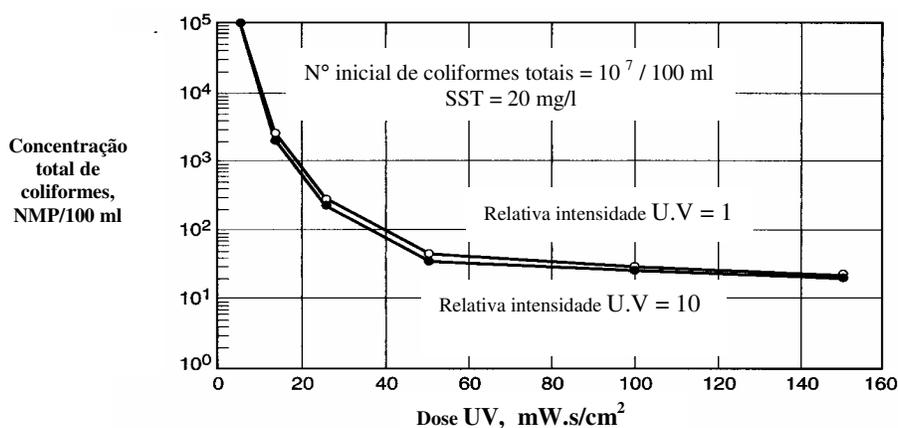


FIGURA 3.26: Impacto da intensidade da radiação U.V. na efetividade da desinfecção com U.V. em efluente de estação de tratamento por meio de sistema de lodos ativados

O aumento da intensidade da radiação ultravioleta em dez vezes ocasiona no mínimo efeito da redução do número de bactérias coliformes sobreviventes que estão associadas a partículas devido à absorção da radiação ultravioleta pelas partículas do esgoto ser de no mínimo 10.000 vezes maior que o volume de meio líquido. Partículas essencialmente obstruem a transmissão da luz ultravioleta. Partículas maiores que o tamanho crítico (função do tamanho do microrganismo a ser atingido) irá efetivamente proteger (encobrir) os microrganismos que estão incrustados nas partículas. Além disso, uma vez que as grandes partículas tem pequeno efeito sobre a turbidez, efluentes com baixos valores de turbidez (por exemplo, ≤ 2 UNT) podem ainda ser difíceis de serem desinfetados devido à presença de grandes partículas não detectáveis.

Uma vez que a efetividade da desinfecção com radiação ultravioleta é definida principalmente através do número de partículas contendo bactérias coliformes, para melhorar o desempenho do sistema de desinfecção com radiação ultravioleta deve-se reduzir o número de partículas associadas às bactérias coliformes (por exemplo, selecionando um apropriado processo de tratamento contracorrente) ou então estas partículas deverão ser reduzidas (por exemplo, melhorando a clarificação do efluente ou utilizando alguma forma de filtração). (METCALF & EDDY, 2003).

D. Efeito do processo de tratamento em contracorrente no desempenho da desinfecção com radiação ultravioleta

O número de partículas que estão associadas a bactérias coliformes é outro fator que irá impactar no desempenho de sistemas de desinfecção tanto de cloro quanto de radiação ultravioleta para efluentes não filtrados (quando bactérias coliformes são utilizadas como microrganismos indicadores reguladores). Já foi observado que para estações de tratamento de lodos ativados, o número de partículas que estão associadas a microrganismos coliformes é função do tempo de retenção de sólidos (TRS). A relação entre a fração de partículas de esgoto com um ou mais microrganismos coliformes associados e o tempo de retenção de sólidos (TRS) é ilustrado na figura 3.27. Conforme a figura, quanto maior o TRS, resulta na diminuição da fração de partículas contendo bactérias coliformes (METCALF & EDDY, 2003).

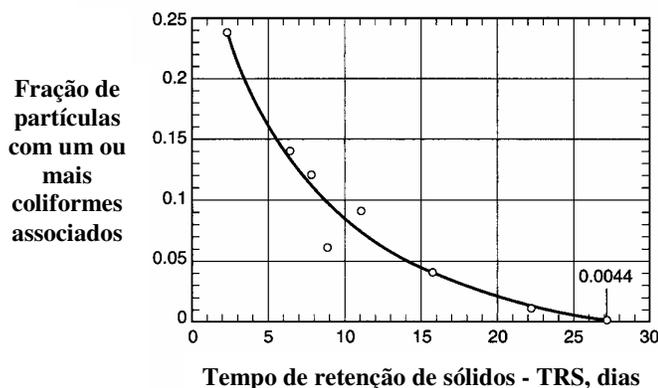


FIGURA 3.27: Fração de partículas em determinado tipo de esgoto com um ou mais microrganismos coliformes associados em função do tempo de retenção de sólidos - TRS.

Se o esgoto não passa por um processo de filtração, o desempenho do sistema de desinfecção com radiação ultravioleta irá depender da operação de processos em contracorrente. O uso de clarificadores profundos irá reduzir bastante o número de grandes partículas que podem esconder (proteger) bactérias. Em geral, sem alguma forma de filtração, será difícil alcançar concentrações de coliformes extremamente baixas em determinados efluentes de sistemas de tratamento de lodos ativados que operam com valores de tempo de retenção de sólidos (TRS) baixos (por exemplo, 1 a 2 dias) (METCALF & EDDY, 2003).

3.7.15 Impactos ambientais relacionados ao uso da radiação ultravioleta em sistemas de desinfecção de esgotos sanitários

Baseado na evidência de dados de pesquisas realizadas nos últimos 20 anos, parece que os compostos formados nas dosagens utilizadas para a desinfecção de esgotos com radiação ultravioleta (de 50 a 140 mJ/cm²) são inofensivos ou são dissociados em formas mais inócuas. Em ambas dosagens (50 e 140 mJ/cm²) os impactos ambientais foram considerados não adversos (METCALF & EDDY, 2003).

3.7.16 Resumo das vantagens e desvantagens do uso da radiação ultravioleta como agente desinfetante de esgotos sanitários

As vantagens e desvantagens da desinfecção de esgoto sanitário utilizando a radiação ultravioleta são resumidas na tabela 3.40 (Adaptado de Metcalf & Eddy, 2003, USEPA, 1999 e DANIEL, 2001).

Tabela 3.40: Resumo das Vantagens e Desvantagens da Radiação Ultravioleta como agente desinfetante de esgotos sanitários. Fontes: Metcalf & Eddy, 2003, USEPA, 1999 e DANIEL, 2001.

Radiação Ultravioleta	
Vantagens	Desvantagens
<ol style="list-style-type: none"> 1. Desinfetante efetivo; 2. Não deixa residual tóxico; 3. Mais efetivo do que o cloro na inativação da maioria dos vírus, esporos e cistos; 4. Não forma subprodutos de desinfecção nas dosagens usadas para a desinfecção; 5. Não há aumento do nível de sólidos totais dissolvidos do efluente tratado; 6. Efetivo na destruição de constituintes orgânicos resistentes; 7. Muito mais seguro, se comparado com o uso de desinfetantes químicos; 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Não é possível medir imediatamente a eficiência da desinfecção (se foi suficiente e bem sucedida); 2. Não deixa residual (ao contrário do cloro e dióxido de cloro); 3. Menos efetivo na inativação de alguns vírus, esporos e cistos a baixas dosagens, usadas para organismos coliformes; 4. Intensivamente energético; 5. Projeto hidráulico do sistema de U.V. é bastante crítico; 6. Tecnologia relativamente cara (o preço vem baixando cada vez mais, em função do surgimento de novas tecnologias no mercado);

<p>8. Segurança e aceitação dos operadores e do público (nenhum produto químico tóxico é transportado, armazenado ou manuseado);</p> <p>9. Simplicidade e baixos custos de operação e manutenção (o equipamento de radiação ultravioleta é mais simples do que os equipamentos de geração de ozônio e dióxido de cloro);</p> <p>10. Pequeno tempo de contato, conseqüentemente, não necessita de grandes tanques de contato (são alcançadas doses efetivas de desinfecção em poucos segundos, comparado ao período de 10 a 60 minutos de outras tecnologias de desinfecção);</p> <p>11. Requer menos espaço que a desinfecção com cloro;</p> <p>12. Em dosagens de U.V. mais elevadas do que o exigido para a desinfecção, a radiação U.V. pode ser usada para reduzir a concentração de traços de constituintes orgânicos resistentes.</p>	<p>7. Um grande número de lâmpadas de U.V. é exigido, onde sistemas de baixa intensidade e baixa pressão são usados;</p> <p>8. Lâmpadas de baixa pressão e baixa intensidade exigem limpeza freqüente, com ácidos, para remover a sujeira que se deposita na lâmpada.</p> <p>9. Os mecanismos de reparo do dano provocado ao DNA dos microrganismos, se uma dose subletal for empregada;</p> <p>10. A matéria dissolvida ou em suspensão reduz a intensidade de radiação quando esta atravessa a lâmina líquida;</p> <p>11. A radiação ultravioleta causa lesões nos olhos e câncer de pele. Por isso, o operador nunca deve se expor à radiação, mesmo que durante poucos segundos. Todas as operações de manutenção das instalações e dos equipamentos devem, obrigatoriamente, ser realizadas com as lâmpadas desligadas.</p>
---	--

3.8 Comparação de custos da desinfecção de esgotos sanitários por radiação UV, ozônio e cloro.

3.8.1 Comparação de custos de cloro e radiação U.V. feitas pela WERF – Water Environment Research Foundation

A WERF – Water Environment Research Foundation fez um estudo comparativo de viabilidade econômica de processos de desinfecção de efluentes secundários utilizando cloro e a radiação ultravioleta. Tal estudo foi efetuado em 1995. Neste estudo comparativo de custos não foi considerada a desinfecção com Ozônio, por esta técnica apresentar um custo bastante superior tanto ao cloro e quanto à radiação ultravioleta. As suposições essenciais levaram em conta a estimação de capital, operação e manutenção e os custos totais anuais tanto para a radiação ultravioleta quanto para a cloração e descloração dos efluentes secundários.

a) Premissas da comparação de custos feitas pela WERF

- Tratamento de águas residuárias proveniente de tratamentos secundários;
- Cenários com condições variáveis foram considerados para uma comparação abrangente:
 - vazão diária (L/d),
 - características da água a ser tratada (qtd partículas em suspensão, transmitância),
 - qualidade final da água (nº de coliformes/ml),
 - configuração dos sistemas de tratamento (UV e cloro)
- mais relevante deste estudo é a comparação e não os valores absolutos

b) Diferentes características da água antes e depois da desinfecção foram considerados

- Amostragem durante o período de um ano
- Foram consideradas as seguintes características das águas residuárias após o tratamento secundário: quantidade de partículas sólidas em suspensão (mg/l), transmitância antes e depois da filtração (%)
- Também foram considerados diferentes níveis de qualidade da água após a desinfecção (número de coliformes/100 ml)

c) Premissas do projeto do sistema de desinfecção U.V.

- As lâmpadas ficam imersas e o fluxo corre paralelo à elas
- A vazão é dividida igualmente entre canais
- Cada canal possui dois ou mais bancos de lâmpadas em série
- Cada banco possui um determinado número de módulos de lâmpadas que são montados em conjunto para facilitar o acesso e manutenção
- Tipicamente cada módulo possui 2, 4, 8 ou 16 lâmpadas.
- espaçamento entre os centros de cada lâmpada é de 7,5 cm
- A potência nominal das lâmpadas consideradas é de 26.7 W. Considerando uma perda de 30% devido ao envelhecimento e outros 30% devido à sujeira temos uma potência efetiva de 13.08 W por lâmpada
- A necessidade de tempo de exposição à uma determinada potência de UV por litro (l/min x W) varia de acordo com as condições da água a ser desinfetada e obedece à normas de órgãos como o EPA (Environmental Protection Agency)
- O número de lâmpadas necessário é determinado dividindo-se a vazão (l/min) pelo produto da carga de UV (l/min x W) pela potência de cada lâmpada
- Para fins comparativos foram usadas doses de 5, 10 e 20 mg/l de cloro;

d) Custos de Desinfecção de U.V. - Custo de Capital estimados pela WERF

- Custo de capital representa o projeto e a construção das facilidades, compra e instalação dos equipamentos;
- custo varia de acordo com a capacidade de tratamento (ML/d) e foram considerados sobre um período de 20 anos com juros de 8%;
- custo de capital é normalizado em US\$/lâmpada UV.

A tabela 3.41 mostra o custo de capital estimado pela WERF.

Tabela 3.41: Custo de Capital da radiação UV estimado pela WERF

Vazão	Custo de equipamento (US\$ / lâmpada)	Custo das instalações físicas (150 % dos custos dos equipamentos)	Custo Total (US\$ / lâmpada)
1 – 5 Mgal /dia	575,00	862,50	1437,50
5 – 10 Mgal /dia	475,00	712,50	1187,50
10 – 100 Mgal /dia	400,00	600,00	1000,00
> 100 Mgal / dia	375,00	562,50	937,50

e) Custos de Desinfecção de U.V. - Custo de Operação & Manutenção feitos pela WERF

O custo anual de operação e manutenção envolve:

- Energia elétrica
- Reposição de lâmpadas UV (vida útil 12000 horas)
- Reposição da proteção das lâmpadas (a cada 5 anos)
- Material filtrante (troca a cada 10 anos)
- Limpeza química das lâmpadas (a cada 4 meses)
- Mão de obra (30-45 min/ lâmpada / ano)
- Manutenção dos equipamentos (2,5% do custo total dos equipamentos)

A tabela 3.42 mostra o custo de operação & manutenção estimados pela WERF.

Tabela 3.42: Custo de Operação & Manutenção da radiação UV estimados pela WERF

Item	Unidade	Custo / Unid. (US\$)	Custo anual (US\$ / lâmpada)
Energia Elétrica	kW – hr	0,08	29,78
Reposição da lâmpada fluorescente UV	Unidade	40,00	14,60
Reposição do reator das lâmpadas fluorescentes UV	Unidade	80,00	4,00
Reposição da proteção das lâmpadas (geralmente feitas em vidro)	Unidade	40,00	4,00
Insumos químicos	Por lâmpada / ano	5,00	5,00
Trabalhadores	Por hora	36,00	18,00 - 27,00
Manutenção e equipamentos	--	--	10,00 - 14,38
Total			85,38 - 98,76

f) Custos de Operação e Manutenção para a Cloração / Descloração estimados pela WERF

O custo anual de operação e manutenção envolve o custo de capital e custo anuais de operação e manutenção. Os custos de mão-de-obra basearam-se em tarefas individuais associadas às operações dos sistemas de coração e descloração, incluindo controle de processos, limpeza dos recipientes e equipamentos, e entrega ou descarga de insumos químicos. O número de horas necessárias para completar estas tarefas estão resumidas na tabela a seguir. Assim como os custos estimados para operação e manutenção do sistema de desinfecção com radiação ultravioleta, os custos do operador da estação de tratamento para sistemas de desinfecção com cloro foi assumido como sendo de US\$ 36,00 a hora. Os custos de reparo e substituição de equipamentos foram assumidos como sendo 5 % do total dos custos dos equipamentos antes de aumento de preços.

A tabela 3.43 mostra o custo de operação e manutenção para a cloração e descloração estimados pela WERF.

Tabela 3.43: Custos de Operação e Manutenção para a Cloração / Descloração estimados pela WERF

Item	Unidade	Custo (US\$)
Cloro Líquido		
• Containers (ton)	Ton	550,00
• Carga Navio	Ton	450,00
Carro tanque de ferrovia	Ton	200,00
Dióxido de enxofre Líquido		
• Containers (ton)	Ton	550,00
• Carga Navio	Ton	320,00
Carro tanque de ferrovia	Ton	250,00
Mão-de-obra		
• Analisador de residual	1h/unid.d	36,00 / h
• Limpeza dos recipientes ≤ 20 Mgal/d	15 h/(Mgal/d.ano)	36,00 / h
• Limpeza dos recipientes ≥ 20 Mgal/d	6 h/(Mgal/d.ano)	36,00 / h
• Entrega de containers ton	0,5 h / entrega	36,00 / h
• Entrega de materiais químicos por navio	2 h / entrega	36,00 / h
• Entrega por ferrovia	8 h / entrega	36,00 / h
Reparo de equipamentos e substituições	5 % dos custos dos equipamentos	

g) Quadro final comparativo de custos anuais totais para sistemas de desinfecção com radiação U.V. e Cloração / Descloração

Os custos apresentados abaixo indicam que sistemas de desinfecção com radiação ultravioleta podem oferecer significantes custos vantajosos sobre sistemas de desinfecção cloração / descloração.

Deve-se considerar que os estudos desenvolvidos pela WERF mostram uma variação de 30 a 50 % para baixo ou para cima dos custos com radiação ultravioleta, em função de particularidades e cenários específicos de estações de tratamento de efluentes (por exemplo, limitação do número de coliformes no efluente tratado, qualidade do efluente a ser tratado, turbidez do efluente, etc.). Além disso, vale ressaltar que os custos da cloração / descloração são relativamente impassíveis em relação à qualidade do efluente, o que não acontece com a radiação ultravioleta.

A tabela 3.44 mostra o quadro final comparativo de custos anuais totais para sistemas de desinfecção com radiação ultravioleta e cloração/descloração.

Tabela 3.44: Quadro final comparativo de custos anuais totais para sistemas de desinfecção de esgotos com radiação U.V. e Cloração / Descloração

Vazão média diária (MgaL/d)	Custos Totais (US\$ 1.000 / ano)	
	Radiação Ultravioleta	Cloração / Descloração
1	19,6 - 106	164 - 206
10	Radiação 153 - 827UV	478 - 781
100	1132 - 6228	2120 - 2820

3.8.2 Comparação de custos de desinfecção de esgotos sanitários feitos pelo PROSAB

Foram feitos diversos estudos de desinfecção pelo PROSAB, os quais foram publicados em 2003. Sem dúvida, os custos relativos à cloração são ainda os mais baixos, em relação tanto à implantação como à operação. A desinfecção por radiação UV tem custos muito acima dos referentes à cloração apenas, mas já pode se tornar competitiva quando comparada ao conjunto cloração-descloração. A desinfecção por ozônio é de todas, a opção a mais cara; no entanto, em ETEs que já utilizem oxigênio puro, o processo já pode se tornar competitivo. Lagoas de maturação não têm custos de energia ou de produtos químicos, sendo altamente indicadas como parte de um conjunto de lagoas em série. Sua limitação está na possível falta de área disponível e nos próprios custos construtivos, que se tornam elevados à medida que cresce a vazão de esgotos (PROSAB, 2003).

A tabela 3.45 apresenta custos de implantação e de operação para as diferentes opções de desinfecção, levando em conta alguns experimentos desenvolvidos no âmbito do PROSAB e em outros projetos. Esta informação não pode ser generalizada, tendo em vista o número pequeno de casos analisados e as diferentes populações estudadas, o que afeta o fator de escala (PROSAB, 2003).

Tabela 3.45: Custos de implantação e de operação para processos de desinfecção de esgotos sanitários estimados pelo PROSAB. Fonte : PROSAB, 2003.

Desinfecção	ETE	População Hab.	Vazão L/s	Custo de implantação R\$/hab.	Custo unid. De implantação R\$/hab.	Custo de operação R/m ³
Cloro gasoso (1)	Apucarana, PR	71.000	137	270.000,00	3,80	0,012
Cloro gasoso (2)	Maringá, PR ETE sul	124.000	310	600.000,00	4,83	0,024
Hipoclorito de sódio (3)	Bandeirantes, PR	41.380	88	230.000,00	5,55	0,078
Hipoclorito de sódio (4)	PR, Assis Chateaubriand	14.425	40	210.000,00	14,56	0,089
Dióxido de cloro (5)	Pesquisa PROSAB, PR	5.844	10	273.674,00	46,83	0,108
Radiação UV(6)	Pesquisa PROSA, PR	5.844	10	128.433,00	21,98	0,034
Ozônio (7)	Pesquisa PROSAB, SC	10.000	18,5	181.120,00	18,11	0,091

(1) após UASB + FB; (2) após UASB + FB; (3) após UASB = E Na.; (4) após UASB + lagoa; (5) após UASB + FAD; (6) após UASB + FB. (1) a (4): ETE's operadas pela SANEPAR; (5) e (6): dados de pesquisa, PUCPR; (7): dados de pesquisa UFSC.

3.8.2.1 Critérios utilizados pelo PROSAB para a análise dos custos :

1. Cloro gasoso

- a. Custo do cloro: R\$ 2,26/kg.Cl
- b. Adotado 15% sobre este valor para custo O & M
- c. Em Maringá – ETE Sul, PR, gasta-se 250 kg Cl/d para tratar 310 L/s
- d. Em Apucarana, PR, gasta-se 55 kg Cl/d para tratar 137 L/s

2. Hipoclorito de sódio

- a. Custo do hipoclorito: R\$ 6,70/kg Cl
- b. Adotado 15% sobre este valor para custo O & M
- c. Em Bandeirantes, PR, gasta-se 77 kg Cl/d para tratar 88 L/s
- d. Na ETE Assis Chateaubriand – PR, gasta-se 40 kg Cl/d para tratar 40 L/s

3. Dióxido de cloro

- a. Custo citado (PUCPR) para 10 L/s: R\$ 0,108/m³ tratado

4. Ultravioleta

- a. Custo citado (PUCPR) para energia: R\$ 0,0035/m³ tratado
- b. Custo citado (PUCPR) para reposição de lâmpadas: R\$ 0,0235/m³ tratado

5. Ozônio:

- a. Custo citado (UFSC) para energia: R\$ 465,60/mês por economia
- b. Custo citado (PUCPR) para oxigênio: R\$ 3333,33/mês por economia
- c. Nos casos acima para 10.000 hab : 3,75 hab/economia
- d. Adotado 15% sobre a soma de (a) e (b) para custo O & M

Capítulo 4

Materiais e Métodos

4.1 Introdução geral e ensaios de desinfecção

Durante o desenvolvimento do trabalho experimental, foram realizados ensaios de desinfecção em dois tipos de reatores pilotos, um de fluxo contínuo e outro em batelada. O reator piloto em batelada foi instalado no laboratório do Departamento de Saúde Ambiental da Faculdade de Saúde Pública da USP e o reator piloto de fluxo contínuo foi instalado em Lins / SP.

Os ensaios de desinfecção foram iniciados em abril de 2002 com o reator em batelada, instalado em São Paulo e, após vários ensaios de desinfecção, foi instalado o reator piloto de fluxo contínuo em Lins/SP. Ambos os reatores eram de lâmpadas emersas, isto é, não havia contato do efluente da lagoa facultativa com as lâmpadas germicidas.

Para os ensaios de desinfecção utilizando o reator em batelada, foram utilizadas 6 lâmpadas germicidas com potência nominal de 15 W cada. Os tempos de desinfecção foram os seguintes: 30, 60, 90 e 120 segundos. A altura da lâmina líquida foi de 4,0 centímetros (aproximadamente 7 litros). Os ensaios de desinfecção utilizando reator em batelada foram feitos utilizando-se agitador com rotação de 65 rpm.

Para os ensaios de desinfecção utilizando o reator contínuo de lâmpadas emersas, foi utilizado apenas 1 lâmpada germicida com potência nominal de 15 W. A lâmina líquida foi de 4,0 centímetros. Os tempos de desinfecção (tempos de contato) foram de 50 e 100 segundos, controlados em função da vazão de entrada/saída reator (105 e 210 litros por hora).

Todas as amostras foram coletadas em Lins e levadas para São Paulo em bombonas plásticas, à temperatura ambiente. Algumas amostras coletadas em Lins foram preservadas em isopor contendo gelo e levadas para São Paulo, para análise (amostra na entrada da ETE, amostra na entrada e saída da lagoa facultativa, etc.).

Antes do ensaio de desinfecção, as amostras foram vigorosamente agitadas e transferidas para a câmara reacional do reator de batelada. Os ensaios de desinfecção feitos em Lins, com o reator piloto de fluxo contínuo, foram feitos diretamente da saída da lagoa facultativa. Foram controladas as vazões de entrada e saída do reator piloto de fluxo contínuo.

4.1.1 Interferência de sólidos no efluente

Durante o estudo de desinfecção, avaliou-se a interferência da presença de algas e outros microrganismos (os quais conferem turbidez e cor ao esgoto) na eficácia da desinfecção com a radiação ultravioleta, especificamente na penetração da radiação ultravioleta no efluente da lagoa facultativa. O objetivo geral desta fase do estudo foi o de avaliar a melhoria da eficiência do processo de desinfecção sem a interferência dos sólidos (principalmente algas) e efetuar a comparação com as aplicações de UV sem remoção prévia de algas.

Foi instalado em Lins, em julho de 2002, um sistema de tratamento físico-químico na saída do efluente da lagoa facultativa. Tal sistema consistiu na adição de cloreto férrico para permitir a coagulação e floculação, com separação posterior de sólidos por meio de sedimentação em decantador lamelar.

Após o tratamento físico-químico, o efluente da lagoa foi desinfetado com radiação ultravioleta pelo reator piloto de lâmpadas emersas operando em batelada, instalado no laboratório de Saúde Ambiental da FSP, em SP.

Com o tratamento físico-químico pode-se verificar a interferência dos sólidos (principalmente algas) nos ensaios de desinfecção, comparando-se os resultados da desinfecção do efluente da lagoa antes e após o tratamento físico-químico.

4.1.2 Controle dos processos

Todas as análises dos ensaios de desinfecção foram feitas no laboratório do Departamento de Saúde Ambiental da FSP/USP. Determinou-se as concentrações de coliformes totais e fecais (NMP/100 mL) dos efluentes da lagoa facultativa 1 antes e depois de receberem as doses da radiação ultravioleta. Dentre os parâmetros físico-químicos, determinou-se: pH, DQO, sólidos totais, sólidos em suspensão e absorvância a 254 nm e percurso óptico de 1 cm. Todos os exames e análises para caracterização da água residuária foram realizados segundo os métodos descritos em Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (1995).

