Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo

Catarina Sandor de Castro Costa

O uso de radiação ultravioleta no controle microbiológico em torres de resfriamento

São Paulo

2007

Catarina Sandor de Castro Costa

Livros Grátis

http://www.livrosgratis.com.br

Milhares de livros grátis para download.

O uso de radiação ultravioleta no controle microbiológico em torres de resfriamento

Dissertação apresentada ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, para obtenção do título de Mestre em Tecnologia Ambiental

Área de concentração: Mitigação de impactos ambientais

Orientador: Dr. José Gregório Cabrera Gomez

São Paulo

Outubro de 2007

C837u **Costa, Catarina Sandor de Castro**

O uso de radiação ultravioleta no controle microbiológico em torres de resfriamento. / Catarina Sandor de Castro Costa. São Paulo, 2007.
60p.

Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental) - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Área de concentração: Mitigação de Impactos Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. José Gregório Cabrera Gomez

1. Tratamento de água industrial 2. Torre de resfriamento 3. Controle microbiológico 4. Radiação ultravioleta 5. Tese I. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Coordenadoria e Ensino Tecnológico. II. Título

Aos meus pais, meu marido e irmão
por tudo o que representam em minha vida.
Amo vocês!

RESUMO

A água é o fluido mais utilizado pela indústria para o resfriamento de equipamentos que necessitem de troca de calor em sua operação. Porém, ela apresenta em sua composição elementos dissolvidos que causam diversos problemas às máquinas envolvidas no processo de resfriamento, como corrosão e incrustação; não obstante, ainda existe a contaminação microbiológica, causada pelo contato da água de refrigeração com o ar. Devido a essas ocorrências, a realização de um tratamento se faz necessária.

Para o controle microbiológico em sistemas torres de resfriamento, normalmente são utilizados produtos químicos biocidas, porém existe também a possibilidade de este controle ser realizado por meio de agentes físicos, como a radiação ultravioleta, por exemplo, que é um modo de controle onde a manipulação de produtos químicos é extinta e com ela os riscos operacionais inerentes ao processo.

O objetivo do trabalho foi primeiramente demonstrar que é possível manter uma mesma qualidade microbiológica do tratamento da água industrial em torres de resfriamento com o uso de radiação ultravioleta. Adicionalmente, estudos foram realizados para verificar se as bactérias que permaneciam na água após o contato com a radiação ultravioleta eram bactérias resistentes à radiação ou se elas permaneciam na água devido à contaminação constante e um teste piloto em um protótipo de torre de resfriamento também foi realizado.

Os ensaios mostraram que as bactérias que permaneciam na água das torres de resfriamento não possuíam uma resistência maior do que as bactérias de controle *S. aureus* e *E. coli* e que o protótipo reagia de forma semelhante a uma soma de fenômenos como morte microbiana pela radiação ultravioleta, proteção da ação germicida por células mortas, fotorreativação e crescimento bacteriano através dos nutrientes das células mortas.

Palavras chave: água, torre de resfriamento, ultravioleta

ABSTRACT

Water is the most important fluid used in industry for heat exchange operations. However, it presents some dissolved elements that cause several problems to machines involved on heat exchange, as corrosion and fouling; in addition, there is the microbiological contamination caused by the contact of the cooling water and air; due this problems, some water treatment is necessary.

Cooling tower microbiological control is usually done with chemical products, but there is also the possibility of using some physical agents, as ultraviolet radiation, that is a way of control without manipulation of chemical products and without operational risks that they may bring.

This work first intended to show that is possible to mantein the same microbiologic industrial water quality on cooling towers with ultraviolet radiation. Further researchs were made to verify if bacteria that remained on water after ultraviolet exposion were radiation resistants or if they remained on water due the constant contamination. A pilot test on a cooling water prototype was also been done.

Essays showed bacteria that remained on cooling tower water were not more resistant that control bacteria *S. aureus* and *E. coli* and the prototype reacted on a similar way as the sum of phenomena as ultraviolet radiation microbe death, germicid action protection by death cells, photoreactivation and bacteria growth through death cells nutritions.