O trabalho experimental foi dividido em três etapas distintas, que resumidamente estão descritas como segue:

- Grupo 1: ensaios de desinfecção desenvolvidos no reator piloto de lâmpadas emersas operando em batelada, instalado em São Paulo;
- Grupo 2: ensaios de desinfecção desenvolvidos no reator piloto de lâmpada emersa e fluxo contínuo, instalado em Lins;
- Grupo 3: ensaios de desinfecção desenvolvidos no reator piloto de lâmpadas emersas operando em batelada APÓS tratamento físico-químico com cloreto férrico.

4.2 Pontos de amostragem e de estudos de desinfecção da ETE de Lins

Foram coletadas amostras e desenvolvidos ensaios de desinfecção dos seguintes pontos da ETE de Lins, conforme mostra a figura 4.1: esquema dos pontos de amostragem e os ensaios de desinfecção.

- Ponto 1 : Entrada do esgoto bruto da ETE de Lins/SP (ANTES do tratamento preliminar e biológico);
- Ponto 2 : Saída do esgoto tratado biologicamente, (módulo I – lagoa anaeróbia seguida de lagoa facultativa);
- Ponto 3 : Saída do reator de desinfecção em batelada, de lâmpadas emersas, instalado em SP;

- Ponto 4 : Saída do reator de desinfecção de fluxo contínuo, de lâmpadas emersas, instalado em Lins;
- Ponto 5 : Saída do tratamento físico químico com cloreto férrico para a remoção sólidos suspensos e dissolvidos ANTES dos ensaios de desinfecção no reator batelada;
- Ponto 6 : Saída do tratamento físico químico com cloreto férrico APÓS o ensaio de desinfecção com reator de lâmpadas emersas operando em batelada, instalado em SP;

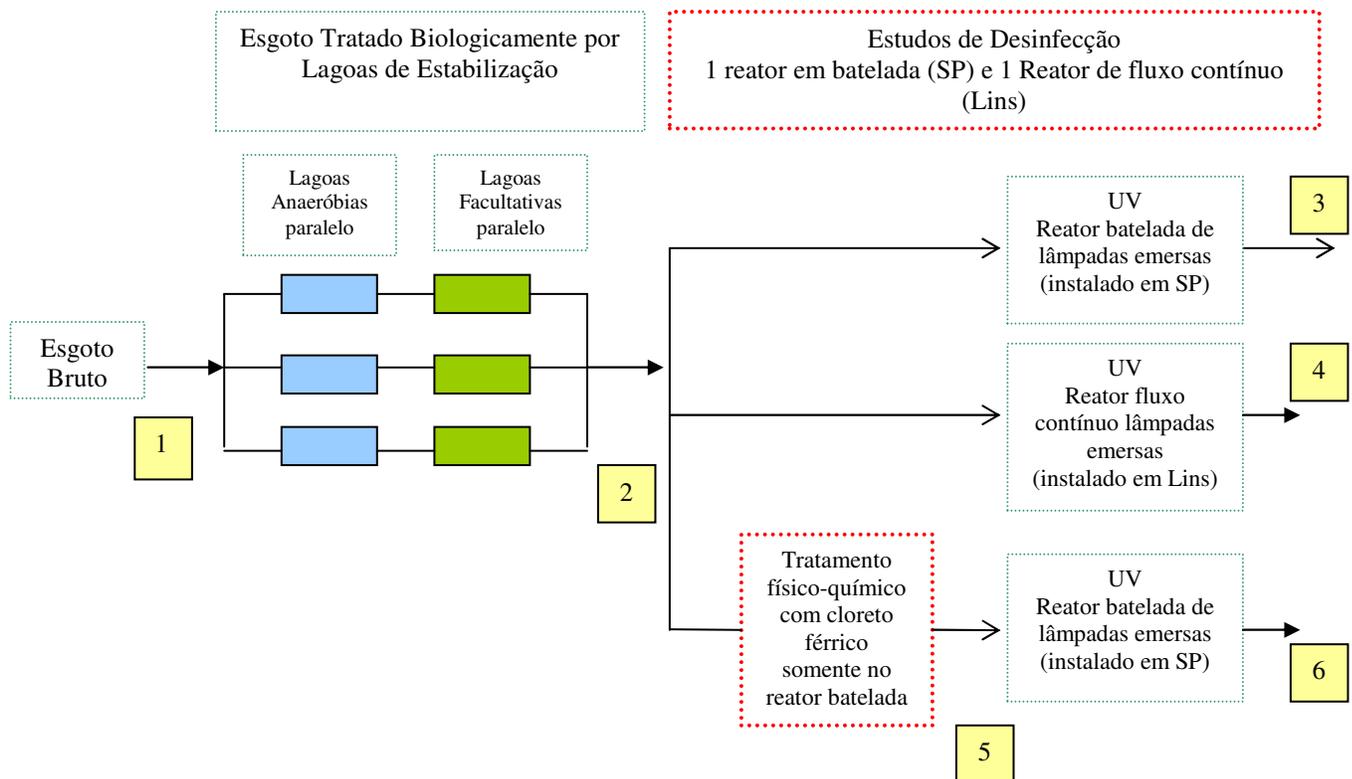


Figura 4.1: Esquema dos pontos de amostragem e ensaios de desinfecção

4.3 Materiais e equipamentos

4.3.1 Reator de desinfecção por radiação ultravioleta formato paralelepípedo reto-retangular, operação em batelada e lâmpadas emersas - Instalado em SP

A figura 4.2 mostra o reator piloto de lâmpadas emersas, operando em batelada.



Figura 4.2: Reator piloto de lâmpadas emersas, operando em batelada.

A câmara de desinfecção foi instalada em uma bancada, do tipo Jar Test, de forma que, durante a desinfecção, o esgoto estivesse sendo homogeneizado. Todo líquido presente na câmara de desinfecção foi mantido sob constante agitação com auxílio de agitadores magnéticos, para os microrganismos presentes serem uniformemente irradiados durante todos os ensaios. A velocidade do agitador foi mantida sempre a mesma durante todos os ensaios de desinfecção: 65 rpm. Os ensaios foram realizados para tempos de contato de 30, 60, 90 e 120 segundos.

4.3.1.1 Câmara de irradiação :

A câmara de irradiação foi construída em aço inoxidável de 1,5 mm de espessura, com dimensões de 45,0 cm de comprimento, 40,0 cm de largura e 15,0 cm de profundidade, projetada em formato paralelepípedo reto-retangular, com tampo removível em alumínio, o qual constitui a cúpula refletora, como ilustra a figura 4.3.

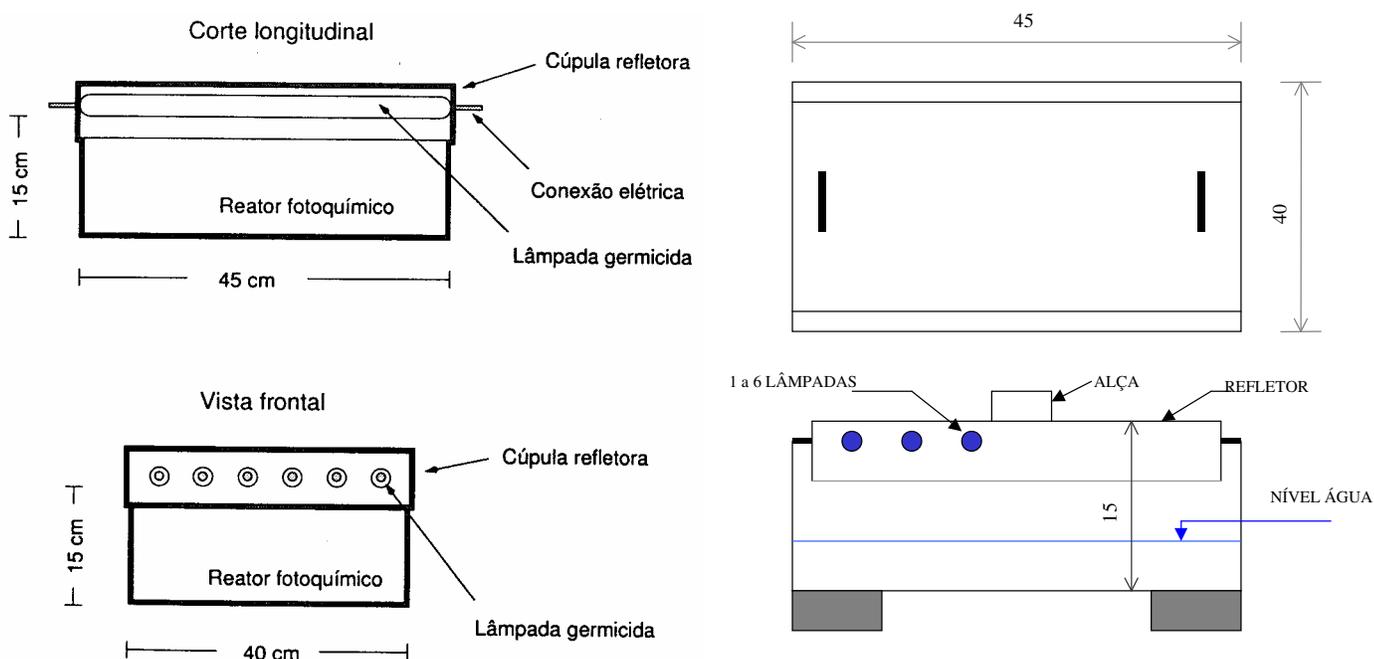


Figura 4.3: - Representação esquemática da câmara de irradiação. Fonte : BILLOTA, 200

Antes e depois de cada ensaio a câmara de desinfecção foi lavada com água de abastecimento público. As amostras foram analisadas logo após o ensaio de desinfecção. Todas as análises e exames utilizados nos ensaios seguiram os métodos descritos em Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (1995).

4.3.1.2 Cúpula refletora :

A cúpula refletora foi construída com chapas de alumínio polido de 1,5 mm de espessura. A fonte de emissão de radiação ultravioleta foi composta por 6 lâmpadas de baixa pressão de vapor de mercúrio, às quais foram instaladas na cúpula refletora, fixadas com silicone líquido de secagem rápida e dispostas paralelamente e distante 4,0 cm umas das outras. As lâmpadas tinham encaixes duplos e estavam ligadas a um reator de 20 W e 220 V. O número de lâmpadas pode ser variado de 1 a 6, para controle da radiação incidente. As lâmpadas não mantêm qualquer contato direto com a lâmina líquida, que foi de 4,0 cm (aproximadamente 7,2 litros). As lâmpadas foram ligadas 15 minutos antes de se iniciar a irradiação da água residuária. O acionamento das lâmpadas era realizado por um único interruptor, ligando suas extremidades à rede elétrica. As conexões das lâmpadas, apesar de estarem ligadas a um único interruptor, eram independentes, podendo-se optar por acender uma ou mais lâmpadas simultaneamente. A figura 4.4 mostra o esquema da cúpula refletora do reator batelada utilizado nos ensaios.

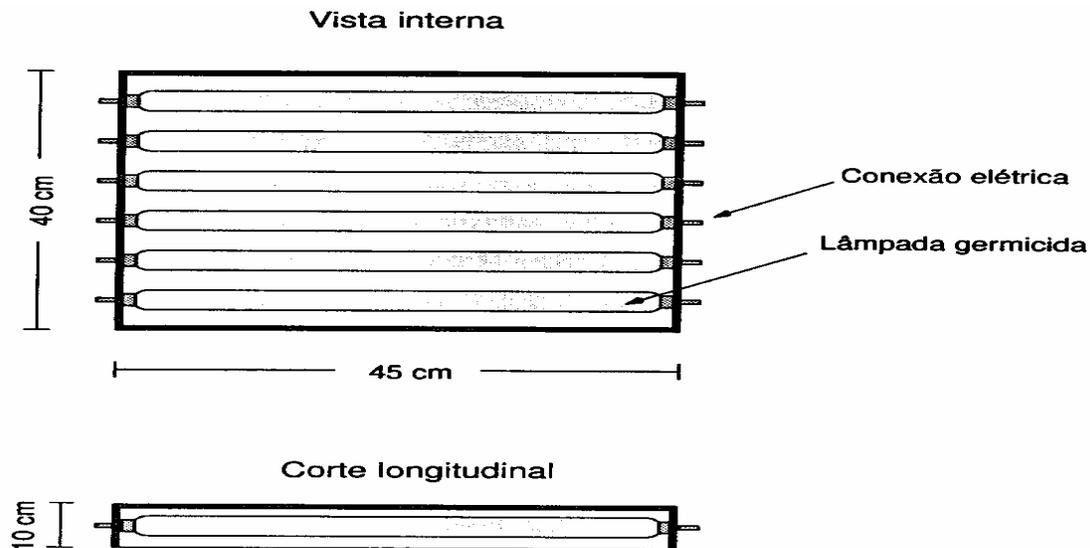


Figura 4.4: Representação esquemática da cúpula refletora. Fonte : BILLOTA, 2000

4.3.2 Reator de desinfecção por radiação ultravioleta retangular, de fluxo contínuo e lâmpada emersa - Instalado em Lins

A figura 4.5 mostra o reator piloto de lâmpada emersa e fluxo contínuo.



Figura 4.5: Reator piloto de lâmpada emersa e fluxo contínuo

O reator piloto, de lâmpada emersa e fluxo contínuo, utilizado nos ensaios com radiação ultravioleta foi instalado na ETE de Lins. A confecção deste reator se deu na Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. O reator foi alimentado pelo efluente da lagoa facultativa, por meio de bomba dosadora, com vazão controlada. Os ensaios foram feitos em duas vazões: 105 e 210 litros por hora. Com a variação das vazões, conseqüentemente pode-se variar o tempo de tempo de contato da radiação ultravioleta.

4.3.2.1 Câmara de irradiação :

A câmara de irradiação foi construída em aço inoxidável de 2,0 mm de espessura, com dimensões de 65,0 cm de comprimento, 13,0 cm de largura e 21,0 cm de profundidade, projetada em formato retangular, com tampo removível em alumínio, o qual constitui a cúpula refletora. O reator, por ser de fluxo contínuo, possui tubulação de entrada e saída de mesmo diâmetro (tubulação de PVC com saída de 3/4). Tais tubulações estão instaladas nas extremidades da câmara de irradiação, a uma distância de 4,0 cm de cada extremidade. A câmara de irradiação possui também 2 chicanas, as quais regulam o lâmina de efluente (esgoto).

A primeira chicana possui altura de 10,0 cm e a segunda, altura de 3,5 cm. Ambas se distanciam 9,0 cm das extremidades da cúpula. A parte central da cúpula, entre as chicanas, possui extensão de 45,0 cm. Antes e depois de cada ensaio a câmara de desinfecção foi lavada com água de abastecimento público.

As amostras foram analisadas logo após o ensaio de desinfecção. Todas as análises e exames utilizados nos ensaios seguiram os métodos descritos em Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (1995).

A figura 4.6 mostra a câmara de irradiação. É possível verificar as chicanas e tubulações de PVC.



Figura 4.6: Câmara de irradiação

4.3.2.2 Cúpula refletora :

A cúpula refletora foi construída com chapas de alumínio polido de 1,0 mm de espessura, com dimensões de 67,0 cm de comprimento, 14,1 cm de largura e 3,0 cm de profundidade, projetada em formato retangular. Na parte superior da cúpula (externa), está instalado um pequeno reator de 220 V, para alimentar a lâmpada germicida. A fonte de emissão de radiação ultravioleta foi composta por apenas 1 lâmpada de baixa pressão de vapor de mercúrio, à qual foi instalada na cúpula refletora, fixada com silicone líquido de secagem rápida. A lâmpada tinha encaixe duplo e estava ligadas ao reator. A lâmpada não mantém qualquer contato direto com a lâmina líquida. A lâmpada foi ligada 15 minutos antes de se iniciar a irradiação do efluente da lagoa. O acionamento da lâmpada era realizado por um único interruptor, ligado à rede elétrica.

A figura 4.7 mostra a cúpula refletora do reator piloto de lâmpada emersa e fluxo contínuo.



Figura 4.7: Cúpula refletora do reator piloto de fluxo contínuo e lâmpada emersa

A figura 4.8 ilustra o esquema do reator de fluxo contínuo : cúpula refletora e câmara de desinfecção.

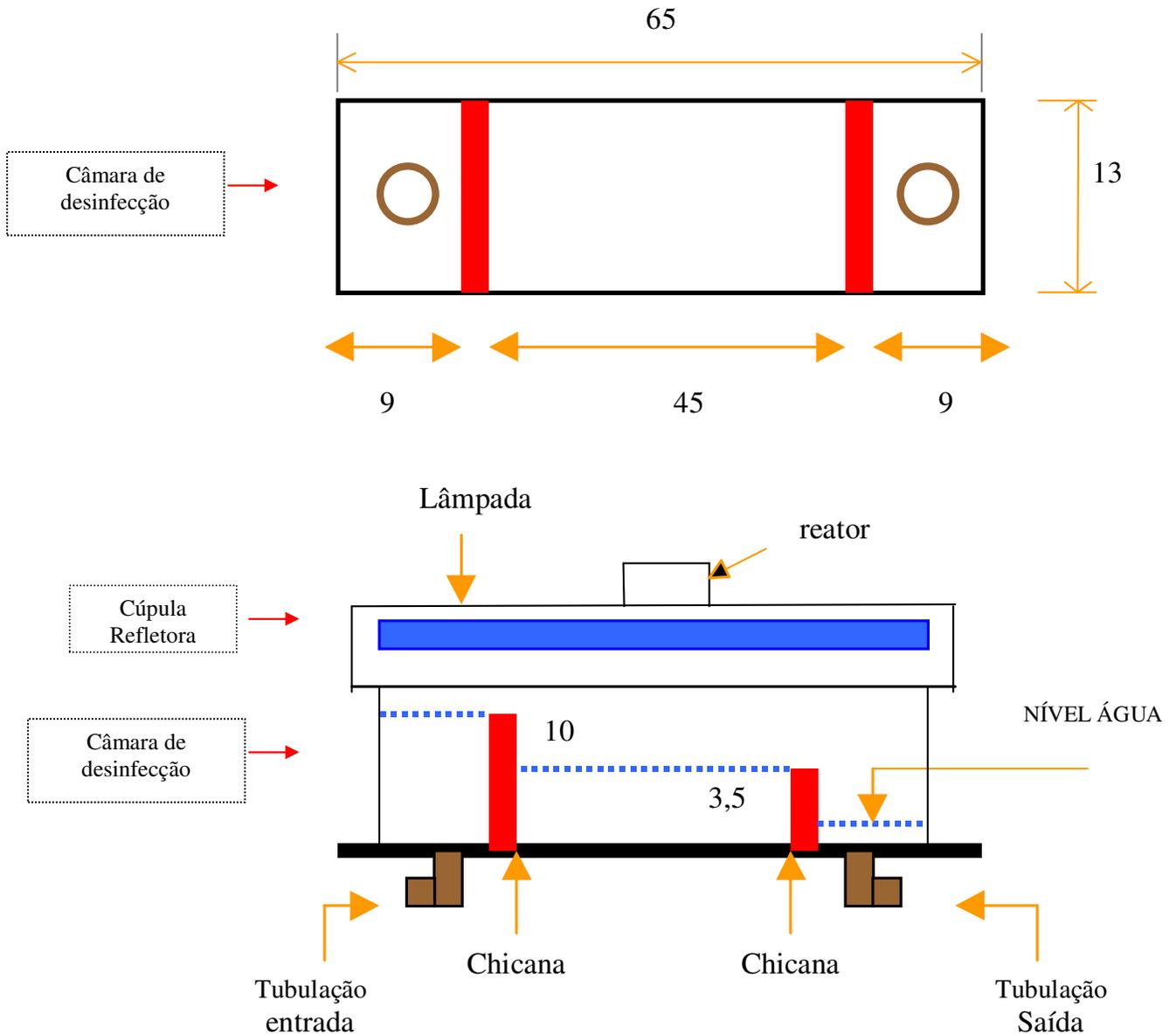


Figura 4.8: Esquema do reator de fluxo contínuo : cúpula refletora e câmara de desinfecção.

4.3.3 Sistema de tratamento físico-químico para remoção de sólidos Instalado em Lins

4.3.3.1 Introdução e aspectos gerais do tratamento físico-químico

O objetivo geral deste estudo foi o de avaliar os efeitos da coagulação e floculação dos efluentes da lagoa facultativa, com separação posterior de sólidos por meio de sedimentação em decantador lamelar, no estudo de desinfecção com a radiação ultravioleta. Foram avaliadas variáveis de natureza físico-química e indicadores biológicos, comparando-se os resultados com as aplicações de radiação ultravioleta sem remoção prévia de algas.

Neste trabalho, o coagulante empregado foi o cloreto férrico, em diversas concentrações, de forma a comparar a eficiência na remoção de sólidos e a eficiência na desinfecção com radiação ultravioleta.

4.3.3.2 Metodologia - Ensaio de Coagulação/Floculação/Sedimentação

Primeiramente, os estudos de coagulação foram feitos com cloreto férrico em diferentes concentrações. A unidade piloto de tratamento físico-químico foi alimentada de forma contínua com os efluentes de lagoa facultativa através de bombeamento. A vazão de alimentação foi mantida constante em todo o estudo em torno de 210 L/hora, mantendo-se fixos os tempos de detenção na mistura rápida (volume útil 4,3 L e tempo de detenção de 1,5 minutos), no tanque de floculação (volume útil 93 L e tempo de detenção de 30 minutos) e no decantador lamelar (volume útil 66 L e tempo de detenção de 20 minutos).

Variou-se em cada ensaio a dosagem de cloreto férrico, cujas soluções foram previamente preparadas em São Paulo. A alimentação do coagulante na unidade de coagulação foi feita por meio de bomba dosadora. Nos ensaios realizados, foram determinadas as seguintes características dos esgotos antes e depois do tratamento físico-químico:

- Variáveis de natureza biológica: Concentração e identificação de algas, concentração e identificação de ovos de helmintos, coliformes totais e *Escherichia coli*;
- Variáveis físico-químicas: DBO₅, DQO, nitrogênio total e amoniacal, fósforo total e ortofosfatos e sólidos em suspensão.

Paralelamente, foi determinada a produção de lodo através da determinação dos volumes produzidos e da concentração de sólidos em suspensão.

4.3.3.3 Ensaios de desinfecção por radiação ultravioleta dos efluentes da lagoa facultativa após receberem tratamento físico-químico

Os efluentes do tratamento físico-químico foram submetidos a ensaios de desinfecção por radiação UV, tanto em Lins, utilizando-se o reator piloto de fluxo contínuo e lâmpadas emersas, quanto em São Paulo, utilizando-se o reator piloto de lâmpadas emersas operando em batelada.

No reator piloto de fluxo contínuo, o qual possui apenas uma lâmpada germicida de 15 W de potência nominal, foram feitos testes com duas vazões diferentes, variando assim o tempo de contato. A lâmina líquida foi de 4,0 cm.

No reator em batelada de lâmpadas emersas foram empregadas lâminas líquidas de 4,0 cm e tempos de exposição de 30, 60, 90 e 120 segundos. Visando a redução da intensidade de radiação, algumas lâmpadas do reator batelada foram desligadas em determinados ensaios, de forma a compor as doses médias aplicadas. O sistema de desinfecção no reator em batelada foi mantido sob agitação a 65 rpm para evitar-se a deposição de sólidos em suspensão.

Os ensaios de desinfecção foram feitos com o efluente da lagoa facultativa com e sem tratamento físico-químico, utilizando-se o cloreto férrico em diversas concentrações.

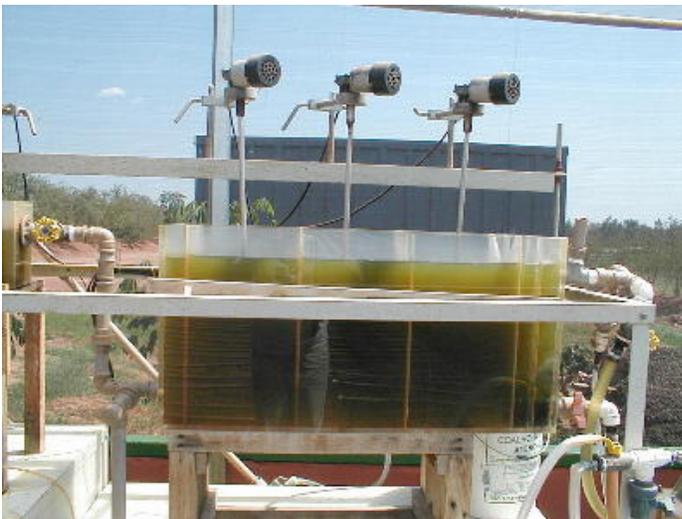
Para os ensaios de desinfecção após o tratamento físico-químico, o reator piloto de fluxo contínuo foi posicionado em série com o sistema de tratamento físico-químico. A figura 4.9 mostra o sistema de tratamento físico-químico em série com o reator de lâmpada emersa de fluxo contínuo.



Figura 4.9: Sistema de tratamento físico-químico em série com o reator de lâmpada emersa de fluxo contínuo.

A figura 4.10 mostra os detalhes do sistema de tratamento físico-químico – tanques de mistura rápida / floculação e tanque de decantação.

Detalhe dos tanques de mistura rápida e floculação



Detalhe do tanque de decantação



Figura 4.10: detalhes do sistema físico-químico: tanques de mistura rápida / floculação e tanque de decantação.

4.3.4 Lâmpadas germicidas

As lâmpadas germicidas foram utilizadas nos dois reatores pilotos, de batelada e o de fluxo contínuo. No total, foram utilizadas 7 lâmpadas : 6 no reator piloto em batelada e 1 no reator piloto de fluxo contínuo. As lâmpadas eram da marca Phillips e possuíam potência nominal de 15 W cada. A figura 4.11 e tabela 4.1 mostram a lâmpada germicida utilizada nos ensaios e as especificações técnicas.

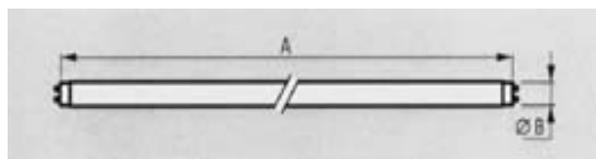
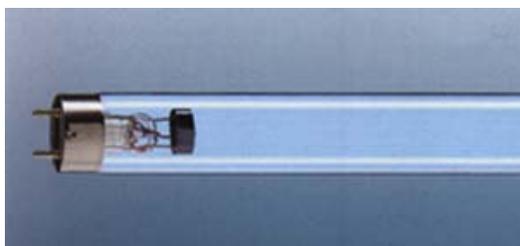


Figura 4.11: lâmpadas germicidas da Phillips utilizada nos ensaios e especificações técnicas

Tabela 4.1: Especificações técnicas das lâmpadas germicidas Phillips utilizadas nos ensaios.

Ref. / Tipo / Código PHILIPS	Outros Códigos/ ANSI/LIF	Especificações	Tipo Base	Lamp. Voltage	Lamp. Current Amp.	Vida útil horas	Tamanho A	Tamanho B
TUV 15W	G15T8	Radiação UVC-C 4.5W	G13	51	0.34	8000	450 mm	28 mm

- Alto rendimento de radiação UV-C
- Vida útil média: 8000 horas
- Lâmpadas feitas em vidro especial altamente transparente

4.4 Análises dos ensaios de desinfecção, realizadas no laboratório da FSP/USP

As amostras foram coletadas em Lins e levadas para São Paulo, preservadas em isopor contendo gelo para análise microbiológica. As amostras de efluente que seriam utilizadas para os ensaios de desinfecção em São Paulo, no reator em batelada foram levadas em bombonas plásticas, a temperatura ambiente.

Determinou-se as concentrações de coliformes totais e fecais (NMP/100 mL) dos efluentes da lagoa facultativa 1 antes e depois de receberem as doses do desinfetante. A avaliação da concentração de coliformes totais e fecais, antes e depois da irradiação, foi realizada através da utilização do método Colilert. Os métodos Colilert e de determinação de colifagos serão descritos posteriormente, neste mesmo capítulo.

Para a determinação de colifagos, utilizou-se a cepa de *E.coli* recomendada pela CETESB. A concentração dos colifagos foi determinada utilizando-se meio TSA modificado (unidades formadoras de placa) e a concentração de *Clostridium perfringens* foi feita pela técnica dos tubos múltiplos utilizando-se meio DRCM (*Diferencial Rich Clostridium Medium*) para o teste presuntivo e o leite tornassolado para o teste confirmativo.

Dentre os parâmetros físico-químicos, determinou-se: pH, DQO, sólidos totais, sólidos em suspensão e absorvância a 254 nm e percurso óptico de 1 cm. Todos os exames e análises para caracterização da água residuária foram realizados segundo os métodos descritos em Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (1995).

4.4.1 Equipamentos utilizados nas análises

Os equipamentos utilizados nas análises foram os seguintes:

1. **Espectofotômetro** : Marca : Shimadzu e Modelo : UV - 1203
2. **Medidor de pH** : Marca : Digimed e Modelo : DMPH - 2

3. **Turbidímetro** : Marca : Hach e Modelo : Model 2100 A

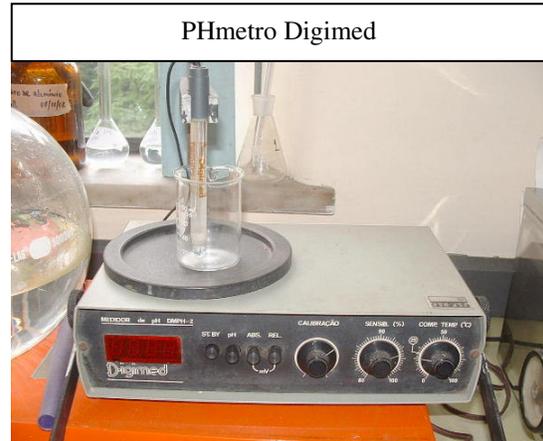
Escalas : 0,0 a 0,2 NTU
0,0 a 1,0 NTU
0,0 a 1,0 NTU
0,0 a 10,0 NTU
0,0 a 100,0 NTU
0,0 a 1000,0 NTU

4. **Equipamento de Jar Test** : Marca Policontrol e Modelo : Turb - Floc / 2C.

Velocidade : 15 a 105 rpm

5. **Balança analítica digital** : Marca : Mettler Toledo e Modelo : AG 204

A figura 4.12 mostra os equipamentos de laboratório utilizados nas análises.



Balança Analítica Digital Mettler Toledo



Figura 4.12: equipamentos utilizados nas análises

4.4.2 Descrição do método Colilert - A avaliação da concentração de coliformes totais e fecais.

O método detecta coliformes totais e *E. coli*, simultaneamente, em 24 horas ou menos. Para o método, não há necessidade de nenhuma confirmação, nem exige a necessidade de limpeza de utensílios de vidro e de contagem de colônia. O Colilert utiliza tecnologia de substrato definido [Defined Substrate Technology® (DST®)] para detecção de coliformes totais e *E. coli* em água. A figura 4.13 mostra o método Colilert.

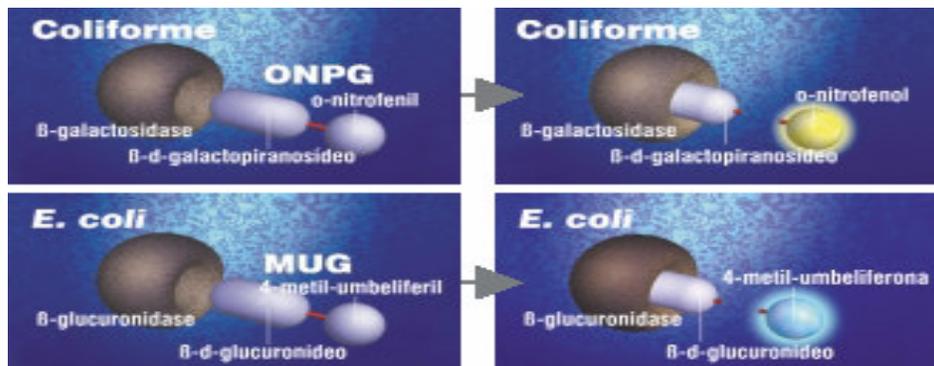


Figura 4.13: Reprodução do Colilert.

À medida que os coliformes se reproduzem no Colilert, eles utilizam β -galactosidase para metabolizar o indicador de nutriente ONPG e alterá-lo de incolor para amarelo. O *E. coli* utiliza β -glucuronidase para metabolizar MUG e criar fluorescência.

Já que a maioria dos não coliformes não conta com estas enzimas, eles não podem se reproduzir e interferir. Os poucos não coliformes que têm estas enzimas são seletivamente suprimidos pela matriz especificamente formulada do Colilert. Esta abordagem diminui a incidência de falso-positivos e falso-negativos. Os poucos não coliformes que têm estas enzimas são seletivamente suprimidos pela matriz especificamente formulada do Colilert. Esta abordagem diminui a incidência de falso-positivos e falso-negativos.

O Colilert é aprovado internacionalmente quanto ao cumprimento dos requisitos para testes, especialmente organizações norte-americanas EPA, AOAC, IBWA, EBWA, por outras organizações internacionais e aceito pelos Métodos Padrão para Exames de Água e Esgoto (*Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*).

O método identifica a *E. coli* especificamente, o que elimina resultados falso-positivos por *Klebsiella pneumoniae*. Suprime até 2 milhões de heterótrofos por 100 ml. Elimina a interpretação subjetiva presente nos métodos tradicionais e detecta um único coliforme ou *E. coli* viável por amostra. O método é eficaz em relação ao custo: 20-50% mais barato que os métodos tradicionais. Propicia custos com equipamentos 95% mais baixos quando comparados com a filtração por membrana. Reduz as tarefas necessárias durante a noite e durante o final de semana e permite duração de até 12 meses para armazenagem em temperatura ambiente desde a data de fabricação. Uma embalagem frascote de Colilert pode ser utilizada para testes de presença / ausência (P/A) ou para teste de quantificação.

A. Teste de Presença/ Ausência

A figura 4.14 mostra o teste de Presença / Ausência do Colilert.



Figura 4.14: Etapas do teste de presença e ausência

1. O reagente é adicionado à amostra e levado ao incubador por 24 horas a uma temperatura de 35°C.
2. Após o período de incubação, os resultados podem ser lidos :
 - Incolor = negativo
 - Amarelo = coliformes totais
 - Amarelo/fluorescente = *E. coli*

As figuras acima mostram as tapas e cores formadas nos tubos após o período de incubação.

B. Teste de Quantificação

A figuras 4.15 mostra as etapas do procedimento Colilert.



Figura 4.15: Etapas do teste de quantificação

1. O reagente é adicionado à amostra e misturado vigorosamente.
2. A solução é então despejada no Quanti-Tray® (contagem de 1 a 200) ou no Quanti-Tray®/2000 (contagem de 1 a 2.419).
3. A cartela Quanti-Tray é lacrada e colocada no incubador por 24 horas a uma temperatura de 35°C.
4. Após a incubação, os resultados podem ser lidos na cartela Quanti-Tray ou Quanti-Tray/2000:

4.4.3 Descrição do método de determinação de Colifagos

Segundo Razolini (2003), a determinação de colifagos foi realizada conforme Norma CETESB L5.225- Determinação de colifagos em amostras de água (1990) e *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (20th ed., 2000).

A cultura bacteriana hospedeira empregada foi a *Escherichia coli* C (ATCC 13706). Para a realização do teste volumes de 5 mL de amostra foram inoculados a 4 tubos de ensaio contendo meio de cultura ágar de soja e triptona modificado, e adicionado 1 mL da cultura da bactéria hospedeira em cada um dos tubos contendo o meio de cultura e a amostra. Após homogeneização o conteúdo de cada tubo foi vertido em placas de Petri contendo ágar de soja e triptona (Razolini, 2003). As placas de Petri foram incubadas a $35 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ por um período de 4 a 6 horas, a seguir realizou-se a contagem de todas as placas de lise formadas no ágar. Os resultados foram expressos em Unidades Formadoras de Placas (UFP)/100 mL.

4.5 Determinação da Intensidade média de radiação ultravioleta a 254 nm com ferrioxalato de potássio - Ensaio de Actinometria

A intensidade média de radiação ultravioleta no interior das câmaras de desinfecção foi determinada por meio de ensaio de actinometria.

Este estudo teve como objetivo obter-se uma melhor distribuição de energia na câmara de desinfecção, e com isto, uniformizar a dose aplicada ($I \times t$).

Pela utilização de substâncias actinométricas - nesta pesquisa foi utilizado o ferrioxalato de potássio - mediu-se a intensidade média no volume ou área da câmara de desinfecção. Estas substâncias actinométricas possuem rendimento quântico conhecido para o comprimento de onda de interesse. A intensidade média de radiação foi calculada a partir da quantidade de reagente consumido ou produto formado durante o tempo de irradiação (Daniel, 2001).

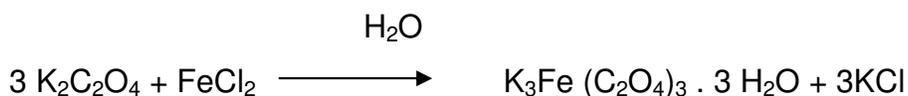
O procedimento do ensaio de actinometria e a preparação do ferrioxalato de potássio foi realizado segundo a metodologia proposta por HATCHARD & PARKER (1953).

O método de actinometria se baseia na medida da concentração do reagente actinômetro submetido a mudança de estado de oxidação pela incidência da radiação ultra violeta (Daniel, 2001).

A solução de ferrioxalato de potássio atende os requisitos necessários para um bom actinômetro químico (Billota, 2000).

Primeiramente, foi necessário preparar os cristais de ferrioxalato de potássio. Para tal, utilizou-se oxalato de potássio 1,5 molar e cloreto férrico 1 molar. Esta síntese foi feita em ambiente escuro. Os cristais de ferrioxalato de potássio foram preparados na Escola de Engenharia de São Carlos em 2002 e gentilmente cedidos para as análises de actinometria desta tese.

A reação de preparação do ferrioxalato de potássio é a seguinte :



Após a síntese dos cristais de ferrioxalato de potássio, foi necessário preparar a solução de ferrioxalato de potássio. Esta foi feita, dissolvendo-se os cristais em água, adicionando-se posteriormente H_2SO_4 1N.

Depois, foi construída a curva de calibração de Fe^{+2} , utilizando-se como reagentes FeSO_4 , H_2SO_4 1N, 1,10 fenantrolina monoidrato 0,1 %, água e solução tampão de acetato de sódio 1 N.

Para a construção da curva, foram utilizados 11 balões volumétricos de 25 ml. Adicionou-se os reagentes em proporções pré-determinadas pelo método, agitou-se e deixou-se em repouso por 30 minutos para o desenvolvimento de cor. Cada um balões desenvolveu uma coloração diferente, gradual (de transparente a roxo mais intenso).

Após o desenvolvimento de cor dos balões, foi medida a absorvância em espectrofotômetro a 510 nm, em cubetas de 1,0 cm. Os resultados foram plotados, lançando-se a absorvância contra a quantidade de ferro $^{2+}$ adicionada. Todas estas operações foram feitas em ambiente com iluminação reduzida. O procedimento do ensaio de actinometria foi feito após as operações descritas anteriormente. Foi necessário irradiar a solução de actinômetro por um período suficiente para produzir concentração de Fe^{2+} na proporção desejada, tomando-se o cuidado de evitar o consumo de ferrioxalato de potássio superior a 10 %. Durante os experimentos, a solução de ferrioxalato de potássio foi mantida em agitação.

Foi coletada uma amostra antes e depois da irradiação. Foi pipetada uma alíquota da solução, adicionada a solução já preparada de fenantrolina e a solução tampão de acetato de sódio. Após agitação, as amostras foram deixadas em repouso por pelo menos 30 minutos. Posteriormente, foi medida a absorvância a 510 nm em cubeta de 1,0 cm. Foi obtida a quantidade de ferro $+2$ antes e depois da irradiação, utilizando a curva de calibração descrita anteriormente.

A equação utilizada foi a seguinte : $C_{Fe^{2+}} = \frac{C_{medida} \cdot V_{frasco}}{V_{aliquota}}$

Onde :

- $C_{Fe^{2+}}$: concentração de Fe^{2+} na solução de ferrioxalato de potássio irradiada com ultravioleta (mg/l);
- C_{medida} : concentração de Fe^{2+} obtida pela curva de calibração de determinação espectrofotométrica de Fe^{2+} (mg/l);
- V_{frasco} : volume do frasco (ml);
- $V_{Alíquota}$ (ml).

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

$$D = \frac{[Fe^{2+}]_D - [Fe^{2+}]_A}{\phi_{Fe}} \times 4,719 \cdot 10^5$$

onde :

D : dose de radiação ultravioleta a 254 nm incidente na superfície irradiada (mWs/cm³);

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

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

ϕ_{Fe} : rendimento quântico de produção de Fe^{2+} a 254 nm = 1,26 (íon-grama / Einstein);

$4,729 \cdot 10^5$: fator de conversão íon-grama.Einstein para íon-grama.mJ/cm³.

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

$$I_0 = \frac{D \times L}{t}$$

onde :

I_0 : intensidade média de radiação ultravioleta incidente na superfície irradiada (mW/cm²);

L : espessura da lâmina líquida;

t : tempo de exposição

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

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

onde :

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

t : tempo de exposição (minutos);

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

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

$$P = \frac{D \times V_{\text{instalação}}}{1000 \times t}$$

onde :

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

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

A concentração de Fe^{2+} foi feita imediatamente após os ensaios de fotólise. Todas as operações foram feitas também em ambiente com iluminação reduzida. As lâmpadas de baixa pressão de vapor de mercúrio foram ligadas 15 minutos antes de se iniciar os ensaios.

A lâmina líquida dos reatores (batelada e contínuo) foi fixada em 1,0 centímetro em todos os experimentos.

No reator em batelada, contendo 6 lâmpadas de 15 W cada, os ensaios de actinometria foram feitos da seguinte forma, como mostra a tabela 4.2.

Tabela 4.2: Ensaios de actinometria do reator de lâmpadas emersas e operação em batelada

Tempo de irradiação	Número de lâmpadas acesas	Espessura da lâmina líquida	Número de ensaios de actinometria feitos	Resultados das absorvâncias medidas após a actinometria
1 minuto	6	1 cm	4	A = 0,433 A = 0,383 A = 0,385 A = 0,430
2 minutos	3	1 cm	4	A = 0,596 A = 0,438 A = 0,755 A = 0,742

No reator de fluxo contínuo, contendo apenas lâmpada de 15 W, os ensaios de actinometria foram feitos da seguinte forma, como mostra a tabela 4.3.

Tabela 4.3: Ensaios de actinometria do reator de lâmpada emersa e operação contínua

Tempo de irradiação	Número de lâmpadas acesas	Espessura da lâmina líquida	Número de ensaios de actinometria feitos	Resultados das absorvâncias medidas após a actinometria
2 minutos	1	1 cm	4	A = 0,665 A = 0,531 A = 0,683 A = 0,576

Os ensaios em branco, os quais tinham como reagentes 22,5 ml de água destilada + 5,0 ml sol. fenantrolina + 22,5 ml sol. tampão, obtiveram o seguinte resultado de absorvância (antes da irradiação): 0,0058.

Os ensaios da amostra bruta (sem irradiar), os quais tinham como reagentes : 2,5 ml de amostra sem irradiar + 5,0 ml de sol. fenantrolina + 22,5 ml de sol. tampão + 20 ml água destilada, obtiveram o seguinte resultado de absorvância (antes da irradiação): 0,269.

Todos os ensaios descritos acima foram feitos no laboratório do departamento de saúde ambiental da Faculdade de Saúde Pública da USP, em São Paulo.

Capítulo 5

Resultados e Discussões

Neste capítulo são apresentados os resultados e discussões dos ensaios de desinfecção por meio de radiação ultravioleta do efluente do sistema de lagoas. São apresentados também os resultados e discussões dos ensaios de desinfecção por meio de radiação ultravioleta dos efluentes do sistema de lagoas após tratamento físico-químico por meio de cloreto férrico.

Foram realizados, basicamente, três grupos de ensaios:

- grupo 1 – Desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizados em batelada por meio de reator piloto de lâmpadas emersas;
- grupo 2 – Desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizados em fluxo contínuo por meio de reator piloto de lâmpada emersa;
- grupo 3 – Desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizados em batelada por meio de reator piloto de lâmpadas emersas após tratamento físico químico com cloreto férrico.

5.1 Resultados dos ensaios de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizados em batelada por meio de reator de lâmpadas emersas sem tratamento físico-químico.

Este primeiro grupo de análises consistiu em 13 ensaios em que o efluente do sistema de lagoas recebeu a aplicação da radiação ultravioleta por meio de reator de lâmpadas emersas, operando em batelada. Algumas coletas foram feitas após consecutivos dias de chuva, diluindo um pouco o efluente. Outro fator importante é a elevada concentração de sólidos em suspensão dos efluentes da lagoa facultativa. Pode-se verificar, em diversas coletas, a grande quantidade de algas presentes nos efluentes das lagoas facultativas.

As tabelas 5.1 a 5.13 mostram os resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidos nos 13 ensaios de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizados em batelada por meio de reator de lâmpadas emersas.

As figuras 5.1 a 5.13 mostram as curvas da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidos nos 13 ensaios de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizados em batelada por meio de reator de lâmpadas emersas.

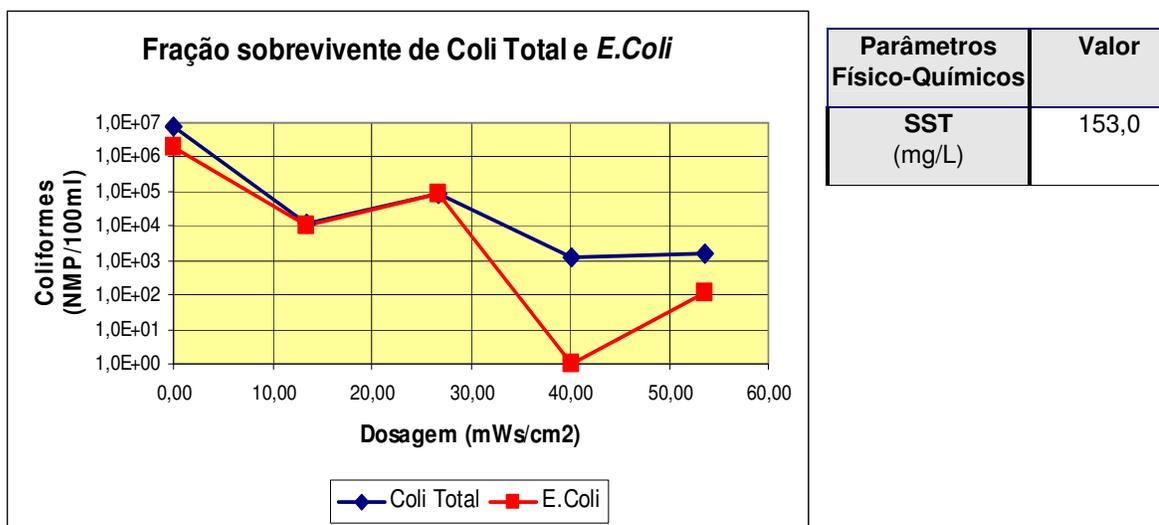
A tabela 5.1 mostra os resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidos no 1º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizados em batelada por meio de reator de lâmpadas emersas.

Tabela 5.1: Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidos no 1º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator de lâmpadas emersas.

Data Da coleta	Dosagem (mWs/cm ²)	Tempo de contato (seg.)	Coli Total (NMP/100 mL)	<i>E. coli</i> (NMP/100 mL)
1º ensaio	0	0	8,1 x 10 ⁶	1,9 x 10 ⁶
20/Mai/02	13,4	30	1,2 x 10 ⁴	1,0 x 10 ⁴
	26,8	60	9,2 x 10 ⁴	9,2 x 10 ⁴
	40,2	90	1,3 x 10 ³	< 1
	53,6	120	1,5 x 10 ³	1,1 x 10 ²

A figura 5.1 mostra as curvas da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidas no 1º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator de lâmpadas emersas.

Figura 5.1: Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidos no 1º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator de lâmpadas emersas.



No ensaio n° 1 foi necessária dose de 40,2 mWs/cm² e tempo de contato de 90 segundos para a redução praticamente completa dos coliformes fecais (valor avaliado < 1CF/100 mL). Os resultados foram bastante satisfatórios, apesar da elevada concentração de SST no efluente (153 mg/L). Na dose de 53,6 e tempo de contato de 120 segundos observou-se um aumento do número de coliformes fecais e não redução, se comparado ao tempo de exposição de 90 segundos. Tal fato deve-se, provavelmente a limitações do método Colilert ou falha em alguma etapa do ensaio de desinfecção.

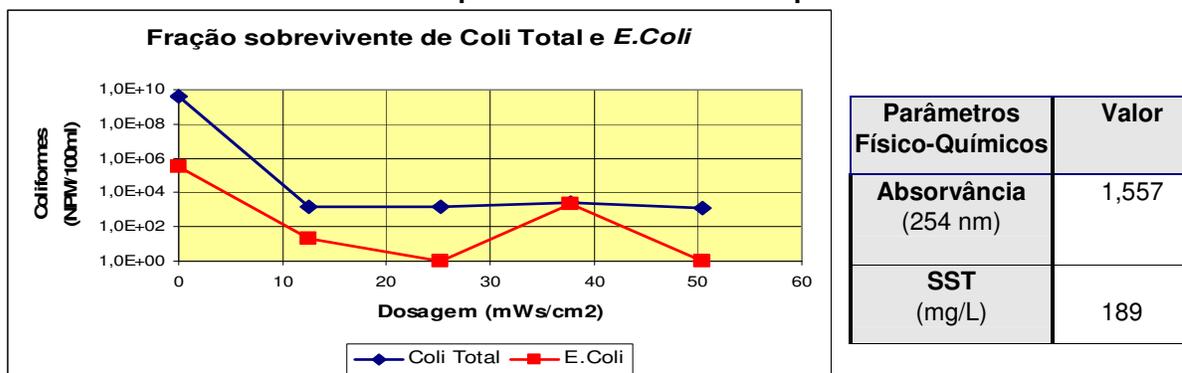
A tabela 5.2 mostra os resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidos no 2º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizados em batelada por meio de reator de lâmpadas emersas.

Tabela 5.2: Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidos no 2º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator de lâmpadas emersas.

Data da coleta	Dosagem (mWs/cm ²)	Tempo de contato (seg.)	Coli Total (NMP/100 mL)	<i>E. coli</i> (NMP/100 mL)
2º ensaio	0	0	$4,3 \times 10^9$	$3,4 \times 10^5$
03/Jun/02	12,6	30	$1,4 \times 10^3$	$2,0 \times 10^1$
	25,2	60	$1,4 \times 10^3$	< 1
	37,8	90	$2,6 \times 10^3$	$2,0 \times 10^3$
	50,4	120	$1,3 \times 10^3$	<1

A figura 5.2 mostra as curvas da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidas no 2º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator de lâmpadas emersas.

Figura 5.2: Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidos no 2º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator de lâmpadas emersas.