Keywords: water, cooling tower, ultraviolet

Lista de Ilustrações

Figura 1 - Estruturas químicas das bases nitrogenadas do DNA 14
Figura 2 - Dupla hélice do DNA 15
Figura 3 - Lesões de indução ultravioleta 16
Figura 4 - Estrutura dos dímeros de ciclobutil pirimidina *cis-syn* e *trans-syn* 17
Figura 5 - Remoção dos dímeros de pirimidina por fotorreativação e reativação no escuro 18
Figura 6 - Esquema de sistema aberto de refrigeração 23
Figura 7 - Esquema de sistema fechado 24
Figura 8 - Esquema de sistema semi-aberto 25
Figura 9 - Torre de resfriamento de ventilação natural 26
Figura 10 - Torre de resfriamento de tiragem natural 27
Figura 11 - Torres de resfriamento de tiragem mecânica forçada esquema de montagem e fotografia 28
Figura 12 - Torres de Resfriamento de tiragem mecânica induzida 29
Figura 13 - Instalação do equipamento ultravioleta em uma torre de resfriamento; detalhe: equipamento ultravioleta 37
Figura 14 - Gabarito de leitura do laminocultivo 38
Figura 15 - Protótipo da torre de resfriamento 40
Figura 16 - Curva de morte do *S.aureus* x fluência 45
Figura 17 - Curva de morte da *E. coli* x fluência 46
Figura 18 - Curva de morte da colônia UV x fluência 46
Figura 19 - Morte de *E. coli* em função da exposição 51
Figura 20 - Esquema do protótipo 52

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Resultados de análises microbiológicas realizadas em torres de resfriamento 43
Tabela 2 - Sobrevivência de linhagens bacterianas à radiação ultravioleta 44
Tabela 3 – Coeficientes de morte observados para cada uma das bactérias 47
Tabela 4 – Concentração de bactérias sobreviventes em função da exposição à lâmpada germicida no experimento piloto 50

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO..... 1

2. OBJETIVOS 4
2.1 Geral 4
2.2 Específicos 4

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 5
3.1 Controle Microbiano 5
3.1.1 Padrão de morte em uma população microbiana 5
3.1.2 Controle por agentes químicos 8
3.1.3 Controle por agentes físicos 10
3.2 Lâmpadas ultravioleta..... 20
3.3 Classificação dos sistemas de resfriamento 22
3.3.1 Sistema aberto 22
3.3.2 Sistema fechado 23
3.3.3 Sistema semi-aberto 24
3.4 Torres de resfriamento 25
3.4.1 Torres de resfriamento de ventilação natural 25
3.4.2 Torres de resfriamento de tiragem natural 26
3.4.3 Torres de resfriamento de tiragem mecânica 27
3.5 Formas de controle de microrganismos em torres de resfriamento 29
3.5.1 Algas 30
3.5.2 Fungos 31
3.5.3 Bactérias 32
3.5.4 Problemas causados por atividade microbiana 34

4. MATERIAIS E MÉTODOS 36
4.1 Análise de contagem microbiana em torre de resfriamento..... 36
4.2 Análise da resistência de bactérias à radiação ultravioleta 38
4.3 Análise do padrão de morte bacteriana em protótipo de torre de resfriamento.....
39
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO 42

5.1 Avaliação da contagem microbiana em torre de resfriamento..... 42
5.2 Avaliação da resistência de bactérias à radiação ultravioleta 44
5.3 Avaliação do padrão de morte bacteriana em protótipo de torre de resfriamento..... 48

6. CONCLUSÕES 55

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 56

1. INTRODUÇÃO

Na grande maioria dos processos industriais existe a necessidade do resfriamento de máquinas, fluidos e equipamentos que geram ou recebem calor durante sua operação.

A água é o fluido mais utilizado para este fim, pois muitos são os fatores que a tornam um excelente meio de resfriamento: ela pode absorver grandes quantidades de calor por unidade de volume, apresenta variações dimensionais desprezíveis na faixa de uso, baixa viscosidade, condutividade térmica elevada, é neutra, inodora, geralmente atóxica, apresenta grande estabilidade química, entre outras características atrativas. Todavia, apesar de cristalina e transparente, a água contém sólidos dissolvidos e, à medida que ocorre a evaporação devido à troca de calor, essas substâncias permanecem no sistema e se concentram mais enquanto os equipamentos de resfriamento estão operando. Além disso, a água também sofre contaminação por impurezas presentes no ar que podem ser tanto sólidos dissolvidos como microrganismos; devido a essa contaminação a água necessita de tratamento para garantir a baixa corrosividade e impedir o crescimento desordenado de microrganismos.

A utilização de aparelhos com lâmpadas ultravioleta no controle microbiológico em sistemas de torres de resfriamento surgiu como uma alternativa ao controle microbiológico tradicional, comumente realizado com adição de biocidas à água.

No tratamento microbiológico convencional, ocorre a manipulação de produtos químicos, existindo a possibilidade de acidentes tanto no manuseio quanto na

estocagem do material podendo, dessa forma, haver contaminação por parte dos operadores e do meio ambiente.

Com a utilização do aparelho, que é objeto de estudo neste trabalho, é possível realizar o controle microbiológico sem agredir o meio ambiente, uma vez que é eliminada toda a mão de obra agregada ao tratamento, pois a partir da utilização de lâmpadas ultravioleta, não se faz necessária à manipulação de produtos químicos para o controle de crescimento de algas, fungos e bactérias, automatizando o tratamento de água e operando com uma tecnologia limpa.

Uma das vantagens da utilização de radiação ultravioleta em água de recirculação é que com ela não se faz necessária à adição contínua de produtos químicos. Além disso, a desinfecção UV não produz residuais tóxicos como os produtos halogenados orgânicos por cloretos ou brometos podem produzir. Por outro lado, a desinfecção por UV tem um custo mais elevado (GILPIN *et al.*, 1985).

O trabalho ao qual essa dissertação se refere, foi realizado de maneira a mostrar que é possível obter uma concentração microbiana na água de torre de resfriamento dentro de níveis aceitáveis ($< 10^5$ UFC/mL) (DANTAS, 1988), sem a manipulação de produtos químicos comumente utilizados no processo de tratamento de água de resfriamento industrial;

Entretanto, resultados preliminares do trabalho mostraram que, apesar do controle microbiano com radiação ultravioleta em torres de resfriamento, as concentrações microbianas permaneciam constantes ao longo do tempo, o que resultou no aprofundamento do estudo para verificar se a população microbiana estudada apresentava um padrão de resistência aumentado à radiação ultravioleta ou se a população permanecia constante devido à contaminação contínua do sistema.

Com base nos resultados observados inicialmente, seguiu-se uma bateria de experimentos para verificar a veracidade da indagação e também mostrar a viabilidade prática do controle microbiológico sem produtos químicos.

2. OBJETIVOS

Os objetivos da pesquisa sobre a utilização de radiação ultravioleta para controle microbiológico em sistemas de torres de resfriamento podem ser divididos em geral e específicos.

2.1 Geral

O objetivo geral é avaliar a eficácia da utilização de radiação ultravioleta no controle de microrganismos em sistemas de torre de resfriamento.

2.2 Específicos

No tocante aos objetivos específicos, almeja-se:

- verificar a resistência dos microrganismos isolados de uma torre de resfriamento comparado com outras cepas bacterianas;

- estudar o tratamento com radiação ultravioleta em modelo de torre de resfriamento.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Controle Microbiano

O desenvolvimento de técnicas de controle microbiano foi indispensável para o avanço da microbiologia. A primeira vez que o controle microbiano foi estudado data de 1871 por Koch, realizando desinfecções de culturas puras; em 1897, Krönig e Paul mostraram que desinfetantes reduzem o número de células viáveis de uma cultura gradualmente e não abruptamente (DAVIS *et al.*, 1968).

O controle microbiano mostrou-se fundamental para a boa operação de sistemas de torres de resfriamento. Este controle pode ser feito tanto por agentes químicos como por agentes físicos. Muitos dos trabalhos voltados à área de resfriamento de água têm focado avaliar a efetividade desses agentes contra a *Legionella*, bactéria presente em águas de torres de resfriamento, devido ao fato de ela ser a causadora da doença dos Legionários (KNUDSON, 1985), porém o problema da qualidade da água da torre de resfriamento é muito maior do que aqueles causados pela *Legionella*; a falta de controle microbiano pode causar problemas como corrosão e biofilme, por isso é imprescindível que alguma forma de controle seja feita (DANTAS, 1988).

3.1.1 Padrão de morte em uma população microbiana

Em microbiologia, o termo morte pode ser descrito como “a perda da capacidade de reprodução” (PELCZAR *et al.*, 2004), pois ele não pode ser baseado em alterações fisiológicas, porque algumas atividades biológicas podem ficar suspensas por longos períodos de tempo, sem a ocorrência de morte. Desta forma, biologicamente

falando, os indivíduos que retiveram a capacidade de se reproduzir são vivos (viáveis) enquanto os que perderam esta capacidade são mortos (não viáveis).

A referida perda da capacidade de reprodução acontece de modo constante em um dado período de tempo, ou seja, de forma exponencial. Desta forma, se o microrganismo é exposto a algum agente de controle microbiológico, como biocidas, radiações ionizantes ou não ionizantes, uma curva de sobrevivência pode ser estabelecida.