No ensaio n° 2 foi necessária dose de 12,6 mWs/cm² e tempo de contato de 30 segundos para a redução de coliformes abaixo de 20 CF/100 mL. Dose de 25,2 mWs/cm² e tempo de contato de 60 segundos foi suficiente para a redução praticamente completa dos coliformes fecais (valor avaliado < 1 CF/100 mL). Os resultados foram bastante satisfatórios, apesar da elevada concentração de SST no efluente (189,0 mg/L) e elevada absorvância (1,557). Na dose de 37,8 e tempo de contato de 90 segundos observou-se um aumento do número de coliformes fecais e não redução, se comparado ao tempo de exposição de 60 segundos. Tal fato deve-se, provavelmente a limitações do método Colilert ou falha em alguma etapa do ensaio de desinfecção. Já na dose de 50,4 e tempo de contato de 120 segundos, a redução do numero de coliformes fecais voltou a ser praticamente completa.

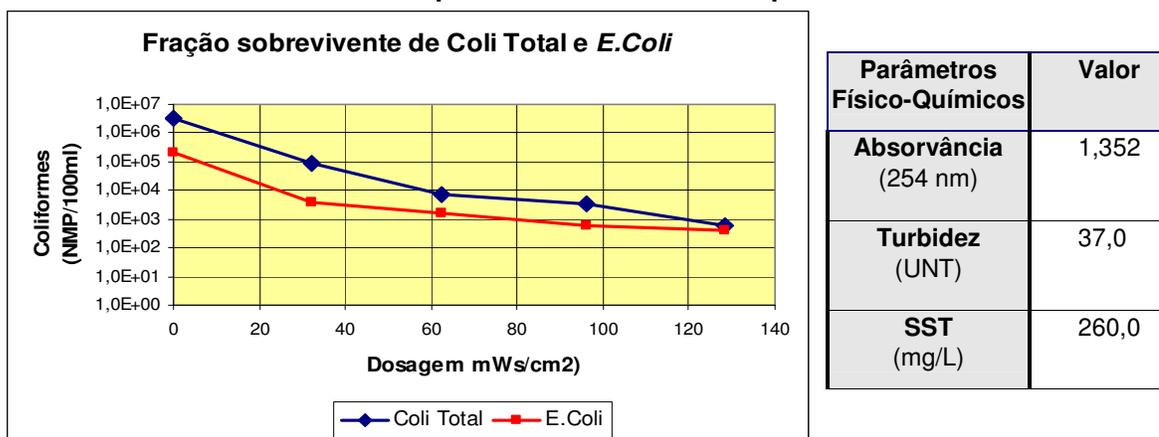
A tabela 5.3 mostra os resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidos no 3º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizados em batelada por meio de reator de lâmpadas emersas.

Tabela 5.3: Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidos no 3º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator de lâmpadas emersas.

Data da coleta	Dosagem (mWs/cm ²)	Tempo de contato (seg.)	Coli Total (NMP/100 mL)	<i>E. coli</i> (NMP/100 mL)
25/Jun/02	0	0	$3,4 \times 10^6$	$2,2 \times 10^5$
	32,1	30	$9,2 \times 10^4$	$3,6 \times 10^3$
	62,4	60	$7,2 \times 10^3$	$1,5 \times 10^3$
	96,3	90	$3,2 \times 10^3$	$5,9 \times 10^2$
	128,4	120	$5,6 \times 10^2$	$4,1 \times 10^2$

A figura 5.3 mostra as curvas da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidas no 3º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator de lâmpadas emersas.

Figura 5.3: Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidos no 3º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator de lâmpadas emersas.



No ensaio n° 3 foi necessária dose de 96,3 mWs/cm² e tempo de contato de 90 segundos para a redução dos coliformes fecais para $5,9 \times 10^2$ CF/100 mL. Os resultados deste ensaio não foram muito satisfatórios, em função da elevada concentração de SST (260,0 mg/L) e, conseqüentemente, elevada turbidez (37,0 UNT) e absorvância (1,352), o que prejudica na penetração da radiação ultravioleta no meio líquido.

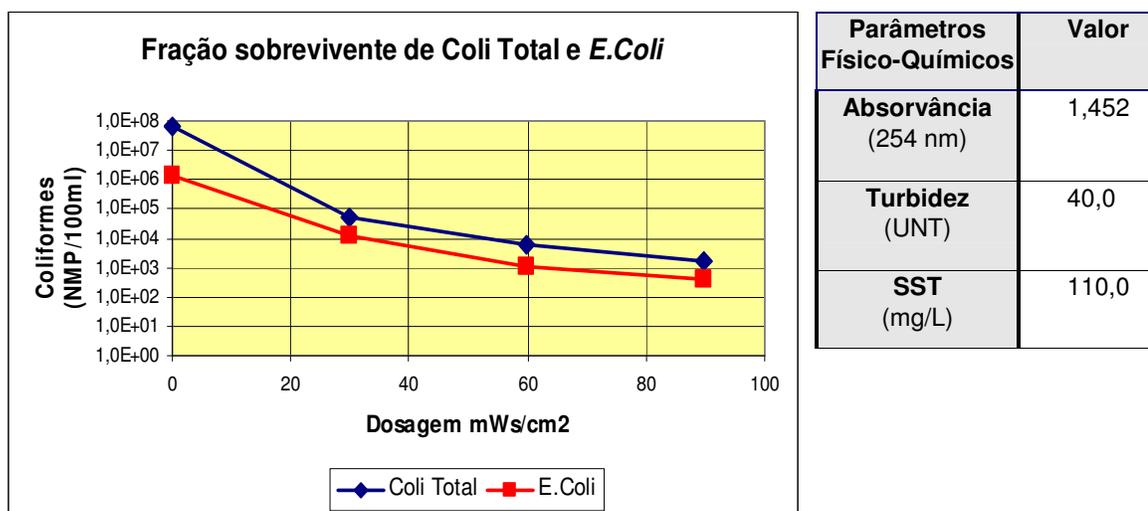
A tabela 5.4 mostra os resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidos no 4º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizados em batelada por meio de reator de lâmpadas emersas.

Tabela 5.4: Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidos no 4º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator de lâmpadas emersas.

Data da coleta	Dosagem (mWs/cm ²)	Tempo de contato (seg.)	Coli Total (NMP/100 mL)	<i>E. coli</i> (NMP/100 mL)
11/Jul/02	0	0	$6,8 \times 10^7$	$1,4 \times 10^6$
	29,9	30	$5,1 \times 10^4$	$1,2 \times 10^4$
	59,8	60	$5,7 \times 10^3$	$1,1 \times 10^3$
	89,7	90	$1,6 \times 10^3$	$4,1 \times 10^2$
	119,6	120	<1	<1

A figura 5.4 mostra as curvas da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidas no 4º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator de lâmpadas emersas.

Figura 5.4: Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidos no 4º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator de lâmpadas emersas.



No ensaio n° 4 foi necessária dose de 59,8 mWs/cm² e tempo de contato de 60 segundos para a redução dos coliformes fecais para 1100 CF/100 mL. No tempo de contato de 90 segundos e dose de 89,7 mWs/cm² a concentração de *E. coli* reduziu para 410 CF/100 mL, chegando a ser eliminada totalmente na dose de 119,6 mWs/cm² e tempo de contato de 120 segundos. Apesar dos parâmetros físico-químicos estarem elevados (turbidez de 40 UNT, absorvância de 1,452 e SST de 110 mg/L), a redução de coliformes fecais foi bastante satisfatória.

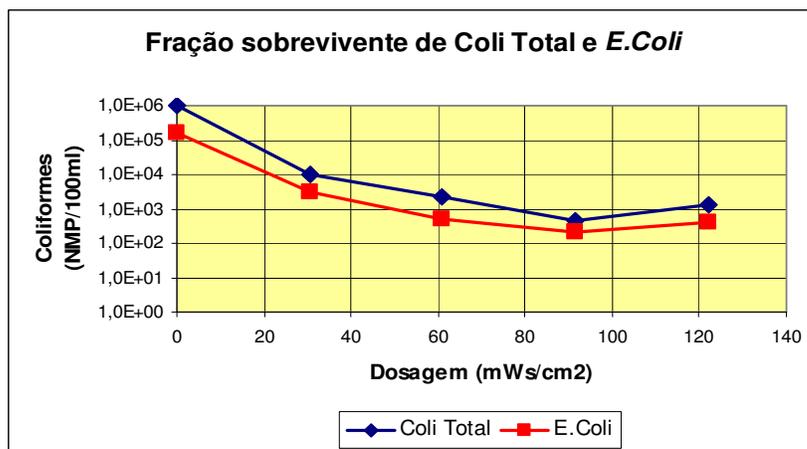
A tabela 5.5 mostra os resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidos no 5º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizados em batelada por meio de reator de lâmpadas emersas.

Tabela 5.5: Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidos no 5º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator de lâmpadas emersas.

Data da coleta	Dosagem (mWs/cm ²)	Tempo de contato (seg.)	Coli Total (NMP/100 mL)	<i>E. coli</i> (NMP/100 mL)
5º ensaio	0	0	$9,8 \times 10^5$	$1,6 \times 10^5$
24/Jul/02	30,5	30	$9,8 \times 10^3$	$3,2 \times 10^3$
	61,0	60	$2,3 \times 10^3$	$5,2 \times 10^2$
	91,5	90	$4,6 \times 10^2$	$2,1 \times 10^2$
	122,0	120	$1,3 \times 10^3$	$4,1 \times 10^2$

A figura 5.5 mostra as curvas da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidas no 5º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator de lâmpadas emersas.

Figura 5.5: Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidos no 5º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator de lâmpadas emersas.



Parâmetros Físico-Químicos	Valor
Absorvância (254 nm)	1,423
Turbidez (UNT)	35
SST (mg/L)	78,0

No ensaio n° 5 foi necessária dose de 61,0 mWs/cm² e tempo de contato de 60 segundos para a redução dos coliformes fecais a 520 CF/100 mL. Os resultados foram bastante satisfatórios, provavelmente em função da baixa concentração de SST (78 mg/L) e baixa turbidez, embora a absorvância tenha sido elevada (1,423). Na dose de 122,0 e tempo de contato de 120 segundos observou-se um aumento do número de coliformes fecais e não redução, se comparado ao tempo de exposição de 90 segundos. Tal fato deve-se, provavelmente a limitações do método Colilert ou falha em alguma etapa do ensaio de desinfecção.

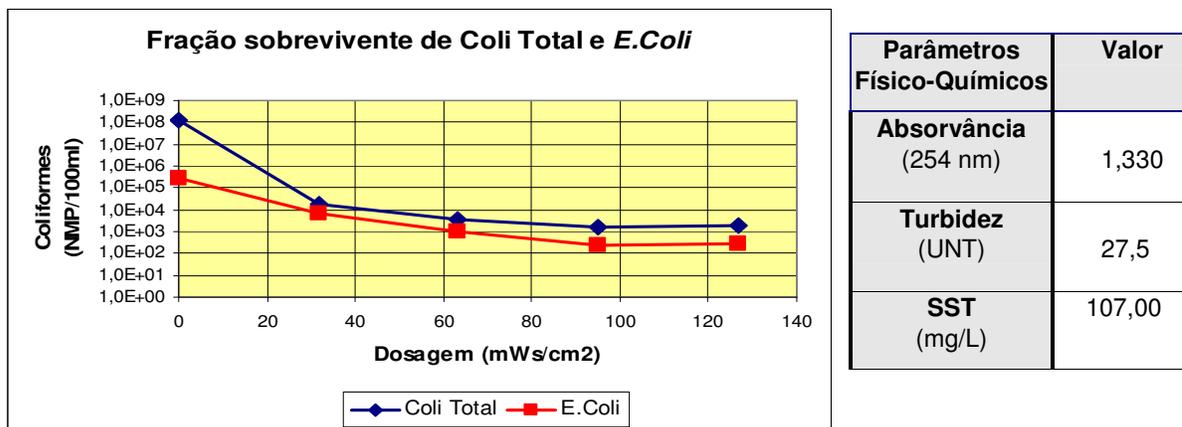
A tabela 5.6 mostra os resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidos no 6° ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizados em batelada por meio de reator de lâmpadas emersas.

Tabela 5.6: Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidos no 6° ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator de lâmpadas emersas.

Data da coleta	Dosagem (mWs/cm ²)	Tempo de contato (seg.)	Coli Total (NMP/100 mL)	<i>E. coli</i> (NMP/100 mL)
6° ensaio 08/Ago/02	0	0	1,2 x 10 ⁸	2,8 x 10 ⁵
	31,7	30	1,9 x 10 ⁴	6,4 x 10 ³
	63,4	60	3,6 x 10 ³	9,8 x 10 ²
	95,0	90	1,5 x 10 ³	2,3 x 10 ²
	126,7	120	1,9 x 10 ³	2,9 x 10 ²

A figura 5.6 mostra as curvas da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidas no 6° ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator de lâmpadas emersas.

Figura 5.6: Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidos no 6° ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator de lâmpadas emersas.



No ensaio n° 6 foi necessária dose acima de 63,4 mWs/cm² e tempo de contato de 60 segundos para a redução dos coliformes fecais abaixo de 10³ CF/100 mL. Dose de 95 mWs/cm² e tempo de contato de 90 segundos foram suficientes para reduzir os coliformes fecais a 230 CF/100 mL. Porém, na dose de 126,7 e tempo de contato de 120 segundos observou-se um aumento do número de coliformes fecais e não redução, se comparado ao tempo de exposição de 90 segundos. Tal fato deve-se, provavelmente a limitações do método Colilert ou falha em alguma etapa do ensaio de desinfecção. Os resultados poderiam ter sido um pouco melhores se SST, turbidez e absorvância tivessem valores menores.

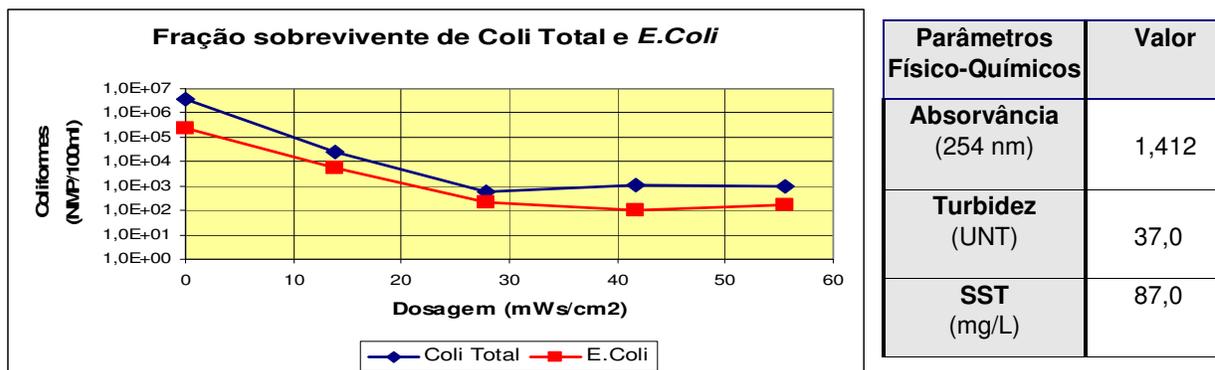
A tabela 5.7 mostra os resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidos no 7º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizados em batelada por meio de reator de lâmpadas emersas.

Tabela 5.7: Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidos no 7º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator de lâmpadas emersas.

Data da coleta	Dosagem (mWs/cm ²)	Tempo de contato (seg.)	Coli Total (NMP/100 mL)	<i>E. coli</i> (NMP/100 mL)
7º ensaio 25/Set/02	0	0	$3,9 \times 10^6$	$2,4 \times 10^5$
	13,9	30	$2,4 \times 10^4$	$5,7 \times 10^3$
	27,8	60	$6,1 \times 10^2$	$2,2 \times 10^2$
	41,7	90	$1,1 \times 10^3$	$1,0 \times 10^2$
	55,6	120	$1,0 \times 10^3$	$1,7 \times 10^2$

A figura 5.7 mostra as curvas da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidas no 7º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator de lâmpadas emersas.

Figura 5.7: Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidos no 7º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator de lâmpadas emersas.



No ensaio nº 7 foi necessária dose de 27,8 mWs/cm² e tempo de contato de 60 segundos para a redução dos coliformes fecais a 220 CF/100 mL. Dose de 41,7 mWs/cm² e tempo de contato de 90 segundos foi suficiente para a redução de coliformes fecais para 100 CF/100 mL. Os resultados foram bastante satisfatórios, provavelmente em função da baixa concentração de SST (87,0 mg/L), embora a absorvância tenha sido um pouco elevada (1,412). Na dose de 55,6 e tempo de contato de 120 segundos observou-se um aumento do número de coliformes fecais e não redução, se comparado ao tempo de exposição de 90 segundos. Tal fato deve-se, provavelmente a limitações do método Colilert ou falha em alguma etapa do ensaio de desinfecção.

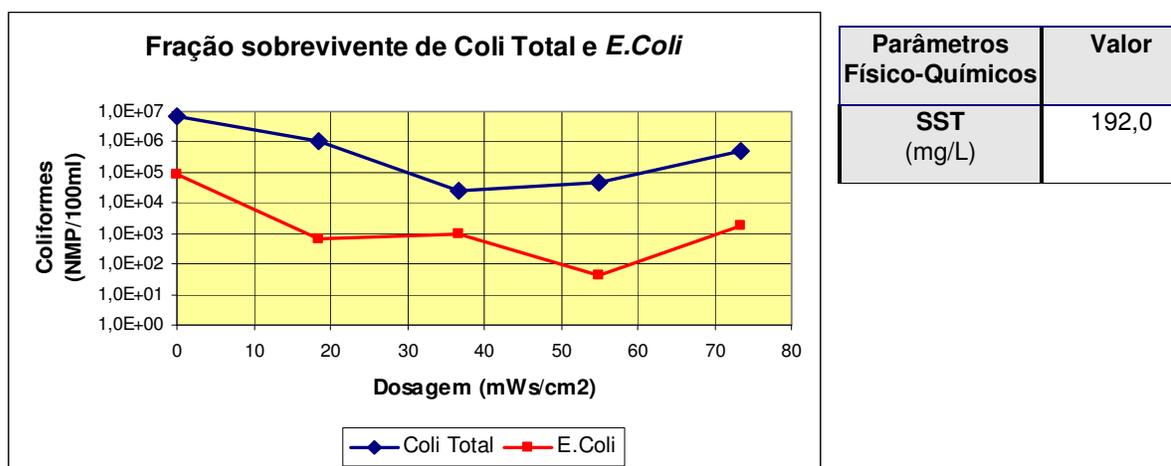
A tabela 5.8 mostra os resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidos no 8º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizados em batelada por meio de reator de lâmpadas emersas.

Tabela 5.8: Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidos no 8º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator de lâmpadas emersas.

Data da coleta	Dosagem (mWs/cm ²)	Tempo de contato (seg.)	Coli Total (NMP/100 mL)	<i>E. coli</i> (NMP/100 mL)
8º ensaio 08/Out/02	0	0	$7,2 \times 10^6$	$8,6 \times 10^4$
	18,4	30	$1,1 \times 10^6$	$6,7 \times 10^2$
	36,7	60	$> 2,4 \times 10^4$	$9,8 \times 10^2$
	55,0	90	$4,8 \times 10^4$	$4,1 \times 10^1$
	73,4	120	$5,1 \times 10^5$	$1,9 \times 10^3$

A figura 5.8 mostra as curvas da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidas no 8º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator de lâmpadas emersas.

Figura 5.8: Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidos no 8º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator de lâmpadas emersas.



No ensaio nº 8 foi necessária dose de 18,4 mWs/cm² e tempo de contato de 30 segundos para a redução dos coliformes fecais a 670 CF/100 mL.. Acima de 55 mWs/cm² e tempo de contato de 90 segundos, a redução de coliformes fecais chegou a abaixo de 50 CF/100 mL. Apesar da elevada concentração de SST (192,0 mg/L), os resultados foram satisfatórios, embora pudessem ser melhores se o efluente estivesse mais clarificado. Na dose de 73,4 e tempo de contato de 120 segundos observou-se um aumento do número de coliformes fecais e não redução, se comparado ao tempo de exposição de 90 segundos. Tal fato deve-se, provavelmente a erro de análise do método Colilert ou falhas no ensaio de desinfecção.

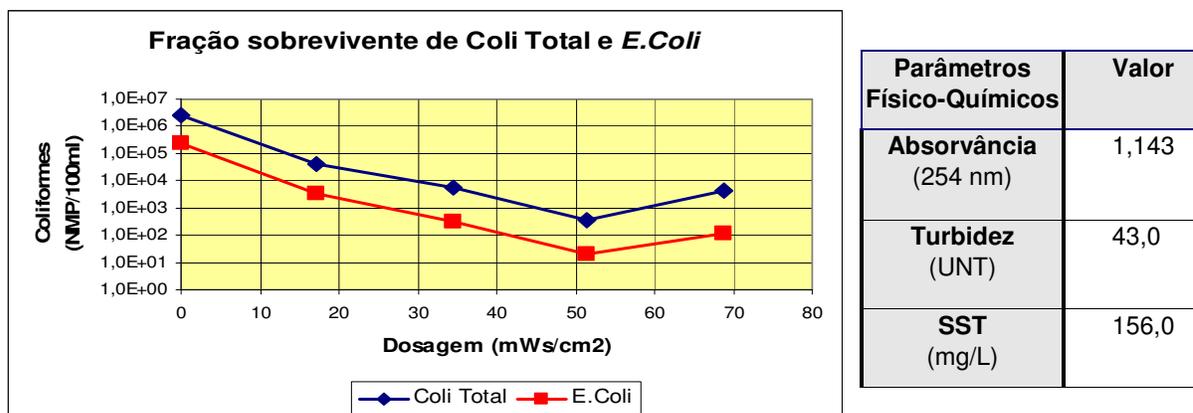
A tabela 5.9 mostra os resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidos no 9º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizados em batelada por meio de reator de lâmpadas emersas.

Tabela 5.9: Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidos no 9º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator de lâmpadas emersas.

Data da coleta	Dosagem (mWs/cm ²)	Tempo de contato (seg.)	Coli Total (NMP/100 mL)	<i>E. coli</i> (NMP/100 mL)
9º ensaio	0	0	$> 2,4 \times 10^5$	$> 2,4 \times 10^5$
22/Out/02	17,2	30	$4,1 \times 10^4$	$3,4 \times 10^3$
	34,4	60	$5,4 \times 10^3$	$3,2 \times 10^2$
	51,5	90	$3,5 \times 10^2$	$2,0 \times 10^1$
	68,7	120	$4,1 \times 10^3$	$1,2 \times 10^2$

A figura 5.9 mostra as curvas da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidas no 9º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator de lâmpadas emersas.

Figura 5.9: Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidos no 9º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator de lâmpadas emersas.



No ensaio n° 9 foi necessária dose de 34,4 mWs/cm² e tempo de contato de 60 segundos para a redução dos coliformes fecais a 320 CF/100 mL. Dose de 51,5 mWs/cm² e tempo de contato de 90 segundos foram suficientes para a redução quase completa de coliformes fecais (valor avaliado de 20 CF/100 mL). Apesar da elevada concentração de SST (156,0 mg/L), absorvância de 1,143 e turbidez de 43,0 UNT, os resultados foram bastante satisfatórios, embora pudessem ter sido melhores se o efluente estivesse mais clarificado. Na dose de 68,7 e tempo de contato de 120 segundos observou-se um aumento do número de coliformes fecais e não redução, se comparado ao tempo de exposição de 90 segundos. Tal fato deve-se, provavelmente a limitações do método Colilert ou falha em alguma etapa do ensaio de desinfecção.

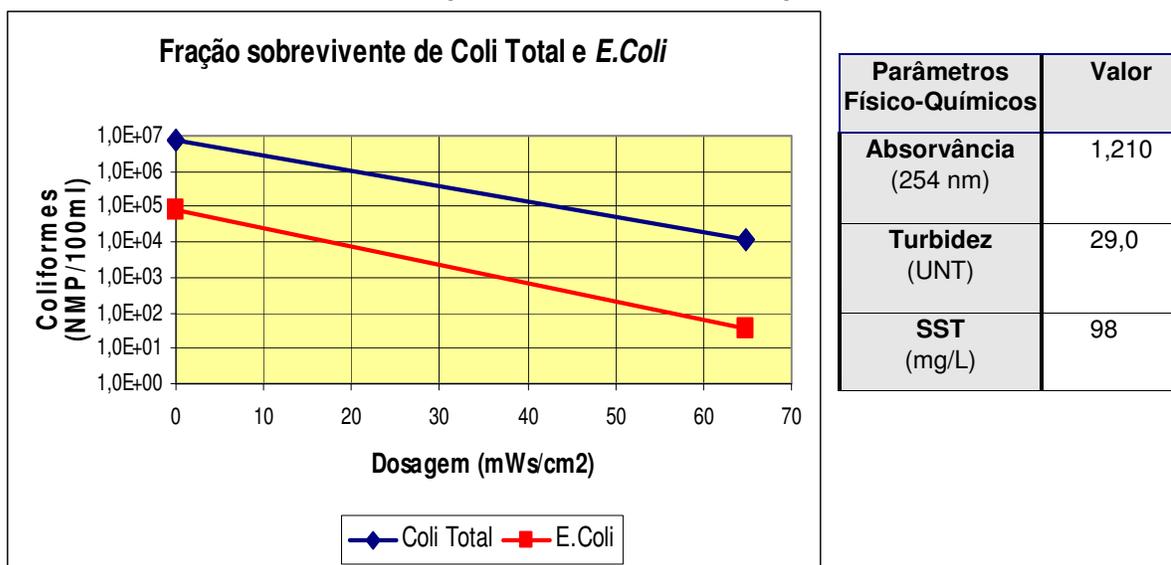
A tabela 5.10 mostra os resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidos no 10º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizados em batelada por meio de reator de lâmpadas emersas.