O modo de morte exponencial pode ser explicado da seguinte forma: se inicialmente há 1 milhão de bactérias e após um minuto de ação se elimina 90 % delas (900.000), restam somente 100.000, ou seja, um décimo de alvos em relação ao início. Após mais um minuto, 90% das 100.000 são mortas, restando 10.000, este padrão continua descrevendo uma curva de mortalidade.

Talvez uma das variáveis mais importantes no processo de mortalidade de bactérias seja o tempo de contato. Harriet Chick observou, no início do século XX, que para uma dada concentração de desinfetante, quanto maior o tempo de contato, maior a influência na inativação dos microrganismos (KUZUHARA, 2005).

Com base nesta observação, postulou-se a Lei de Chick:

$$\frac{dN_t}{d_t} = -\ k.N_t \qquad (1)$$

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 numero de organismos quando t é igual a zero, a equação acima pode ser integrada em:

$$\frac{N_t}{N_o} = e^{-k.t} \quad \text{ou} \quad \ln \frac{N_t}{N_o} = -kt \qquad (2)$$

O valor da constante de velocidade de inativação *k* pode ser obtido construindo-se o gráfico de ln (N_t / N_0) em função do tempo de contato t (KUZUHARA, 2005).

Apesar do modelo matemático descrever uma equação de primeira ordem, na prática se observa que nem todas as cinéticas de destruição de microrganismos se comportam desta forma. Normalmente, um “ombro” é observado na curva, dependendo do número de unidades celulares que foram inativadas com a dose de radiação (SOMMER *et al*, 2001; BOYD, 1988; KRUEGER *et al*, 1973).

As teorias que explicam este fenômeno incluem a teoria dos alvos múltiplos, que sustenta que existe mais de um alvo na célula e cada um que é atingido produz um efeito. A segunda teoria, a teoria dos acertos, sustenta que existe apenas um alvo na célula, mas um certo número de acertos no alvo é necessário para produzir o efeito desejado (BOYD, 1988).

Além do “ombro”, é usual observar uma cauda no final da curva; a cauda normalmente aparece depois da inativação de pelo menos 99% dos microrganismos viáveis iniciais. A causa do aparecimento da cauda ainda não tem uma conclusão final. Muitas hipóteses são levantadas, como indução experimental, agrupamento de

microrganismos ou subpopulação resistente, mas nenhuma das hipóteses conseguiu alguma evidência conclusiva (HIJNEN, 2006).

Ao se considerar a cinética de desinfecção com radiação ultravioleta, entretanto, observa-se que a intensidade de radiação não é constante, pois ocorre absorção ao atravessar a lâmina líquida. Para considerar esse efeito, a Lei de Chick passa a ser expressa como (CHERNICARO *et al*, 2001):

$$N = N_0 \exp\left\{-kt \frac{I_0}{\alpha L}\left[1-\exp(-\alpha L)\right]\right\} \qquad (3)$$

onde:

I_0 = intensidade de radiação ultravioleta na superfície

α = coeficiente de extinção

L = espessura da lâmina líquida ou trajetória percorrida pela radiação ultravioleta

3.1.2 Controle por agentes químicos

Os agentes químicos são usados para controlar o crescimento microbiano em tecidos vivos e objetos inanimados. Porém, poucos deles obtêm a esterilidade; a maioria deles só reduz as populações microbianas em níveis seguros ou removem as formas vegetativas dos patógenos (TORTORA *et al.*, 2005).

Os principais agentes químicos são os compostos à base de halogênios, como cloro e bromo, ozônio, álcoois, como etanol e propanol, compostos quartenários de amônio, aldeídos, como o formaldeído e glutaraldeído e metais pesados e seus

compostos (TORTORA *et al.*, 2005). Eles estão divididos em dois grupos: agentes tóxicos oxidantes e não oxidantes.

Os agentes tóxicos oxidantes compreendem o ozônio e os compostos liberadores de cloro, como o hipoclorito.

O ozônio reage combinando-se com as proteínas e inativando as enzimas redutoras essenciais à respiração celular. Bactérias examinadas depois da ozonização parecem ter sido rompidas, com perda do citoplasma, essencial para a vida celular. Os compostos liberadores de cloro ionizam-se na água formando o ácido hipocloroso (HOCl), que é um agente oxidante que difunde-se com facilidade através das paredes celulares dos microorganismos e reage com as proteínas celulares do citoplasma, formando ligações estáveis nitrogênio-cloro. O cloro age então de modo a oxidar coenzimas que atuam na etapa intermediária de produção de trifosfato de adenosina, essencial à respiração celular (BUCHARD, 1979).