Tabela 5.10: Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidos no 10º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator de lâmpadas emersas.

Data da coleta	Dosagem (mWs/cm ²)	Tempo de contato (seg.)	Coli Total (NMP/100 mL)	<i>E. coli</i> (NMP/100 mL)
11 /Dez/ 2002	00	0	$8,1 \times 10^6$	$7,7 \times 10^4$
	64,91	120	$1,2 \times 10^4$	$3,4 \times 10^1$

A figura 5.10 mostra as curvas da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidas no 10º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator de lâmpadas emersas.

Figura 5.10: Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidos no 10º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator de lâmpadas emersas.



No ensaio n° 10 foi feito somente um ensaio de desinfecção, com tempo de contato de 120 segundos, em função de problemas operacionais na coleta. A dose de 64,91 mWs/cm² e tempo de contato de 120 segundos foi necessária para reduzir os coliformes fecais a 34 CF/100 mL. Tais resultados foram bastante satisfatórios, provavelmente em função da baixa concentração de SST no efluente (98,0 mg/L) e baixa turbidez (29,0), embora a absorvância tenha sido um pouco elevada (1,210), o que permitiu uma maior penetração da radiação UV no meio líquido.

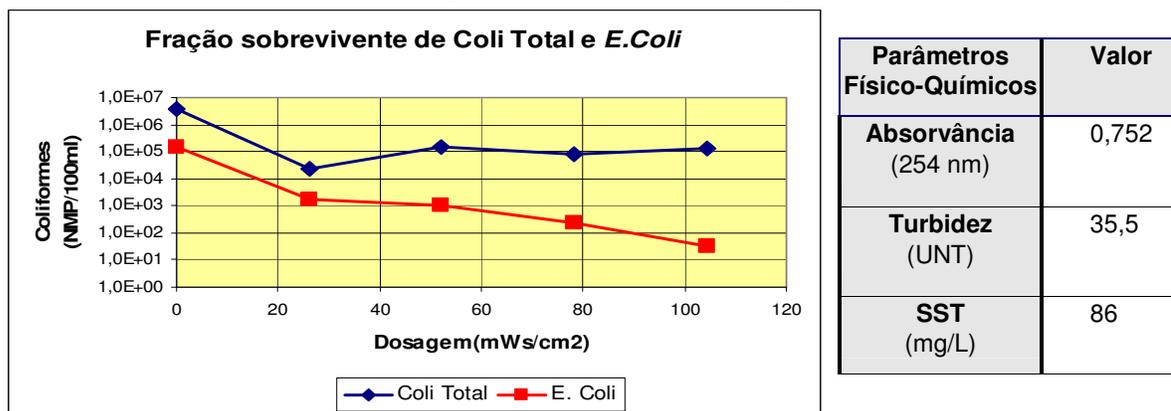
A tabela 5.11 mostra os resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidos no 11° ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizados em batelada por meio de reator de lâmpadas emersas.

Tabela 5.11: Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidos no 11° ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator de lâmpadas emersas.

Data da coleta	Dosagem (mWs/cm ²)	Tempo de contato (seg.)	Coli Total (NMP/100 mL)	<i>E. coli</i> (NMP/100 mL)
11° ensaio 21/Jan/03	00	0	3,7 x 10 ⁶	1,5 x 10 ⁵
	26,09	30	2,4 x 10 ⁴	1,7 x 10 ³
	52,18	60	1,4 x 10 ⁵	9,8 x 10 ²
	78,27	90	7,6 x 10 ⁴	2,2 x 10 ²
	104,36	120	1,3 x 10 ⁵	3,1 x 10 ¹

A figura 5.11 mostra as curvas da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidas no 11° ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator de lâmpadas emersas.

Figura 5.11: Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidos no 11° ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator de lâmpadas emersas.



No ensaio n° 11 foi necessária dose de 52,18 mWs/cm² e tempo de contato de 60 segundos para a redução dos coliformes fecais para 980 CF/100 mL. Dose de 78,27 mWs/cm² e tempo de contato de 90 segundos foram suficientes para a redução dos coliformes fecais para 220 CF/100 mL. Dose 104,36 e tempo de contato de 120 segundos foram suficientes para a redução quase completa dos coliformes fecais (valor avaliado de 31 CF/100 mL). Em função dos parâmetros SST, absorvância e turbidez apresentarem valores bastante reduzidos, a dose efetiva e a eficiência da desinfecção foram muito favoráveis, uma vez que o efluente clarificado permitiu uma maior penetração da radiação UV no meio líquido.

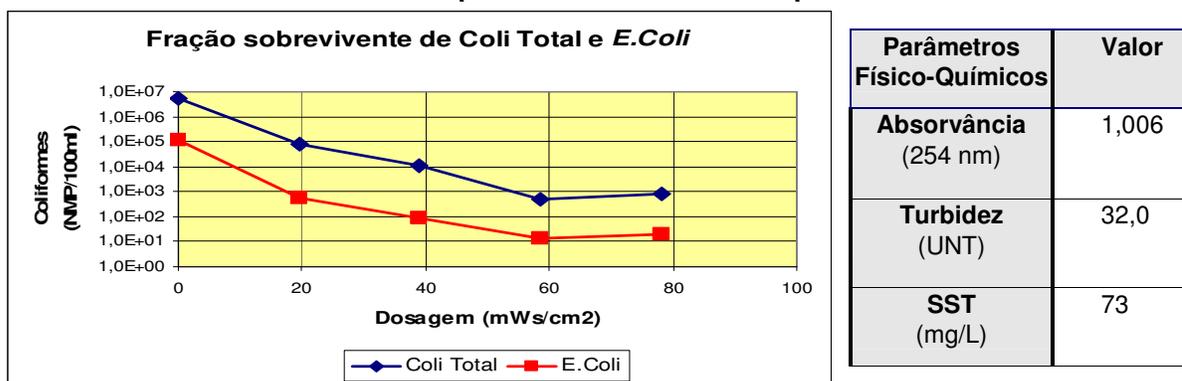
A tabela 5.12 mostra os resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidos no 12º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizados em batelada por meio de reator de lâmpadas emersas.

Tabela 5.12: Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidos no 12º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator de lâmpadas emersas.

Data da coleta	Dosagem (mWs/cm ²)	Tempo de contato (seg.)	Coli Total (NMP/100 mL)	<i>E. coli</i> (NMP/100 mL)
12º ensaio	00	0	5,1 x 10 ⁶	1,2 x 10 ⁵
05/Fev/03	19,52	30	8,1 x 10 ⁴	5,7 x 10 ²
	39,04	60	1,1 x 10 ⁴	8,6 x 10 ¹
	58,56	90	4,7 x 10 ²	1,4 x 10 ¹
	78,08	120	8,3 x 10 ²	1,9 x 10 ¹

A figura 5.12 mostra as curvas da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidas no 12º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator de lâmpadas emersas.

Figura 5.12: Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidos no 12º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator de lâmpadas emersas.



No ensaio nº 12 foi necessária dose de 19,52 mWs/cm² e tempo de contato de 30 segundos para a redução dos coliformes fecais para 570 CF/100 mL. Dose de 58,56 e tempo de contato de 90 segundos foram suficientes para a redução quase total de coliformes fecais (14 CF/100 mL). Tais resultados foram bastante satisfatórios, provavelmente em função da baixa concentração de SST no efluente (73,0 mg/L), baixa turbidez (32,0) e baixa absorvância (1,006), permitindo maior penetração da radiação UV no meio líquido. Na dose de 78,08 e tempo de contato de 120 segundos observou-se um pequeno aumento do número de coliformes fecais e não redução, se comparado ao tempo de exposição de 90 segundos. Tal fato deve-se, provavelmente a limitações do método Colilert ou falha em alguma etapa do ensaio de desinfecção.

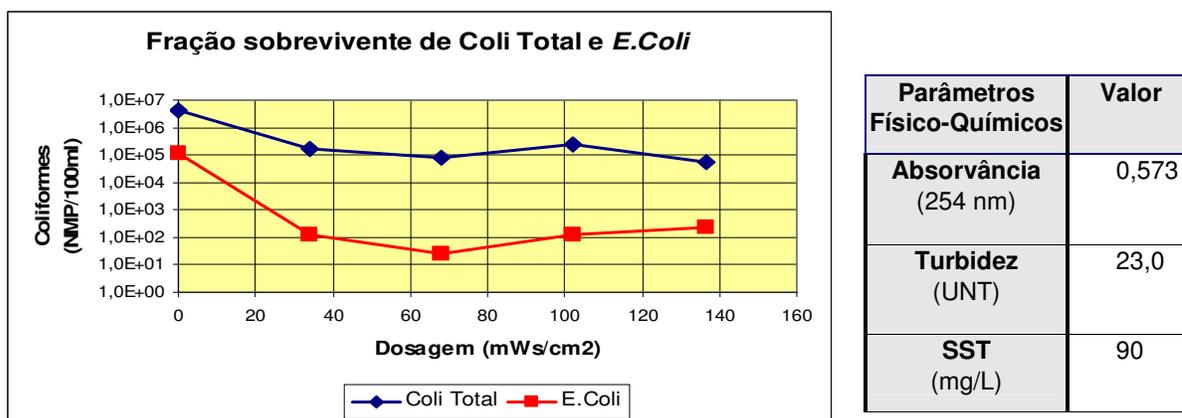
A tabela 5.13 mostra os resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidos no 13º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizados em batelada por meio de reator de lâmpadas emersas.

Tabela 5.13: Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidos no 13º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator de lâmpadas emersas.

Data da coleta	Dosagem (mWs/cm ²)	Tempo de contato (seg.)	Coli Total (NMP/100 mL)	<i>E. coli</i> (NMP/100 mL)
13º ensaio	00	0	$4,1 \times 10^6$	$1,2 \times 10^5$
17/Fev/03	34,10	30	$1,7 \times 10^5$	$1,3 \times 10^2$
	68,20	60	$8,1 \times 10^4$	$2,6 \times 10^1$
	102,30	90	$2,4 \times 10^5$	$1,3 \times 10^2$
	136,40	120	$5,4 \times 10^4$	$2,4 \times 10^2$

A figura 5.13 mostra as curvas da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidas no 13º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator de lâmpadas emersas.

Figura 5.13: Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidos no 13º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator de lâmpadas emersas.



No ensaio nº 13 foi necessária dose de 34,10 mWs/cm² e tempo de contato de 30 segundos para a redução dos coliformes fecais para 130 CF/100 mL. Na dose de 68,20 mWs/cm² e tempo de contato de 60 segundos, a redução de coliformes fecais foi quase total (26 CF/100 mL). Tais resultados foram bastante satisfatórios, provavelmente em função da baixa concentração de SST no efluente (90,0 mg/L), permitindo maior penetração da radiação UV no meio líquido. Na dose de 102,30 e tempo de contato de 90 segundos observou-se um aumento do número de coliformes fecais e não redução, se comparado ao tempo de exposição de 60 segundos. Tal fato deve-se, provavelmente a limitações do método Colilert ou falha em alguma etapa do ensaio de desinfecção.

5.1.1 Discussão dos resultados do primeiro grupo de ensaios:

Apesar da elevada concentração de sólidos em suspensão dos efluentes da lagoa facultativa, principalmente algas, em média em torno de 130 mg/L, pode-se considerar os resultados obtidos em reator piloto com lâmpadas emersas e operação em batelada bastante satisfatórios na redução dos indicadores biológicos selecionados: Coliformes Totais e Coliformes Fecais.

Em função dos resultados obtidos, pode-se verificar que nos ensaios de desinfecção feitos com os efluentes que apresentaram os parâmetros físico-químicos SST, turbidez e absorvância elevados, a eficiência da desinfecção foi menor, pois a presença de sólidos suspensos e dissolvidos dificultou a penetração da radiação UV no meio líquido. Cabe lembrar que as partículas podem encobrir (ou abrigar) as bactérias e outros patógenos, protegendo-os parcialmente da radiação ultravioleta e dissipando a luz UV. (USEPA 1999).

Estes dados estarão mais evidentes nos ensaios do grupo 3, em que os efluentes da lagoa serão previamente tratados por cloreto férrico (processo físico-químico).

Os ensaios deste grupo (reator operando em batelada) se caracterizaram pela redução gradual da concentração de coliformes totais e fecais, à medida que aumentava o tempo de contato dos microrganismos com a radiação ultravioleta (os 4 tempos de exposição foram : 30, 60, 90 e 120 segundos). Porém, em alguns ensaios, observou-se um aumento (pico) da concentração de coliformes fecais e não redução, após aumento do tempo de exposição. Tal fato deve-se, provavelmente a limitações do método Colilert (para valores muito baixos) ou falha em alguma etapa do ensaio de desinfecção.

5.1.2 Correlação entre as variáveis SST, Turbidez e Absorvância com a concentração de coliformes fecais.

Foi feita uma análise da influencia dos parâmetros físico-químicos (SST, Turbidez e Absorvancia) na eficiência da desinfecção com radiação ultravioleta no reator piloto operando em batelada. Para isso foi calculada a correlação estatística (r^2) entre tais parâmetros e a concentração de coliformes fecais. Dentre os tempos de exposição (30, 60, 90 e 120 segundos) definiu-se o tempo de exposição de 60 segundos.

Nas figuras 5.14 a 5.16 observa-se o resultado da análise de correlação entre cada uma das variáveis físico-químicas e a concentração de coliformes fecais nos ensaios de desinfecção com radiação ultravioleta no reator piloto operando em batelada com tempo de exposição de 60 segundos.

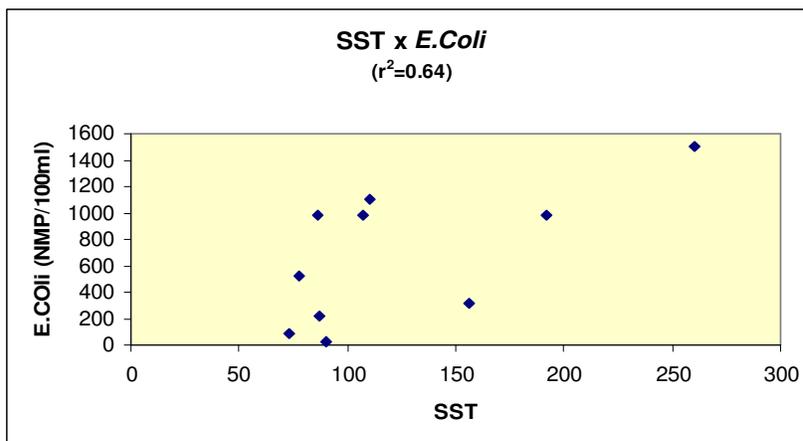


Figura 5.14: Correlação entre SST e a concentração de coliformes fecais para o tempo de desinfecção de 60 segundos no ensaio de desinfecção com o reator batelada.

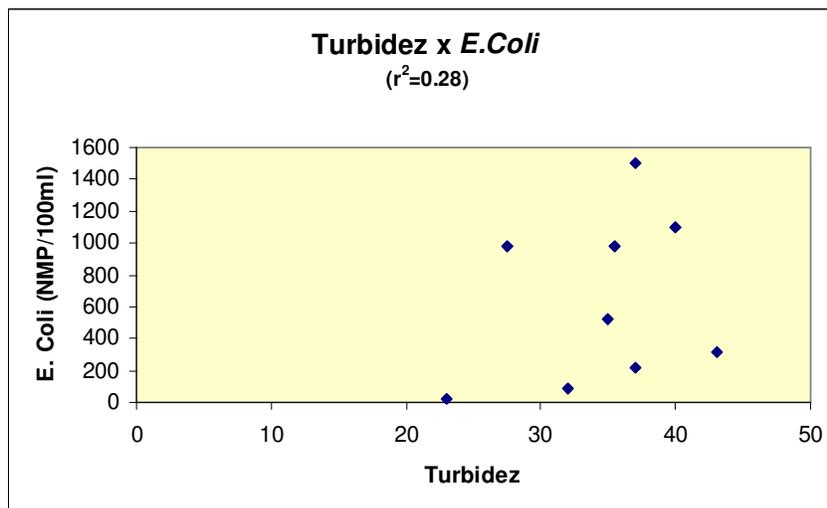


Figura 5.15: Correlação entre Turbidez e a concentração de coliformes fecais para o tempo de desinfecção de 60 segundos no ensaio de desinfecção com o reator batelada.

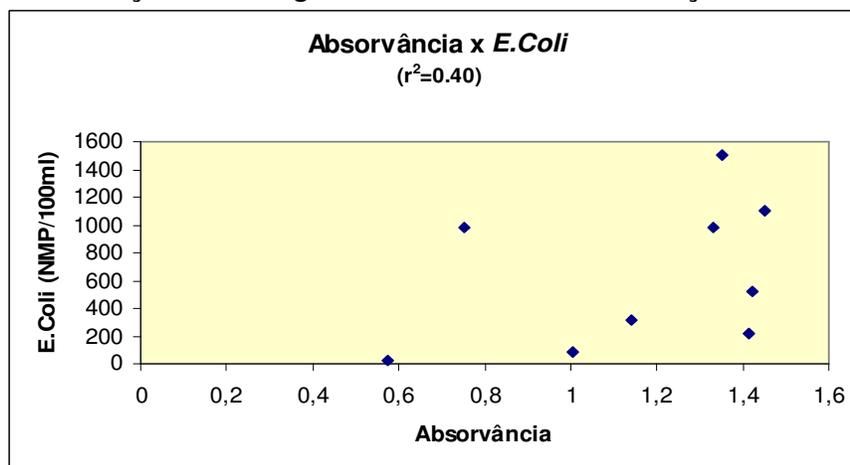


Figura 5.16: Correlação entre Absorvância e a concentração de coliformes fecais para o tempo de desinfecção de 60 segundos no ensaio de desinfecção com o reator batelada.

Dentre os parâmetros físico-químicos analisados (SST, Turbidez e Absorvância), o parâmetro que apresentou a maior correlação com a concentração de coliformes fecais foram os SST ($r^2 = 0,64$).

A segunda maior correlação foi observada para a absorvância ($r^2 = 0,40$) e a menor correlação foi obtida para a turbidez ($r^2 = 0,28$).

Portanto, o parâmetro SST foi o que mais influenciou na desinfecção do esgoto sanitário com radiação ultravioleta utilizando reator piloto de lâmpadas emersas operando em batelada.

5.2 Resultados dos ensaios de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizados em fluxo contínuo, por meio de reator piloto de lâmpada emersa.

Este segundo grupo de análises consistiu em 04 ensaios em que o efluente do sistema de lagoas recebeu a aplicação da radiação ultravioleta em um reator piloto de lâmpadas emersas, operando em fluxo contínuo. Todos 04 os ensaios foram realizados utilizando-se apenas 1 lâmpada germicida com potência nominal de 15 W e lâmina líquida de 4,0 centímetros. Os ensaios foram feitos à temperatura ambiente.

Algumas coletas também foram feitas após consecutivos dias de chuva, diluindo parcialmente o efluente. Outro fator importante é a elevada concentração de sólidos em suspensão dos efluentes da lagoa facultativa. Pode-se também verificar, em diversas coletas, a grande quantidade de algas presentes nos efluentes das lagoas facultativas.

As tabelas 5.14 a 5.17 mostram os resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidos nos 04 ensaios de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizados em fluxo contínuo por meio de reator piloto de lâmpada emersa.

As figuras 5.17 a 5.20 mostram as curvas da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidos nos 4 ensaios de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizados em fluxo contínuo por meio de reator piloto de lâmpada emersa.

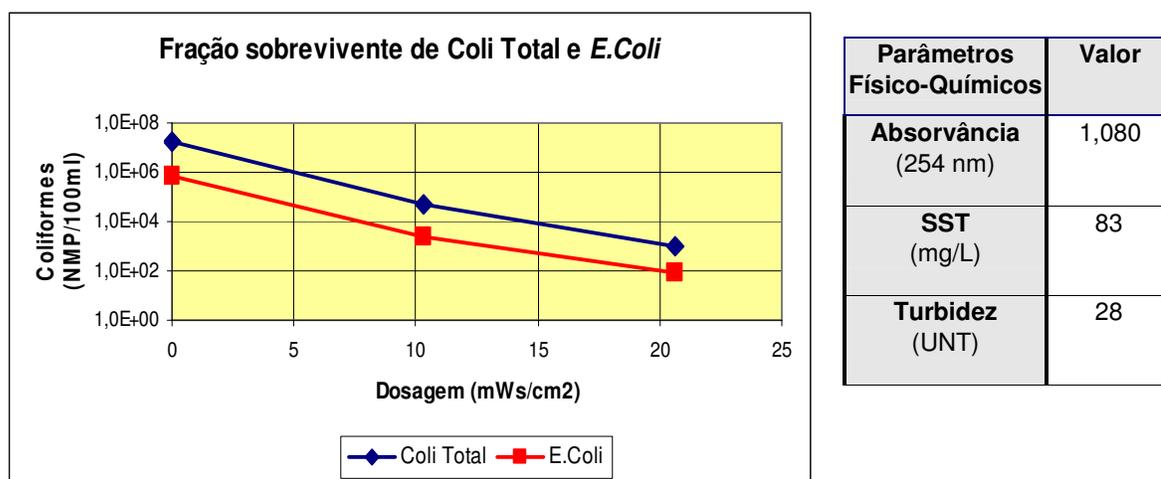
A tabela 5.14 mostra os resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidos no 1º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em fluxo contínuo por meio de reator piloto de lâmpada emersa.

Tabela 5.14: Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidos no 1º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em fluxo contínuo por meio de reator piloto de lâmpada emersa.

Data	Tempo de Contato (seg.)	Dose média (mWs/cm ²)	Coliformes (NMP/100 mL)	
			Totais	<i>E. coli</i>
1º ensaio	00	00	$1,7 \times 10^7$	$6,8 \times 10^5$
26/03/2003	50	10,3	$4,8 \times 10^4$	$2,4 \times 10^3$
	100	20,6	$1,0 \times 10^3$	$9,0 \times 10^1$

A figura 5.17 mostra as curvas da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidas no 1º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em fluxo contínuo por meio de reator piloto de lâmpada emersa.

Figura 5.17: Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidos no 1º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em fluxo contínuo por meio de reator piloto de lâmpada emersa.



No ensaio nº 1 foi necessária dose de $10,3 \text{ mWs/cm}^2$ e tempo de contato de 50 segundos para a redução dos coliformes fecais para $2,4 \times 10^3 \text{ CF/100mL}$. Já para o tempo de contato de 100 segundos, a dose de $20,6 \text{ mWs/cm}^2$ foi suficiente para reduzir quase praticamente quase todos os coliformes fecais (valor avaliado de $9,0 \times 10^1 \text{ CF/100mL}$). Tais resultados foram bastante satisfatórios, provavelmente em função da baixa concentração de SST (83 mg/L) no efluente e o baixo valor da absorvância (1,080) e turbidez (28 UNT), uma vez que o efluente bastante clarificado permite uma maior absorção da radiação ultravioleta no meio líquido.

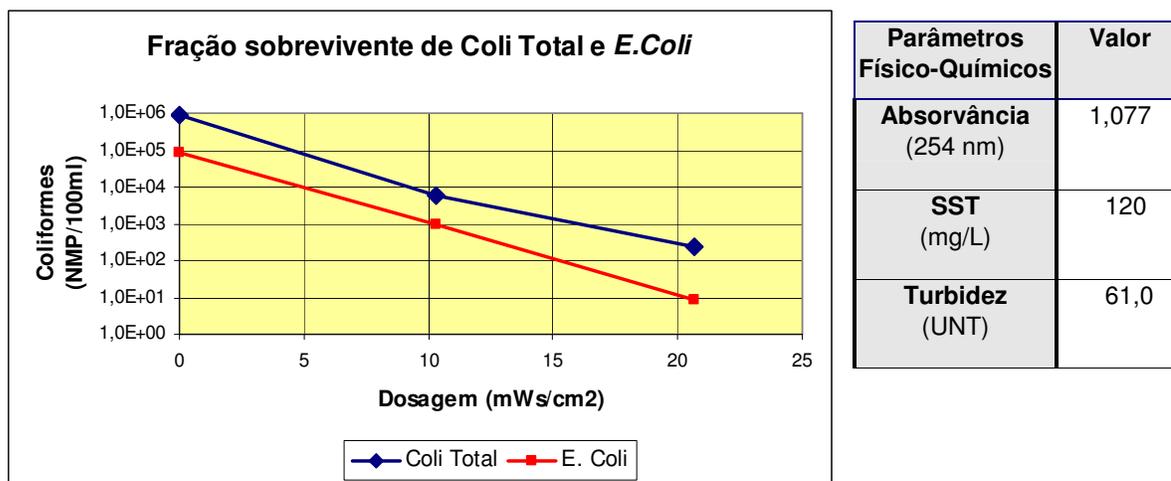
A tabela 5.15 mostra os resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidos no 2º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em fluxo contínuo por meio de reator piloto de lâmpada emersa.

Tabela 5.15: Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidos no 2º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em fluxo contínuo por meio de reator piloto de lâmpada emersa.

Data	Tempo de Contato (seg.)	Dose média (mWs/cm ²)	Coliformes (NMP/100 mL)	
			Totais	<i>E.coli</i>
2º ensaio 14/04/2003	00	00	$9,2 \times 10^5$	$8,1 \times 10^4$
	50	10,35	$6,1 \times 10^3$	$1,0 \times 10^3$
	100	20,70	$2,3 \times 10^2$	$9,0 \times 10^0$

A figura 5.18 mostra as curvas da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidas no 2º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em fluxo contínuo por meio de reator piloto de lâmpada emersa.

Figura 5.18: Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidos no 2º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em fluxo contínuo por meio de reator piloto de lâmpada emersa.



No ensaio nº 2 foi necessária dose de $10,35 \text{ mWs/cm}^2$ e tempo de contato de 50 segundos para a redução dos coliformes fecais para $1,0 \times 10^3 \text{ CF/100mL}$. Já para o tempo de contato de 100 segundos, a dose de $20,7 \text{ mWs/cm}^2$ foi suficiente para reduzir quase praticamente quase todos os coliformes fecais (valor avaliado de $9,0 \times 10^0 \text{ CF/100mL}$). Tais resultados foram bastante satisfatórios, embora as concentrações de SST (120 mg/L) e turbidez (61 UNT) tenham sido um pouco elevadas.

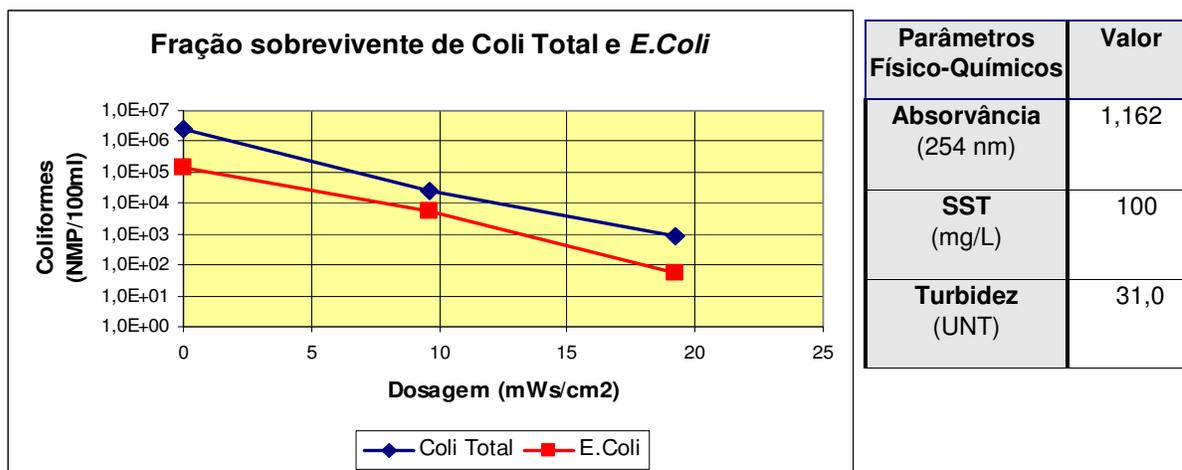
A tabela 5.16 mostra os resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidos no 3º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em fluxo contínuo por meio de reator piloto de lâmpada emersa.

Tabela 5.16: Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidos no 3º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em fluxo contínuo por meio de reator piloto de lâmpada emersa.

Data	Absorvância 254 nm	Tempo de Contato(seg.)	Dose média (mWs/cm ²)	Coliformes (NMP/100 mL)	
				Totais	<i>E.coli</i>
3º ensaio 28/04/2003	1,162	00	00	$2,4 \times 10^6$	$1,5 \times 10^5$
		50	9,6	$2,4 \times 10^4$	$5,7 \times 10^3$
		100	19,2	$8,3 \times 10^2$	$5,4 \times 10^1$

A figura 5.19 mostra as curvas da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidas no 3º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em fluxo contínuo por meio de reator piloto de lâmpada emersa.

Figura 5.19: Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidos no 3º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em fluxo contínuo por meio de reator piloto de lâmpada emersa.



No ensaio n° 3 foi necessária dose de 9,6 mWs/cm² e tempo de contato de 50 segundos para a redução dos coliformes fecais para $5,7 \times 10^3$ CF/100mL). Já para o tempo de contato de 100 segundos, a dose de 19,2 mWs/cm² foi suficiente para reduzir os coliformes fecais para $5,4 \times 10^1$ CF/100mL). Tais resultados foram bastante satisfatórios, embora as concentrações de SST (100 mg/L), turbidez (31 UNT) e absorvância (1,162) tenham sido um pouco elevadas.. Se esses parâmetros tivessem valor mais reduzido, a desinfecção poderia ter sido mais eficiente, já que o efluente mais clarificado poderia absorver mais a radiação UV.

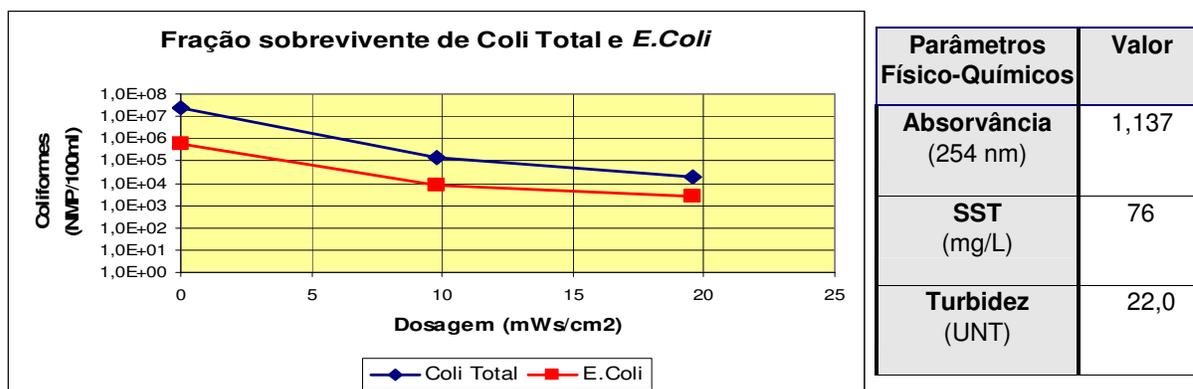
A tabela 5.17 mostra os resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidos no 4º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em fluxo contínuo por meio de reator piloto de lâmpada emersa.

Tabela 5.17: Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidos no 4º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em fluxo contínuo por meio de reator piloto de lâmpada emersa.

Data	Absorvância 254 nm	Tempo de Contato (seg.)	Dose média (mWs/cm ²)	Coliformes (NMP/100 mL)	
				Totais	<i>E.coli</i>
4º ensaio 14/05/2003	1,137	00	00	$2,3 \times 10^7$	$5,7 \times 10^5$
		50	9,8	$1,4 \times 10^5$	$8,1 \times 10^3$
		100	19,6	$2,0 \times 10^4$	$2,4 \times 10^3$

A figura 5.20 mostra as curvas da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidas no 4º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em fluxo contínuo por meio de reator piloto de lâmpada emersa.

Figura 5.20: Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidos no 4º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em fluxo contínuo por meio de reator piloto de lâmpada emersa.



No ensaio nº 4 foi necessária dose de $9,8 \text{ mWs/cm}^2$ e tempo de contato de 50 segundos para a redução dos coliformes fecais para $8,1 \times 10^3 \text{ CF/100mL}$. Já para o tempo de contato de 100 segundos, a dose de $19,6 \text{ mWs/cm}^2$ foi reduziu a concentração dos coliformes para $2,4 \times 10^3 \text{ CF/100mL}$. Este ensaio não foi muito eficiente, se comparado aos 3 ensaios anteriores, embora os parâmetros SST (76 mg/L), turbidez ($22,0 \text{ UNT}$) tenham sido baixos, porém a absorvância ($1,137$) foi um pouco elevada.

5.2.1 Discussão dos resultados do segundo grupo de ensaios:

Apesar da elevada concentração de sólidos em suspensão dos efluentes da lagoa facultativa, principalmente algas, em média em torno de 95 mg/L, pode-se considerar os resultados obtidos em reator piloto com lâmpada emersa e fluxo contínuo bastante satisfatórios na redução dos indicadores biológicos selecionados: Coliformes Totais e Coliformes Fecais.

A redução da concentração de coliformes para o tempo de exposição de 50 segundos (vazão de 210 L/h) não foi muito eficiente. Porém, quando se reduziu a vazão à metade (105 L/h) o tempo de exposição aumentou para 100 segundos, o que ocasionou na melhora da eficiência da desinfecção.

Em função dos resultados obtidos, pode-se verificar que nos ensaios de desinfecção feitos com os efluentes que apresentaram os parâmetros físico-químicos SST, turbidez e absorvância elevados, a eficiência da desinfecção foi menor, pois a presença de partícula sólidos suspensos e dissolvidos dificulta a penetração da radiação UV no meio líquido. Cabe lembrar que as partículas podem encobrir (ou abrigar) as bactérias e outros patógenos, protegendo-os parcialmente da radiação ultravioleta e dissipando a luz UV. (USEPA 1999).

5.2.2 Correlação entre as variáveis SST, Turbidez e Absorvância com a concentração de coliformes fecais.

Foi feita uma análise da influencia dos parâmetros físico-químicos (SST, Turbidez e Absorvancia) na eficiência da desinfecção com radiação ultravioleta no reator piloto operando em fluxo contínuo. Para isso foi calculada a correlação estatística (r^2) entre tais parâmetros e a concentração de coliformes fecais. Dentre os tempos de exposição de 50 e 200 segundos, definiu-se o tempo de exposição de 50 segundos (vazão de 210 L/h).

Nas figuras 5.21 a 5.23 observa-se o resultado da análise de correlação entre cada uma das variáveis físico-químicas e a concentração de coliformes fecais nos ensaios de desinfecção com radiação ultravioleta no reator piloto operando em fluxo contínuo com tempo de exposição de 50 segundos.

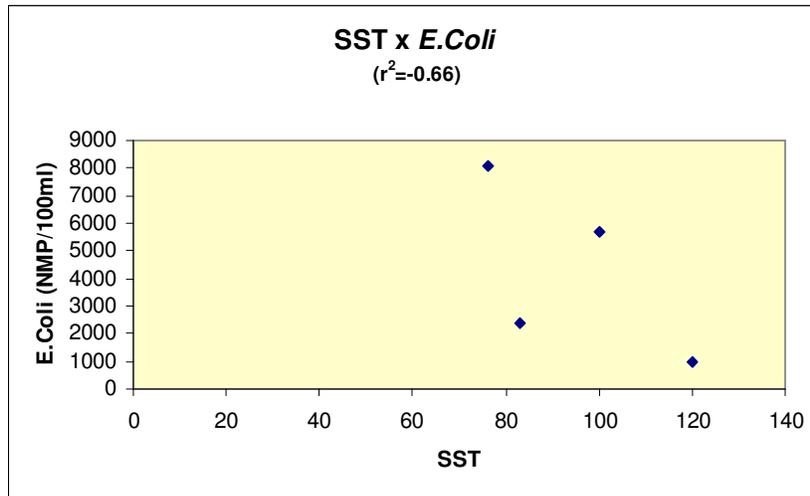


Figura 5.21: Correlação entre SST e a concentração de coliformes fecais para o tempo de desinfecção de 60 segundos no ensaio de desinfecção com o reator batelada.

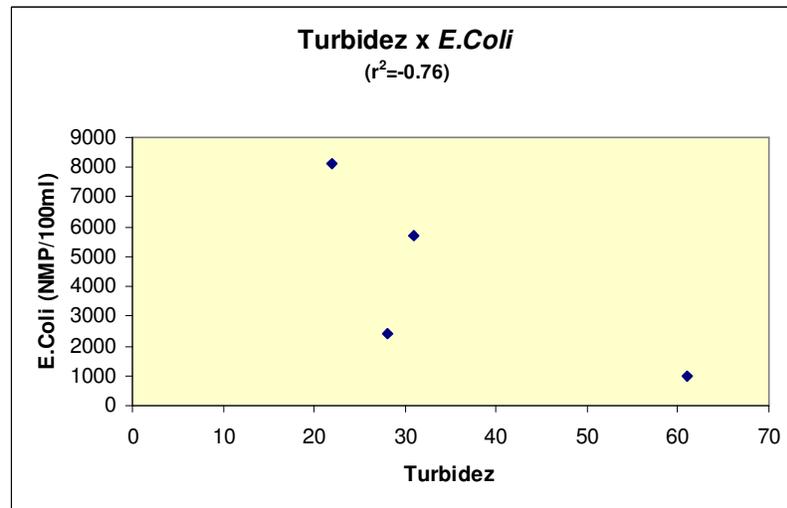


Figura 5.22: Correlação entre Turbidez e a concentração de coliformes fecais para o tempo de desinfecção de 60 segundos no ensaio de desinfecção com o reator batelada.

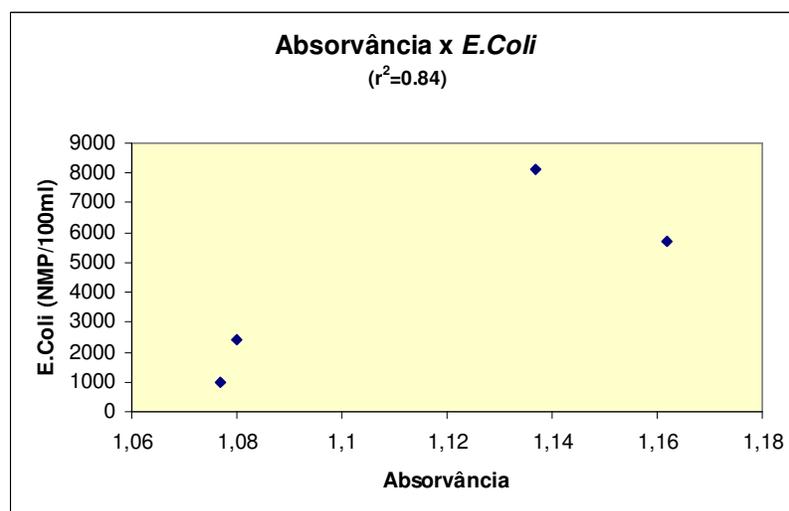


Figura 5.23: Correlação entre Absorvância e a concentração de coliformes fecais para o tempo de desinfecção de 60 segundos no ensaio de desinfecção com o reator batelada.

Dentre os parâmetros físico-químicos analisados (SST, Turbidez e Absorvância), o único parâmetro que apresentou correlação com a concentração de coliformes fecais foi a absorvância ($r^2 = 0,84$).

Os parâmetros SST e Turbidez não tiveram correlação com a concentração de coliformes fecais. Para o parâmetro SST, o valor de r^2 foi de $-0,66$ e para o parâmetro turbidez, o valor de r^2 foi de $-0,76$.

Portanto, o parâmetro Absorvância foi o que mais influenciou na desinfecção do esgoto sanitário com radiação ultravioleta utilizando reator piloto de lâmpadas emersa operando em fluxo contínuo. Isto pode ser confirmado nos dois primeiros ensaios, onde a absorvância foi menor (1,080 e 1,077) e a eficiência na redução dos coliformes foi maior e nos dois últimos ensaios, onde a absorvância foi maior (1,162 e 1,137) e a eficiência na redução dos coliformes foi menor.

5.3 Resultados dos ensaios de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizados em batelada por meio de reator de lâmpadas emersas, com os efluentes previamente tratados por processo físico-químico com cloreto férrico.

Este terceiro grupo de análises consiste em 08 ensaios em que o efluente do sistema de lagoas sofreu tratamento físico-químico com cloreto férrico e, posteriormente, recebeu a aplicação da radiação ultravioleta por meio do reator piloto de lâmpadas emersas, operando em batelada. Alguns ensaios foram realizados utilizando-se 3 lâmpadas germicidas. Outros ensaios utilizaram 6 lâmpadas germicidas, com potência nominal de 15 W cada e lâmina líquida de 4,0 centímetros (aproximadamente 7,0 litros). Os 08 ensaios foram feitos à temperatura ambiente.

Ensaio com Cloreto Férrico - $\text{FeCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (mg/L): As condições operacionais do sistema são descritas a seguir:

- mistura rápida: 1,5 minutos a 200 s^{-1} .
- Mistura lenta: 30 minutos a 50 s^{-1} .
- Decantação acelerada: 20 minutos.

Algumas coletas também foram feitas após consecutivos dias de chuva, diluindo parcialmente o efluente. Nestes casos o efluente do sistema de lagoas estava um pouco mais clarificado.

Os resultados das avaliações físico-químicas, antes e após o tratamento físico-químico com cloreto férrico, estão identificados na tabela 5.18. Vale considerar que a radiação ultravioleta ainda não foi efetiva.

Tabela 5.18: Resultados das avaliações físico-químicas antes e após o tratamento físico-químico com cloreto férrico (sem a aplicação da radiação ultravioleta)

Data	Local de coleta	22/out	08/out	24/jul	25/set	06/nov	1/jul	1/set	19/ago	08/ago	03/jun	25/jun
FeCl ₃ .7H ₂ O (mg/L)		27	30	40	50	60	70	74	75	80	100	150
pH	Antes Fis.Quim	7,41		7,38		7,67	7,48	7,33	6,52	7,78		7,31
	Depois Fis.Quim	7,15		6,86		--	6,74	7,12	7,53	6,67		6,37
DBO5 (mgO₂/L)	Antes Fis.Quim	90	89	72	110	75	80	51	63	89		66
	Depois Fis.Quim	40	31	40	25	10	38	22	14	31		10
DQO (mgO₂/L)	Antes Fis.Quim	150	165	130	148	138	130	170	116	165		112
	Depois Fis.Quim	75	72	108	42	18	86	53	30	72		18
NTK (mgN/L)	Antes Fis.Quim	42,2	55	20,6	37,2	43,6	30	42,9	31,9	55		30
	Depois Fis.Quim	20,3	25,2	12,3	21,1	17,8	18	24,7	30,5	25,2		17,8
N-AMON (mgN/L)	Antes Fis.Quim	30,6	40,3	17,4	28,3	24,1	15,1	31,1	26,3	40,3		26,2
	Depois Fis.Quim	16,8	20,6	6,2	18,4	8,6	12	23,5	28	20,6		8,6
P-Total (mgP/L)	Antes Fis.Quim	6	5,2	8	6	6,1	8,6	6	4,5	5,2		6
	Depois Fis.Quim	2,3	1	5	2,3	2,1	3,1	3	0,5	1		2,1

Tabela 5.18 - (continuação): Resultados das avaliações físico-químicas antes e após o tratamento físico-químico com cloreto férrico sem a aplicação da radiação UV.

Data		22/out	08/out	24/jul	25/set	06/nov	11/jul	11/set	19/ago	08/ago	03/jun	25/jun
FeCl ₃ .7 H ₂ O (mg/L)	Local de coleta	27	30	40	50	60	70	74	75	80	100	150
P- Ortofosfato (mgP/L)	Antes Fis.Quim	2,8	3	4	1,8	3,3	4,5	2,7	2	3	Não realiza do	2,8
	Depois Fis.Quim	0,9	0,5	1	1	1,1	1,5	1,2	0,5	0,5	Não realiza do	1,1
SST (mg/L)	Antes Fis.Quim	156	192	78	87	100	110	90	140	107	107	260
	Depois Fis.Quim	53	74	Não realiza do	50	60	Não realiza do	72	39	74	48	70
Turbidez (UNT)	Antes Fis.Quim	43	Não realizado	35	37	37,0	40	29	29	27,5	Não realiza do	37
	Depois Fis.Quim	35	Não realizado	28	17,5	--	23	19	3,6	12,0	Não realiza do	13
Absorvân- cia a 254 nm	Antes Fis.Quim	1,143	Não realizado	1,423	1,412	1,243	1,452	0,887	1,223	1,330	1,557	1,352
	Depois Fis.Quim	1,011	Não realizado	1,228	0,855	--	1,035	1,054	0,378	0,470	0,954	0,374

Os indicadores biológicos antes e após tratamento físico-químico com cloreto férrico (sem a aplicação da radiação UV) estão identificados na tabela 5.19.

Tabela 5.19: Resultados dos indicadores biológicos antes e após o tratamento físico-químico com cloreto férrico (sem a aplicação da radiação ultravioleta)

Data	Local de coleta	22/out	08/out	24/jul	25/set	11/jul	11/set	19/ago	08/ago	03/jun	25/jun
FeCl₃.7H₂O (mg/L)		27	30	40	50	70	74	75	80	100	150
Coliformes Totais (NMP/100mL)	Antes Fis.Quim	2,4x10 ⁶	7,2x10 ⁶	9,8x10 ⁵	3,9x10 ⁶	6,8x10 ⁷	1,9x10 ⁸	3,6x10 ⁷	1,2x10 ⁸	4,3x10 ⁹	3,4x10 ⁶
	Depois Fis.Quim	2,4x10 ⁶	1,7x10 ⁷	2,5x10 ⁵	1,7x10 ⁷	2,9x10 ⁶	NR	2,5x10 ⁵	4,8x10 ⁶	5,1x10 ⁵	4,1x10 ⁵
E.coli (NMP/100mL)	Antes Fis.Quim	2,4x10 ⁵	2,4x10 ⁵	1,6x10 ⁵	2,4x10 ⁵	1,4x10 ⁶	2,4x10 ⁵	2,3x10 ⁵	2,8x10 ⁵	3,4x10 ⁵	2,2x10 ⁵
	Depois Fis.Quim	6,8x10 ⁴	8,1x10 ⁴	1,7x10 ⁵	8,1x10 ⁴	2,5x10 ⁵	NR	2,0x10 ¹	1,1x10 ⁵	1,3x10 ³	< 1
Ovos helmintos (totais/viáveis)/L	Antes Fis.Quim	NR									
	Depois Fis.Quim	0	3	NR	0	NR	0	NR	NR	NR	NR
Contagem de algas	Antes Fis.Quim	NR	NR	NR	1.700	NR	NR	NR	NR	NR	NR
	Depois Fis.Quim	NR	NR	NR	886	NR	NR	NR	NR	NR	NR

NR – Não Realizado

Os resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E.coli* obtidos nos 08 ensaios de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizados em batelada por meio de reator piloto de lâmpadas emersas após tratamento físico-químico com cloreto férrico estão identificados pelas tabelas 5.20 a 5.27.

As curvas da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidas nos 08 ensaios de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizados em batelada por meio de reator piloto de lâmpadas emersas após tratamento físico-químico com cloreto férrico estão identificadas nas figuras 5.24 a 5.31.

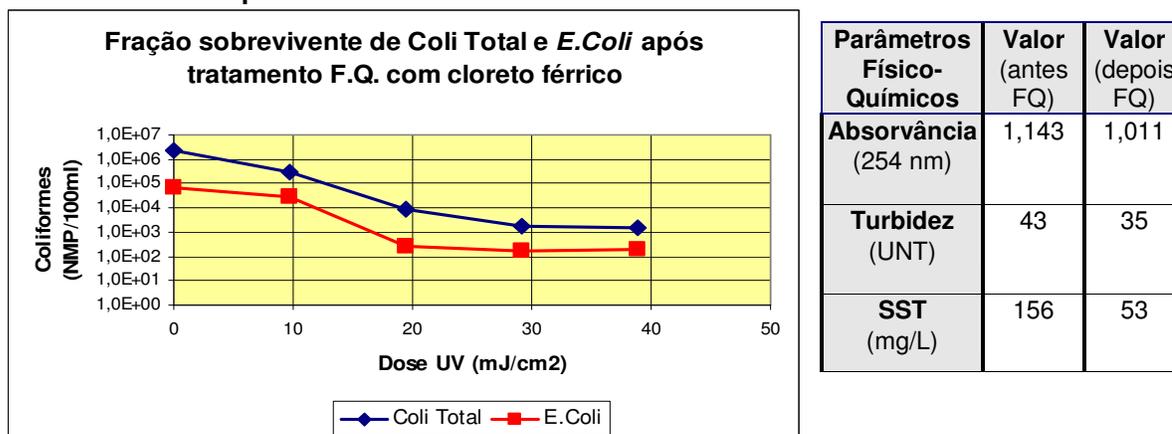
A tabela 5.20 mostra os resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidos no 1º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator piloto de lâmpadas emersas após tratamento físico-químico com cloreto férrico em 22 de outubro de 2002.

Tabela 5.20: Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidos no 1º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator piloto de lâmpadas emersas após tratamento físico-químico com cloreto férrico.

FeCl ₃ (mg/L)	Dosagem (mJ/cm ²)	Tempo de contato (seg.)	C.Totais (NMP/100 mL)	E.coli (NMP/100 mL)
1º ensaio	0.0	0	2,4x10 ⁶	6,8x10 ⁴
	9,7	30	3,1x10 ⁵	2,9x10 ⁴
22 out 2002	19,4	60	8,6x10 ³	2,5x10 ²
	29,1	90	1,8x10 ³	1,7x10 ²
27 mg/L	38,9	120	1,6x10 ³	2,0x10 ²

A figura 5.24 mostra as curvas da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidas no 1º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator piloto de lâmpadas emersas após tratamento físico-químico com cloreto férrico.

Figura 5.24: Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidos no 1º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator piloto de lâmpadas emersas após tratamento físico-químico com cloreto férrico.



No ensaio n° 1 foi necessária dose de 19,4 mJ/cm² e tempo de contato de 60 segundos para a redução dos coliformes fecais para 2,5 x 10² CF/100 mL. Na dose de 29,1 mWs/cm² e tempo de contato de 90 segundos, a redução de coliformes fecais chegou a 170 CF/100 mL. Porém, na dose de 38,9 mJ/cm² e tempo de contato de 120 segundos observou-se um pequeno aumento do número de coliformes fecais e não redução, se comparado ao tempo de exposição de 90 segundos. Tal fato deve-se, provavelmente a limitações do método Colilert ou falha em alguma etapa do ensaio de desinfecção. Os resultados deste ensaio foram bastante satisfatórios, provavelmente em função do tratamento físico-químico, o qual reduziu os três parâmetros Absorvância (de 1,143 para 1,011), Turbidez (de 43 para 35) e SST (de 156 para 53), pois permitiu uma maior penetração da radiação ultravioleta no meio líquido.

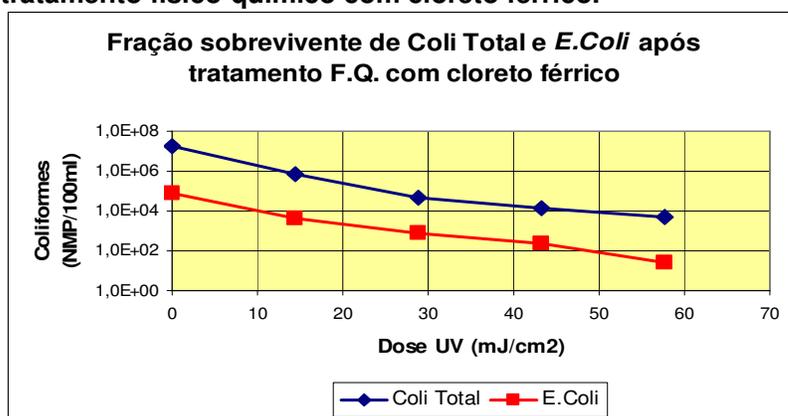
A tabela 5.21 mostra os resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidos no 2º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator piloto de lâmpadas emersas após tratamento físico-químico com cloreto férrico em 08 de outubro de 2002.

Tabela 5.21: Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidos no 2º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator piloto de lâmpadas emersas após tratamento físico-químico com cloreto férrico.

FeCl ₃ (mg/L)	Dosagem (mJ/cm ²)	Tempo de contato (seg.)	C.Totais (NMP/100 mL)	E.coli NMP/100 mL)
2º ensaio	0	0	1,7x10 ⁷	8,1x10 ⁴
	14,4	30	7,7x10 ⁵	4,6x10 ³
08 out 2002	28,8	60	4,3x10 ⁴	7,2x10 ²
	43,2	90	1,4x10 ⁴	2,3x10 ²
30 mg/L	57,6	120	5,1x10 ³	2,6x10 ¹

A figura 5.25 mostra as curvas da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidas no 2º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator piloto de lâmpadas emersas após tratamento físico-químico com cloreto férrico.

Figura 5.25: Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidos no 2º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator piloto de lâmpadas emersas após tratamento físico-químico com cloreto férrico.



Parâmetros Físico-Químicos	Valor (antes FQ)	Valor (depois FQ)
Turbidez (UNT)	NR	NR
SST (mg/L)	192	74

No ensaio n° 2 foi necessária dose de 28,8 mJ/cm² e tempo de contato de 60 segundos para a redução dos coliformes fecais para 7,2 x 10² CF/100 mL. Na dose de 57,6 mJ/cm² e tempo de contato de 120 segundos, a redução de coliformes fecais chegou a 26 CF/100 mL. Os resultados deste ensaio foram bastante satisfatórios, provavelmente em função do tratamento físico-químico, o qual reduziu os SST de 192 para 74 mg/L, pois permitiu uma maior penetração da radiação ultravioleta no meio líquido.

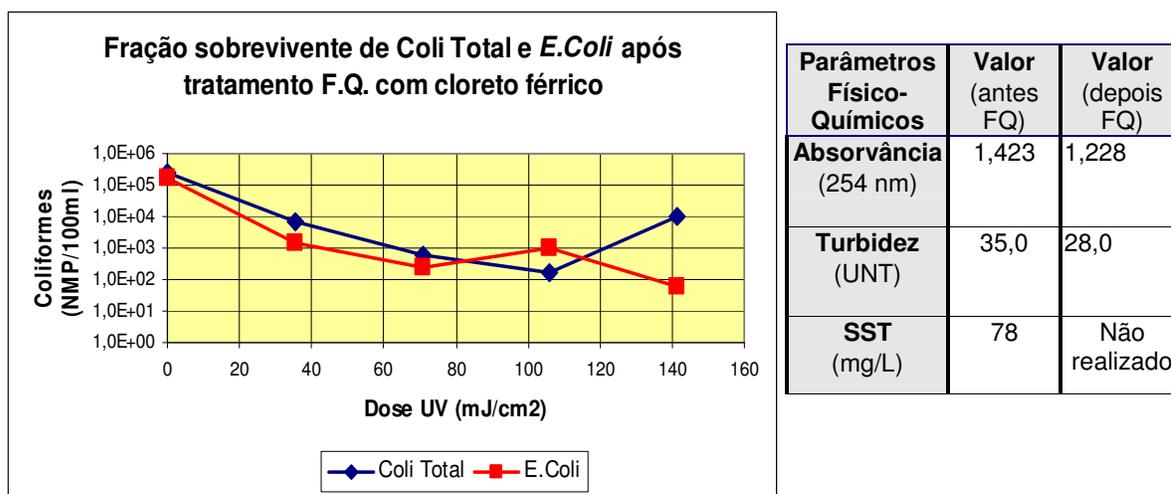
A tabela 5.22 mostra os resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidos no 3º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator piloto de lâmpadas emersas após tratamento físico-químico com cloreto férrico em 24 de julho de 2002.

Tabela 5.22: Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidos no 3º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator piloto de lâmpadas emersas após tratamento físico-químico com cloreto férrico.

FeCl ₃ (mg/L)	Dosagem (mJ/cm ²)	Tempo de contato (seg.)	C.Totais (NMP/100 mL)	E.coli NMP/100 mL)
3º ensaio	0	0	2,5x10 ⁵	1,7x10 ⁵
	35,3	30	6,4x10 ³	1,5x10 ³
24 jul 2002	70,7	60	5,9x10 ²	2,4x10 ²
	106	90	1,7x10 ²	9,8x10 ²
40 mg/L	141,4	120	9,8x10 ³	6,3x10 ¹

A figura 5.22 mostra as curvas da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidas no 3º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator piloto de lâmpadas emersas após tratamento físico-químico com cloreto férrico.

Figura 5.26: Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidos no 3º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator piloto de lâmpadas emersas após tratamento físico-químico com cloreto férrico.



No ensaio n° 3 foi necessária dose de 70,7 mJ/cm² e tempo de contato de 60 segundos para a redução dos coliformes fecais para 2,4 x 10² CF/100 mL. Na dose de 141,4 mJ/cm² e tempo de contato de 120 segundos, a redução de coliformes fecais chegou a 63 CF/100 mL. Os resultados deste ensaio não foram muito satisfatórios, provavelmente em função do tratamento físico-químico que não foi muito eficaz, o qual reduziu pouco o parâmetro absorvância (de 1,423 para 1,228) e turbidez (de 35,0 para 28,0). Se o tratamento físico-químico tivesse sido mais eficaz, permitiria uma maior penetração da radiação ultravioleta no meio líquido.

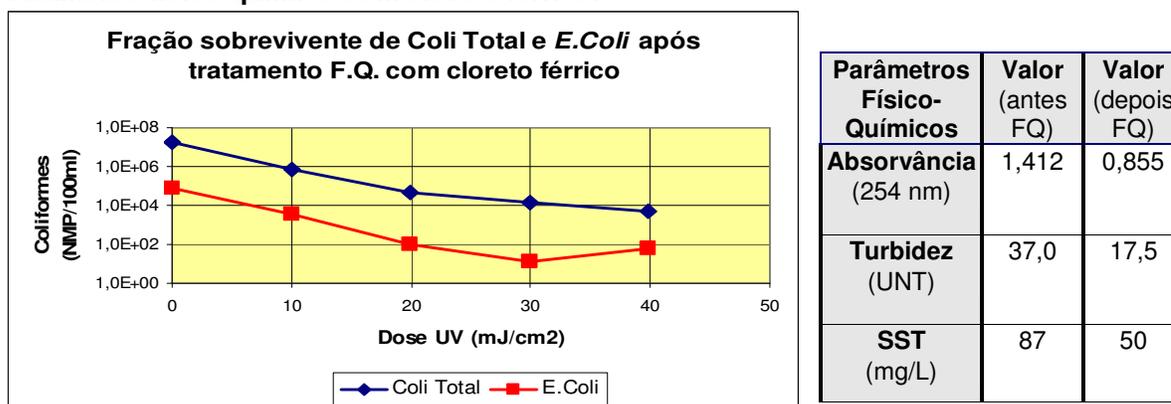
A tabela 5.23 mostra os resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidos no 4º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator piloto de lâmpadas emersas após tratamento físico-químico com cloreto férrico em 25 de setembro de 2002.

Tabela 5.23: Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidos no 4º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator piloto de lâmpadas emersas após tratamento físico-químico com cloreto férrico.

FeCl ₃ (mg/L)	Dosagem (mJ/cm ²)	Tempo de contato (seg.)	C.Totais (NMP/100 mL)	E.coli NMP/100 mL)
4º ensaio	0	0	1,7x10 ⁷	8,1x10 ⁴
	10	30	7,7x10 ⁵	3,8x10 ³
25 set 2002	19,9	60	4,3x10 ⁴	9,8x10 ¹
	29,9	90	1,4x10 ⁴	1,3x10 ¹
50 mg/L	39,8	120	5,1x10 ³	6,2x10 ¹

A figura 5.27 mostra as curvas da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidas no 4º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator piloto de lâmpadas emersas após tratamento físico-químico com cloreto férrico.

Figura 5.27: Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidos no 4º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator piloto de lâmpadas emersas após tratamento físico-químico com cloreto férrico.



No ensaio nº 4 foi necessária dose de 19,9 mJ/cm² e tempo de contato de 60 segundos para a redução dos coliformes fecais para 9,8 x 10¹ CF/100 mL. Dose de 29,9 mJ/cm² e tempo de contato de 90 segundos a reduziram os coliformes fecais para 1,3 x 10¹ CF/100 mL. Porém, na dose de 39,8 mJ/cm² e tempo de contato de 120 segundos observou-se um pequeno aumento do número de coliformes fecais e não redução, se comparado ao tempo de exposição de 90 segundos. Tal fato deve-se, provavelmente a limitações do método Colilert ou falha em alguma etapa do ensaio de desinfecção. Os resultados deste ensaio foram bastante satisfatórios, provavelmente em função do tratamento físico-químico, o qual reduziu os três parâmetros Absorvância (de 1,412 para 0,855), Turbidez (de 37,0 para 17,5) e SST (de 87 para 50), pois permitiu uma maior penetração da radiação ultravioleta no meio líquido.

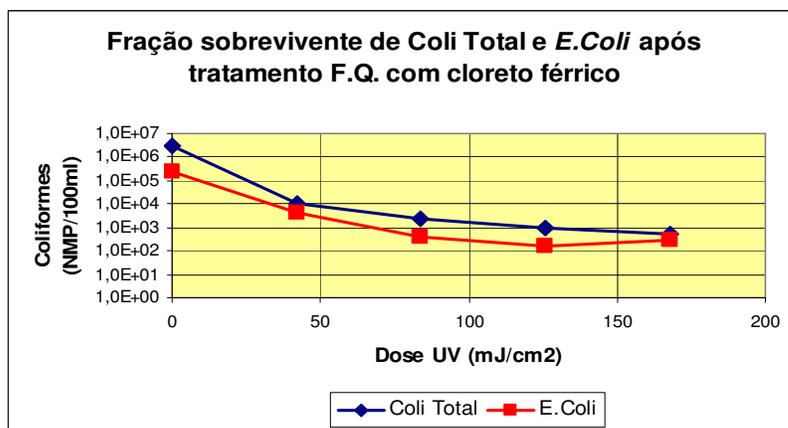
A tabela 5.24 mostra os resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidos no 5º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator piloto de lâmpadas emersas após tratamento físico-químico com cloreto férrico em 11 de julho de 2002.

Tabela 5.24: Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidos no 5º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator piloto de lâmpadas emersas após tratamento físico-químico com cloreto férrico.

FeCl ₃ (mg/L)	Dosagem (mJ/cm ²)	Tempo de contato (seg.)	C.Totais (NMP/100 mL)	E.coli NMP/100 mL)
5º ensaio	00	0	2,9x10 ⁶	2,5x10 ⁵
	41,9	30	1,1x10 ⁴	4,5x10 ³
11 jul 2002	83,9	60	2,2x10 ³	4,2x10 ²
	125,8	90	1,0x10 ³	1,5x10 ²
70 mg/L	167,8	120	5,1x10 ²	3,0x10 ²

A figura 5.28 mostra as curvas da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidas no 5º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator piloto de lâmpadas emersas após tratamento físico-químico com cloreto férrico.

Figura 5.28: Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidos no 5º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator piloto de lâmpadas emersas após tratamento físico-químico com cloreto férrico.



Parâmetros Físico-Químicos	Valor (antes FQ)	Valor (depois FQ)
Absorvância (254 nm)	1,452	1,035
Turbidez (UNT)	40	23
SST (mg/L)	110	Não Realizado

No ensaio nº 5 foi necessária dose de 83,9 mJ/cm² e tempo de contato de 60 segundos para a redução dos coliformes fecais para 420 CF/100 mL. Na dose de 125,8 mJ/cm² e tempo de contato de 90 segundos, a redução de coliformes fecais chegou a 150 CF/100 mL. Porém, na dose de 167,8 mJ/cm² e tempo de contato de 120 segundos observou-se um pequeno aumento do número de coliformes fecais e não redução, se comparado ao tempo de exposição de 90 segundos. Tal fato deve-se, provavelmente a limitações do método Colilert ou falha em alguma etapa do ensaio de desinfecção. Embora o tratamento físico-químico tenha reduzido a absorvância e a turbidez, os resultados deste ensaio não foram muito satisfatórios, provavelmente em função da elevada absorvância, mesmo após o tratamento físico-químico.

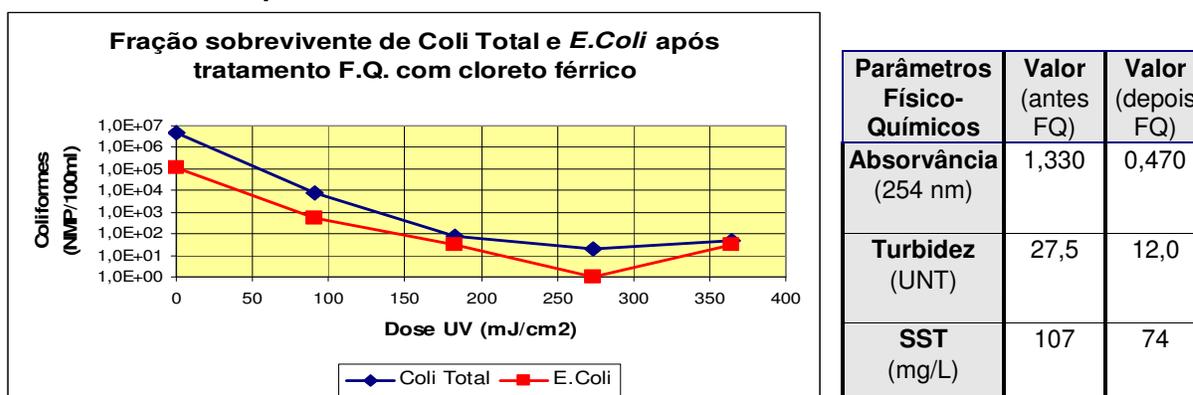
A tabela 5.25 mostra os resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidos no 6° ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator piloto de lâmpadas emersas após tratamento físico-químico com cloreto férrico em 08 de agosto de 2002.

Tabela 5.25: Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidos no 6° ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator piloto de lâmpadas emersas após tratamento físico-químico com cloreto férrico.

FeCl ₃ (mg/L)	Dosagem (mJ/cm ²)	Tempo de contato (seg.)	C.Totais (NMP/100 mL)	E.coli (NMP/100 mL)
6° ensaio	0	0	4,8x10 ⁶	1,1x10 ⁵
	91,1	30	7,2x10 ³	5,0x10 ²
08 ago 2002	182,3	60	7,4x10 ¹	3,1x10 ¹
	273,4	90	2,0x10 ¹	< 1
	80 mg/L	364,6	120	5,1x10 ¹

A figura 5.29 mostra as curvas da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidas no 6° ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator piloto de lâmpadas emersas após tratamento físico-químico com cloreto férrico.

Figura 5.29: Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidos no 6° ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator piloto de lâmpadas emersas após tratamento físico-químico com cloreto férrico.



No ensaio n° 6 foi necessária dose de 91,1 mJ/cm² e tempo de contato de 30 segundos para a redução dos coliformes fecais para 500 CF/100 mL. Dose de 182,3 mJ/cm² e tempo de contato de 60 segundos reduziram os coliformes fecais para 31 CF/100 mL e dose de 273,4 mJ/cm² e tempo de contato de 90 segundos foram suficientes para a redução completa de coliformes fecais (valor avaliado < 1 CF/100ml). Porém, na dose de 364,6 mJ/cm² e tempo de contato de 120 segundos observou-se um pequeno aumento (pico) do número de coliformes fecais, se comparado ao tempo de exposição de 90 segundos (onde houve redução completa). Tal fato deve-se, provavelmente a limitações do método Colilert ou falha em alguma etapa do ensaio de desinfecção. Os resultados deste ensaio foram bastante satisfatórios, provavelmente em função do tratamento físico-químico, o qual reduziu a Absorvância de 1,330 para 0,470, a Turbidez de 27,5 para 12,0 e os SST de 107 para 74, o que permitiu uma maior penetração da radiação UV no meio líquido.

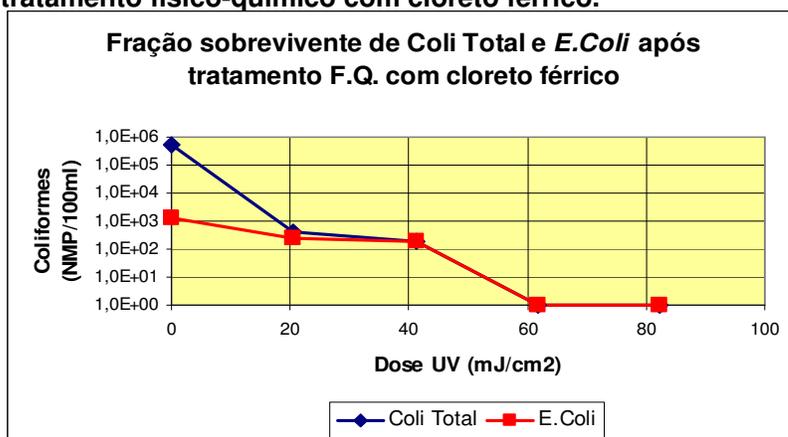
A tabela 5.26 mostra os resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidos no 7º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator piloto de lâmpadas emersas após tratamento físico-químico com cloreto férrico em 03 de junho de 2002.

Tabela 5.26: Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidos no 7º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator piloto de lâmpadas emersas após tratamento físico-químico com cloreto férrico.

FeCl ₃ (mg/L)	Dosagem (mJ/cm ²)	Tempo de contato (seg.)	C.Totais (NMP/100 mL)	E.coli (NMP/100 mL)
7º ensaio	0	0	5,1x10 ⁵	1,3x10 ³
	20,6	30	4,0x10 ²	2,6x10 ²
03 jun 2002	41,2	60	2,0x10 ²	2,0x10 ²
	61,7	90	< 1	< 1
100 mg/L	82,4	120	< 1	< 1

A figura 5.30 mostra as curvas da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidas no 7º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator piloto de lâmpadas emersas após tratamento físico-químico com cloreto férrico.

Figura 5.30: Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidos no 7º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator piloto de lâmpadas emersas após tratamento físico-químico com cloreto férrico.



Parâmetros Físico-Químicos	Valor (antes FQ)	Valor (depois FQ)
Absorvância (254 nm)	1,557	0,954
SST (mg/L)	107	48

No ensaio n° 7 foi necessária dose de 20,6 mJ/cm² e tempo de contato de 30 segundos para a redução dos coliformes fecais para 260 CF/100 mL. Dose de 61,7 mJ/cm² e tempo de contato de 90 segundos foram suficientes para a redução completa de coliformes fecais (valor avaliado < 1 CF/100ml). Neste ensaio o tratamento físico-químico foi bastante eficaz, reduzindo além da concentração de coliformes, a absorvância de 1,557 para 0,954 e os SST de 107 para 48 mg/L, o que permitiu ao ensaio de desinfecção com UV bons resultados (o tratamento físico-químico permitiu uma maior penetração da radiação ultravioleta no meio líquido).

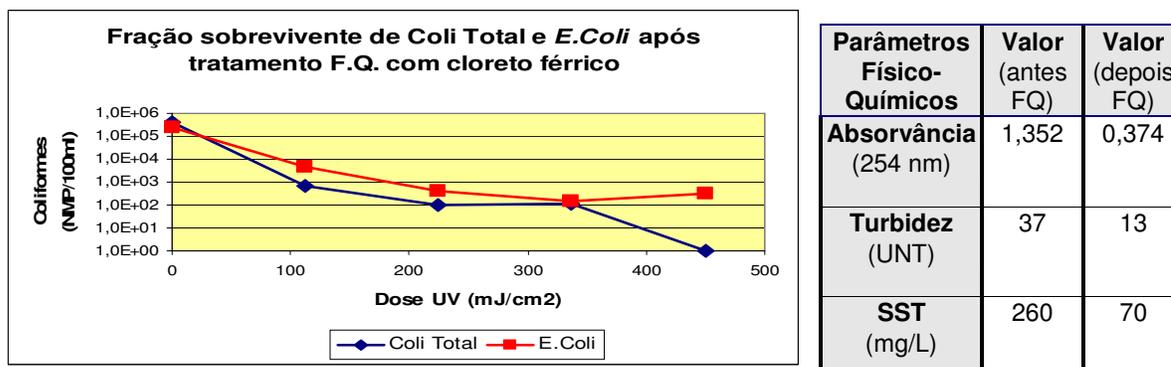
A tabela 5.27 mostra os resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidos no 8º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator piloto de lâmpadas emersas após tratamento físico-químico com cloreto férrico em 25 de junho de 2002.

Tabela 5.27: Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidos no 8º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator piloto de lâmpadas emersas após tratamento físico-químico com cloreto férrico.

FeCl ₃ (mg/L)	Dosagem (mJ/cm ²)	Tempo de contato (seg.)	C.Totais (NMP/100 mL)	E.coli NMP/100 mL)
8º ensaio	0	0	4,1x10 ⁵	2,5x10 ⁵
	112,4	30	7,2x10 ²	4,5x10 ³
25 jun 2002	224,8	60	1,0x10 ²	4,2x10 ²
	337,1	90	1,2x10 ²	1,5x10 ²
150 mg/L	449,5	120	< 1	3,0x10 ²

A figura 5.31 mostra as curvas da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidas no 8º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator piloto de lâmpadas emersas após tratamento físico-químico com cloreto férrico.

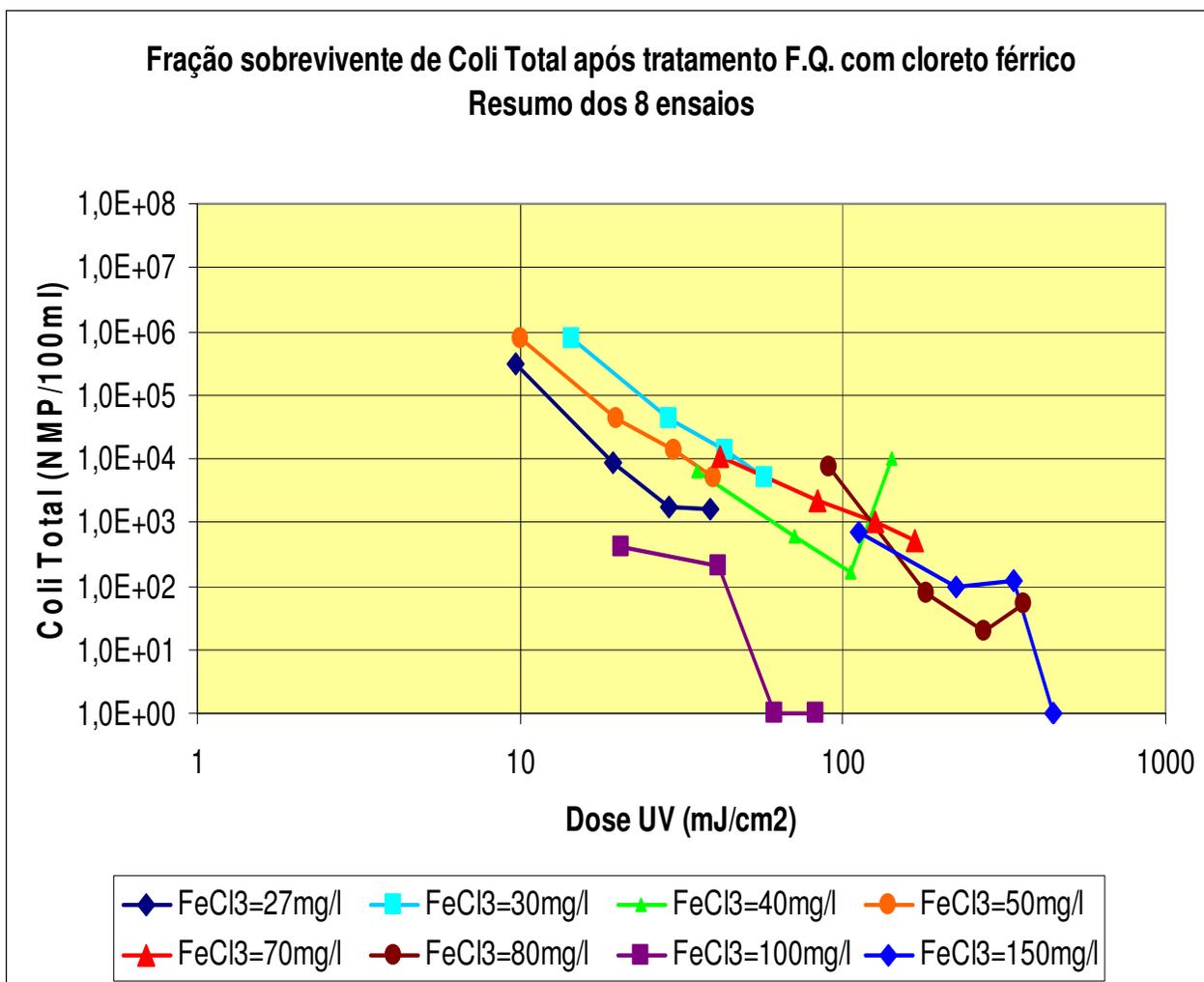
Figura 5.31: Resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais e *E. coli* obtidos no 8º ensaio de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizado em batelada por meio de reator piloto de lâmpadas emersas após tratamento físico-químico com cloreto férrico.



No ensaio n° 8 foi necessária dose de 224,8 mJ/cm² e tempo de contato de 60 segundos para a redução dos coliformes fecais para 420 CF/100 mL. Na dose de 337,1 mJ/cm² e tempo de contato de 90 segundos, a redução de coliformes fecais chegou a 150 CF/100 mL. Porém, na dose de 449,5 mJ/cm² e tempo de contato de 120 segundos observou-se um pequeno aumento do número de coliformes fecais, se comparado ao tempo de exposição de 90 segundos. Tal fato deve-se, provavelmente a limitações do método Colilert ou falha em alguma etapa do ensaio de desinfecção. Neste ensaio o tratamento físico-químico foi bastante eficaz, reduzindo além da concentração de coliformes, a absorvância de 1,352 para 0,374, turbidez de 37 para 13 UNT e SST de 260 para 70 mg/L, o que permitiu ao ensaio de desinfecção com UV bons resultados (o tratamento físico-químico permitiu uma maior penetração da radiação ultravioleta no meio líquido).

A figura 5.32 mostra, resumidamente, as curvas da concentração sobrevivente de coliformes totais obtidas nos 08 ensaios de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizados em batelada por meio de reator piloto de lâmpadas emersas após tratamento físico-químico com cloreto férrico.

Figura 5.32: Resumo dos resultados da concentração sobrevivente de coliformes totais obtidos nos 08 ensaios de desinfecção do efluente do sistema de lagoas com radiação ultravioleta realizados em batelada por meio de reator piloto de lâmpadas emersas após tratamento físico-químico com cloreto férrico.



5.3.1 Discussão dos resultados do terceiro grupo de ensaios:

Em função da elevada concentração de sólidos em suspensão dos efluentes da lagoa facultativa, ocasionado principalmente pelas algas (concentração média de SST de 130 mg/L) foram feitos vários ensaios físico-químicos utilizando cloreto férrico em diversas concentrações. Com a remoção dos sólidos, a concentração média de SST foi de 130 para 61,5 mg/L. O tratamento físico-químico com cloreto férrico propiciou a redução da DBO, DQO, SST, turbidez e absorvância. A redução dos sólidos permitiu que a radiação ultravioleta fosse melhor absorvida no meio líquido, influenciando, portanto, na eficiência do processo de desinfecção com radiação ultravioleta para a redução das concentrações dos coliformes totais e fecais.

Com o tratamento físico-químico, pode-se observar também a redução da concentração de coliformes, ovos de helmintos e de fósforo, via precipitação, principalmente. Todavia, continua a preocupação com ovos de helmintos que têm sido encontrados sistematicamente nos efluentes da lagoa facultativa, que são removidos apenas quando se aplica o tratamento físico-químico. Os resultados demonstraram também que, à medida que se aumentou a concentração de cloreto férrico, os resultados foram melhores, tendo-se chegado a valores bastante baixos de DBO nos esgotos após o tratamento físico-químico.

Porém, de acordo com os experimentos e preços praticados pela SABESP, o cloreto férrico apresenta custos elevados. Considerando-se a dosagem de 100 mg/L de cloreto férrico e com base em uma produção de esgotos de 160L/habitante.dia, o custo mensal de cloreto férrico seria de R\$ 0,42 por habitante, enquanto que o de sulfato de alumínio, por exemplo, seria de R\$ 0,13 por habitante.

Os ensaios deste grupo se caracterizaram pela redução gradual da concentração de coliformes totais e fecais, à medida que o tempo de exposição do microrganismo à radiação ultravioleta aumentava (30, 60, 90 e 120 segundos). Porém, em alguns ensaios, observou-se um aumento (pico) da concentração de coliformes fecais e não redução, após aumento do tempo de exposição. Tal fato deve-se, provavelmente a limitações do método Colilert para valores bem reduzidos de coliformes ou falha em alguma etapa do ensaio de desinfecção.

5.3.2 Correlação entre as variáveis SST, Turbidez e Absorvância com a concentração de coliformes fecais.

Foi feita uma análise da influência dos parâmetros físico-químicos (SST, Turbidez e Absorvância) na eficiência da desinfecção com radiação ultravioleta no reator piloto operando em batelada após tratamento físico-químico. Para isso foi calculada a correlação estatística (r^2) entre tais parâmetros e a concentração de coliformes fecais. Dentre os tempos de exposição (30, 60, 90 e 120 segundos) definiu-se o tempo de exposição de 60 segundos.

Nas figuras 5.34 a 5.36 observa-se o resultado da análise de correlação entre cada uma das variáveis físico-químicas e a concentração de coliformes fecais nos ensaios de desinfecção com radiação ultravioleta no reator piloto operando em batelada após tratamento físico-químico com tempo de exposição de 60 segundos.

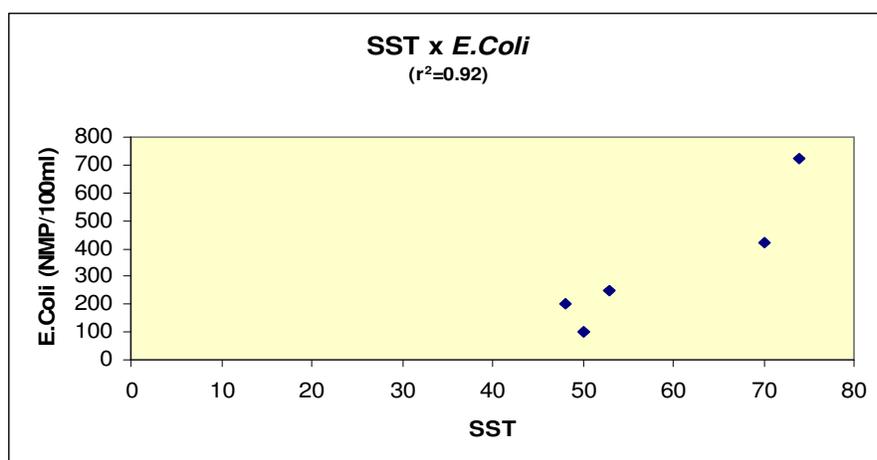


Figura 5.34: Correlação entre SST e a concentração de coliformes fecais para o tempo de desinfecção de 60 segundos no ensaio de desinfecção com o reator batelada após tratamento físico-químico.

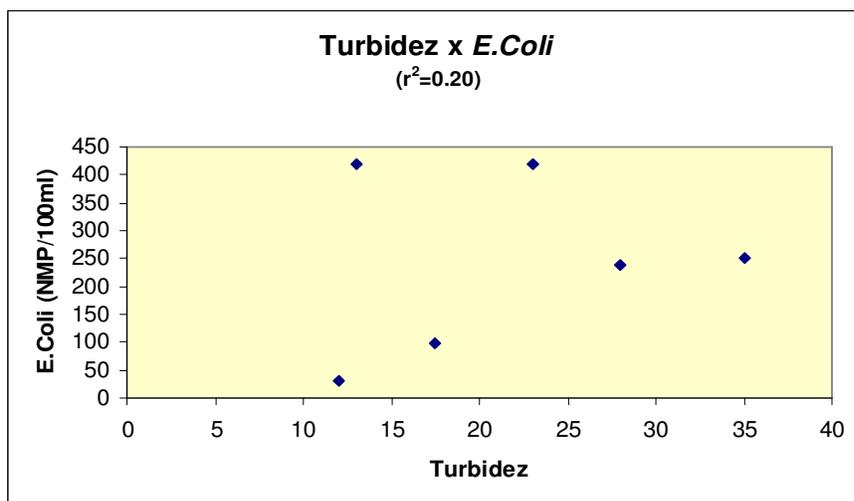


Figura 5.35: Correlação entre Turbidez e a concentração de coliformes fecais para o tempo de desinfecção de 60 segundos no ensaio de desinfecção com o reator batelada após tratamento físico-químico.

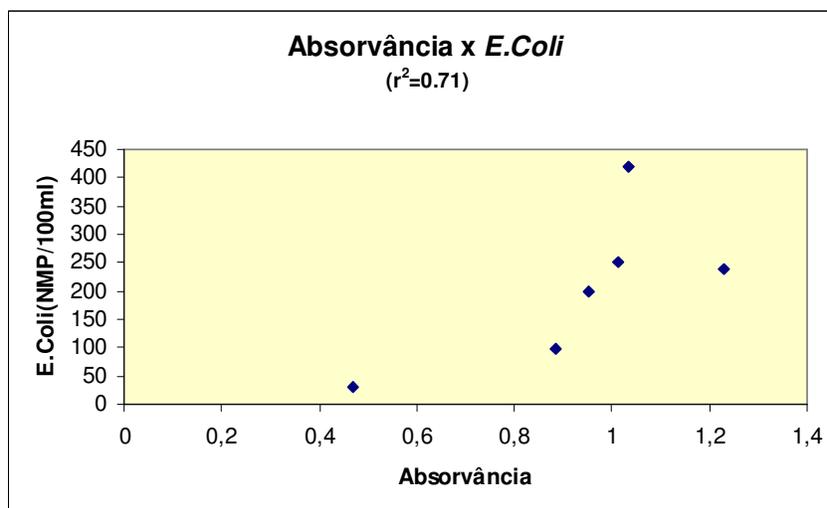


Figura 5.36: Correlação entre Absorvância e a concentração de coliformes fecais para o tempo de desinfecção de 60 segundos no ensaio de desinfecção com o reator batelada.

Dentre os parâmetros físico-químicos analisados (SST, Turbidez e Absorvância), o parâmetro que apresentou a maior correlação com a concentração de coliformes fecais foram os SST ($r^2 = 0,92$).

A segunda maior correlação foi observada para a absorvância ($r^2 = 0,71$) e a menor correlação foi obtida para a turbidez ($r^2 = 0,20$).

Portanto, o parâmetro SST foi o que mais influenciou na desinfecção do esgoto sanitário com radiação ultravioleta utilizando reator piloto de lâmpadas emersas operando em batelada após tratamento físico-químico com cloreto férrico.

5.3.3 Comparação dos resultados com e sem prévio tratamento físico-químico

Baseado nos resultados experimentais pode-se verificar que os ensaios de desinfecção com radiação ultravioleta foram mais efetivos no efluente tratado por processo físico-químico, após coagulação, floculação e sedimentação com os agentes coagulantes do que os ensaios de desinfecção com radiação ultravioleta sem o tratamento físico-químico, em função da significativa diminuição da densidade de algas. Esta remoção promoveu uma boa remoção de sólidos em suspensão dos efluentes da lagoa facultativa, melhorando seu aspecto estético e facilitando a penetração da radiação ultravioleta.

Nos ensaios de desinfecção sem o tratamento físico-químico, conseguiu-se bons resultados com dosagens de radiação UV de cerca 140 mWs/cm^2 , enquanto que para os efluentes da lagoa facultativa pós-tratados por processo físico-químico, obteve-se bons resultados com dosagens de cerca de 70 mWs/cm^2 .

Capítulo 6

Conclusões

Baseado nos levantamentos bibliográficos e nos resultados dos diversos ensaios de desinfecção com radiação ultravioleta, pode-se concluir:

1. Ensaio de desinfecção UV utilizando reator piloto de lâmpadas emersas, operando em batelada:

Embora o efluente do sistema de lagoas (anaeróbia + facultativa) tivesse elevada concentração de sólidos em suspensão (principalmente algas nas lagoas facultativas), em média em torno de 130 mg/L, foi possível obter resultados consideravelmente satisfatórios na redução dos indicadores biológicos selecionados (coliformes totais e fecais). Doses de radiação na faixa de 20 a 40 mWs/cm² e tempos de contato inferiores a 90 segundos foram suficientes para a redução dos coliformes fecais abaixo de 10³ CF/100 mL, chegando em algumas condições a praticamente eliminá-los.

Pode-se verificar que nos ensaios de desinfecção feitos com os efluentes que apresentaram os parâmetros físico-químicos SST, turbidez e absorvância elevados, a eficiência da desinfecção foi menor, pois a presença de partícula sólidos suspensos e dissolvidos dificultou a penetração da radiação UV no meio líquido. Foi feita uma análise estatística da influencia dos parâmetros físico-químicos (SST, Turbidez e Absorvancia) na eficiência da desinfecção com radiação ultravioleta. Dentre os parâmetros físico-químicos analisados, o parâmetro que apresentou a maior correlação com a concentração de coliformes fecais foram os SST ($r^2 = 0,64$).

2. Ensaio de desinfecção UV utilizando reator piloto de lâmpada emersa, operando em fluxo contínuo:

Embora os efluentes do sistema de lagoas também apresentarem elevada concentração de sólidos em suspensão (principalmente algas nas lagoas facultativas), em média em torno de 95 mg/L, pode-se considerar os resultados obtidos em reator piloto com lâmpadas emersas bastantes satisfatórios na redução dos indicadores biológicos selecionados (coliformes totais e fecais). Doses de radiação na faixa de 10 a 20 mWs/cm² e tempos de contato de 50 a 100 segundos foram suficientes para reduzir a densidade de *E.coli* abaixo de 1 x 10³ CF/100 mL, chegando em algumas condições a praticamente eliminá-los.

A redução da concentração de coliformes para o tempo de exposição de 50 segundos (vazão de 210 L/h) não foi muito eficiente. Porém, quando se reduziu a vazão à metade (105 L/h) o tempo de exposição aumentou para 100 segundos, o que ocasionou na melhora da eficiência da desinfecção. Pode-se verificar que nos ensaios de desinfecção feitos com os efluentes que apresentaram os parâmetros físico-químicos SST, turbidez e absorvância elevados, a eficiência da desinfecção foi menor, pois a presença de partícula sólidos suspensos e dissolvidos dificulta a penetração da radiação UV no meio líquido. Foi feita uma análise estatística da influencia dos parâmetros físico-químicos (SST, Turbidez e Absorvancia) na eficiência da desinfecção com radiação ultravioleta. Dentre os parâmetros físico-químicos analisados, o único parâmetro que apresentou correlação com a concentração de coliformes fecais foi a absorvância ($r^2 = 0,84$).

3. Ensaios de desinfecção após tratamento físico-químico com cloreto férrico utilizando o reator batelada e lâmpadas emersas:

O tratamento físico-químico com cloreto férrico propiciou a redução da DBO, DQO, SST, turbidez e absorvância. A redução dos sólidos permitiu que a radiação ultravioleta fosse melhor absorvida no meio líquido, influenciando, portanto, na eficiência do processo de desinfecção com radiação ultravioleta para a redução da concentrações dos coliformes totais e fecais. Com o tratamento físico-químico, pode-se observar também a redução da concentração de coliformes, ovos de helmintos e de fósforo, via precipitação, principalmente. Os resultados demonstraram também que, à medida que se aumentou a concentração de cloreto férrico, os resultados foram melhores, tendo-se chegado a valores bastante baixos de DBO nos esgotos após o tratamento físico-químico.

Foi feita uma análise estatística da influencia dos parâmetros físico-químicos (SST, Turbidez e Absorvancia) na eficiência da desinfecção com radiação ultravioleta. Dentre os parâmetros físico-químicos analisados, o parâmetro que apresentou a maior correlação com a concentração de coliformes fecais foram os SST ($r^2 = 0,92$).

É possível concluir que os efluentes clarificados por floculação química possuem excelentes condições para serem desinfetados. Além da remoção promovida pelo próprio tratamento físico-químico, a redução da turbidez permite bons níveis de desinfecção do efluente final, podendo-se obter inativação praticamente completa aplicando-se dosagens relativamente baixas de radiação UV. Para as dosagens mais baixas do coagulante, os resultados são inferiores. Mas, ainda assim, podem ser interessantes para o preparo dos efluentes para a desinfecção final ou outras aplicações que possam ser prejudicadas pela elevada concentração de sólidos em suspensão nos efluentes.

4. Comparação dos ensaios de desinfecção após tratamento físico-químico com cloreto férrico utilizando reator batelada e de lâmpadas emersas com os ensaios de desinfecção sem o tratamento físico-químico:

Baseado nos resultados experimentais pode-se verificar que os ensaios de desinfecção com radiação ultravioleta foram mais efetivos no efluente tratado por processo físico-químico, após coagulação, floculação e sedimentação com os agentes coagulantes do que os ensaios de desinfecção com radiação ultravioleta sem o tratamento físico-químico, em função da significativa diminuição da densidade de algas. O tratamento físico-químico promoveu uma boa remoção de sólidos em suspensão dos efluentes da lagoa facultativa, melhorando seu aspecto estético e facilitando a penetração da radiação ultravioleta.

Em função do tratamento físico-químico, pode-se observar também a redução da concentração de coliformes, ovos de helmintos e de fósforo, via precipitação, principalmente. Todavia, continua a preocupação com ovos de helmintos que têm sido encontrados sistematicamente nos efluentes da lagoa facultativa, que são removidos apenas quando se aplica o tratamento físico-químico. Nos ensaios de desinfecção sem o tratamento físico-químico, conseguiu-se bons resultados com dosagens de radiação UV de cerca 140 mWs/cm^2 , enquanto que para os efluentes da lagoa facultativa pós-tratados por processo físico-químico, obteve-se bons resultados com dosagens de cerca de 70 mWs/cm^2 .

5. Qualidade do efluente a ser tratado e limitações dos sistemas de tratamento de esgotos no Brasil:

Em função dos resultados obtidos nos ensaios de desinfecção com radiação ultravioleta, com e sem tratamento físico-químico prévio, pode-se observar que a desinfecção com radiação ultravioleta é mais efetiva para águas com cor e turbidez de pequeno valor, devido à necessidade de penetração da luz no meio. Pode-se, portanto, constatar que a qualidade da água a ser tratada é um importante fator na utilização deste processo de desinfecção. Isto significa que para a aplicação da radiação UV em esgotos sanitários, o efluente secundário deverá apresentar as condições mínimas para a viabilização da aplicação da radiação UV, tais como cor e turbidez razoavelmente baixas.

Estas condições nem sempre são alcançadas nas estações de tratamento de esgotos, principalmente as estações de tratamento por processos de lagoas de estabilização, já que a maioria destas estações de tratamento não possui lagoa de maturação, por limitações de ordem financeira e disponibilidade de espaço.

Desta forma, alguns padrões de emissão geralmente não são atendidos. Vale ressaltar que grande parte da população brasileira, especialmente cidades de médio e pequeno porte, sequer possui adequado sistema de tratamento de água e esgotos, em função da escassez de recursos técnicos e, principalmente, financeiros. É enorme a carência de processos de desinfecção confiáveis, de baixo custo e compatíveis com a realidade de cada região do país, em função da sua heterogeneidade econômica, geográfica e social. Para melhorar a qualidade final do efluente secundário, as estações de tratamento de esgotos deveriam dispor de tratamento complementar, tais como tratamentos físico-químicos ou lagoas de maturação. Porém, tais tratamentos implicariam no aumento significativo de custos e espaço disponível.

Capítulo 7

Referências Bibliográficas

ACIDOS NUCLEICOS - DNA e RNA

www.biologianaweb.com/livro2/c1/acidnuc.html (11 set 2003)

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 19th ed., APHA, AWWA, WEF, Washington, D.C., 1995.

BILOTTA, P. Estudo comparativo da ação do ozônio e radiação ultravioleta na desinfecção de esgoto sanitário. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2000, São Carlos, SP.

BRANCO, Samuel Murgel. Hidrobiologia aplicada à engenharia sanitária. 2 ed. São Paulo, CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 1978. 620 p. ilustr.

CAMACHO, Paulo Rogério Rodrigues. (1995). Desinfecção de efluentes de sistemas de tratamento de esgotos sanitários por meio da radiação ultravioleta. São Paulo, 94 p. (Dissertação de Mestrado: Área de concentração em Tecnologia Nuclear Básica) IPEN - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 1997 (Série Manuais, 14 / Secretaria do Meio Ambiente). Manual de orientação em casos de florações de algas tóxicas : um problema ambiental e de saúde pública. São Paulo, 24 p.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 1990 (Série Manuais, 7 / Secretaria do Meio Ambiente). Avaliação de desempenho de lagoas de estabilização. São Paulo, 15 p.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 1989 (Série Manuais, 5 / Secretaria do Meio Ambiente). Operação e manutenção de lagoas anaeróbias e facultativas. São Paulo, 91 p.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 1991 (Série Manuais, 9 / Secretaria do Meio Ambiente). Avaliação de desempenho de estações de tratamento de esgotos. São Paulo, 38 p.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, Norma L5.225N - Determinação de colifagos em amostras de água, 1990. São Paulo.

CLORO – Características físico-químicas

www.carbochloro.com.br (11 set 2003)

COLETTI, F. J. Inativação de microrganismos indicadores presentes em efluentes secundários de esgoto sanitário com radiação ultravioleta. Dissertação de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2003, São Carlos.

CONAMA. RESOLUÇÃO CONAMA N° 20, de 18 de junho de 1986. Conselho Nacional do Meio Ambiente, 1986. Diário Oficial da União, Brasília, DF, seção I, p. 11356 - 11361.

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

DANIEL, L.A. (1993). Desinfecção de esgoto com radiação ultravioleta : fotorreativação e obtenção de parâmetros cinéticos. São Carlos, 164 p. Dissertação de Doutorado em Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

DANIEL, L.A. (Coordenador). Processos de desinfecção e desinfetantes alternativos na produção de água potável. Rio de Janeiro. RiMa, ABES, 2001. 155 p. Projeto PROSAB.

DIAS, V. D. - Radiação ultravioleta e ozônio aplicados como métodos alternativos de desinfecção de efluentes secundários de esgoto sanitário. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2001, São Carlos.

DIFFEY, Brian e FARR, Peter. Terapia por radiação ultravioleta. Capítulo 14. Editora Manole. São Paulo. 2º Edição. 1994.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE DO MINISTÉRIO DA SAÚDE - Manual de saneamento para Municípios. Brasília, D.F.,1999.

GONÇALVES, R.F. Desinfecção de Efluentes Sanitários (ccordenador). Rio de Janeiro: ABES, RiMA, 2003. 438 p. Projeto PROSAB.

HARM, W. Biological effects of ultraviolet radiation. New York: Cambridge University Press, 1980. 216 p.

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

HESPANHOL, I. Esgotos como recurso hídrico – Dimensões políticas, institucionais, legais, econômico-financeiras e sócio-culturais. Artigo publicado na Revista Engenharia, nº 523, págs. 45 a 57, 1997, São Paulo.

HESPANHOL, I. Águas Doces no Brasil – Capital Ecológico, Uso e Conservação. Instituto de Estudos Avançados da USP. Ed. Escrituras, 1999 São Paulo.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. População: PNAD – Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílio.

<http://www.ibge.gov.br/ibge/estatistica/populacao/trabalhoerendimento/pnad99/sintese/tabela.shtml> (10 setembro 2003).

LOW, John e REED, Ann. Eletroterapia explicada. Princípios e práticas. Capítulo 15. Editora Manole. São Paulo. 3º Edição. 2002.

MANCUSO, Pedro Caetano Sanches. Reúso da água e sua possibilidade na região Metropolitana de São Paulo. Dissertação de Doutorado, Faculdade de Saúde Pública da USP, 1992. São Paulo.

MANCUSO, Pedro Sanches. Reúso da água. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Saúde Pública da USP, 1988. São Paulo.

METCALF & EDDY. Wastewater engineering : treatment and reuse. 4th ed./revised, Mc Graw Hill, 2003.

PELCZAR et al. Pelczar, M., Reid, R., e Chan, E.C.S. Microbiologia. Ed. Mc Graw Hill, São Paulo, 1980.

PIRES, M. R. Desinfecção de esgotos com radiação ultravioleta : influência da qualidade do efluente e da fotorreativação. Dissertação de Doutorado. Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas, 2002, Campinas, SP.

SAMPAIO, A. O. Desinfecção de esgotos sanitários com utilização de radiação ultravioleta. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1985. São Carlos, SP.

USEPA (U.S. Environmental Protection Agency), 1999b. Alternative Disinfectants and Oxidants Guidance Manual - EPA 815 - R - 99 - 014, Office of Water.

USEPA (U.S. Environmental Protection Agency), 1996. Ultraviolet Light Disinfection Technology in Drinking Water Application - Na Overview. EPA 811 - R - 96 - 002, Office of Ground Water and Drinking Water.

USEPA (U.S. Environmental Protection Agency), 1986. Municipal Wastewater Disinfection Design Manuals. Cincinnati, Ohio, EPA – 625/1-86-021.

USEPA (U.S. Environmental Protection Agency), 1999a. Chlorine Disinfection – wastewater Technology Fact Sheet. Washington, D.C. EPA-832/R-99-062.

USEPA (U.S. Environmental Protection Agency), 1999c. Ozone Disinfection – wastewater Technology Fact Sheet. Washington, D.C. EPA-832/R-99-063.

USEPA (U.S. Environmental Protection Agency), 1999d. Ultraviolet Disinfection – wastewater Technology Fact Sheet. Washington, D.C. EPA-832/R-99-064.

WATER ENVIRONMENT FEDERATION. Wastewater disinfection – Manual of Practice / Prepared by Task Force on Wastewater Disinfection . Series : Manual of Practice. FD; n° 10, USA, 1996.

WATER ENVIRONMENT RESEARCH FOUNDATION. Comparison of UV Irradiation to chlorination : Guidance for achieving optimal UV performance. Project 91–WWD-1, USA, 1995.

WHITE, G.C. (1992). Handbook of chlorination and alternative disinfectants. Nova York, Van Nostrand Reinhold, v.3.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)