Os agentes tóxicos não oxidantes inibem os microorganismos de diferentes formas. Alguns alteram a permeabilidade das paredes celulares, como os agentes à base de metais pesados, que atravessam a parede celular e penetram no citoplasma bacteriano, destruindo os grupos protéicos essenciais à vida; os compostos quartenários de amônio são adsorvidos pela membrana celular, reduzindo sua permeabilidade, dissolvendo-a; os compostos organossulfurosos, como os feitos de isotiazolinona, inibem as reações de substrato enzimático metabólico, reagindo competitivamente com uma enzima, impedindo a reação enzimática normal que sustenta a vida microbiana (BUCHARD, 1979).

Os principais agentes de controle microbiano em torres de resfriamento são biocidas como o 5-cloro-2-metil-4-isotiazolinona (BATISTA, 2001) composto não oxidante, o

hipoclorito de sódio (SORACCO *et al*, 1983) e o 1-bromo-3-cloro-5,5-dimetildantoína (FLIERMANS & HARVEY, 1984), que são compostos oxidantes.

O hipoclorito de sódio, ao se dissolver na água, forma ácido hipocloroso e hidróxido de sódio. Quando utilizado, tem a tendência de aumentar o pH da água, devido à reação:

$$NaOCl + H_2O \Leftrightarrow HOCl + NaOH$$

A polaridade do ácido hipocloroso faz com que ele seja o mais utilizado entre os agentes oxidantes, devido à grande facilidade em penetrar na membrana celular e inativar as enzimas (DANTAS, 1988).

Os biocidas não oxidantes da família das tiazolinas, como o 5-cloro-2metil-4-isotiazolinona se comportam primeiramente como um bacteriostático, ou seja, inibem a proliferação das bactérias; posteriormente, eles agem como um biocida, pois as células morrem depois de poucas horas de contato com o biocida.

A seleção do biocida mais apropriado deve levar em conta alguns fatores, como o custo operacional nas concentrações efetivas de uso, conhecimento das características tóxicas, ausência de inflamabilidade e caráter explosivo, a fim de propiciar um manuseio seguro, não ser volátil, possuir um largo espectro de ação, sendo entretanto inócuo ao homem e outros animais e possuir um alto grau de degradabilidade, para evitar problemas com efluentes (DANTAS, 1988).

3.1.3 Controle por agentes físicos

Para selecionar o método de controle microbiano mais apropriado por agentes físicos, deve-se considerar outros fatores além dos microrganismos, a saber: se o

material pode ser deformado pelo calor, se ele pode reagir de forma negativa com algum componente químico, etc. Deve-se considerar também os fatores econômicos e ocupacionais, pois estes fatores também são de extrema importância no processo de seleção do método de controle microbiano.

Desta forma, o controle microbiológico por agentes físicos (como o uso de radiação ultravioleta), torna-se uma alternativa viável aos agentes químicos degradadores do meio ambiente, uma vez que os microrganismos são suscetíveis a mudanças no seu meio físico, onde mudanças radicais de condições físicas resultam em sua inibição ou destruição (PELCZAR & REID, 1965). A maior vantagem em se usar a radiação ultravioleta para água de resfriamento ao invés de biocidas é justamente porque não é necessária a adição de repetidas doses de produtos químicos. Além disso, a radiação ultravioleta não produz compostos residuais tóxicos, como os compostos orgânicos halogenados produzidos por cloretos e brometos podem produzir se utilizados em excesso (GILPIN *et al*, 1985).

Não obstante, existem outros agentes físicos capazes de realizar o controle microbiológico, como o calor, a filtração, baixas temperaturas, alta pressão e pressão osmótica (TORTORA *et al.*, 2005), entretanto não foram observadas referências sobre seu uso em águas de resfriamento.

3.1.3.1 Considerações sobre o emprego de radiação

A radiação é definida como a emissão e propagação de energia através do espaço ou através de um meio material. Ela pode ter vários efeitos sobre as células, dependendo de seu comprimento de onda, intensidade e duração. Existem dois tipos de radiação esterilizantes: ionizante e não ionizante (PELCZAR & REID, 1965).

3.1.3.1.1 Radiação ionizante

A radiação ionizante compreende os raios alfa, beta, gama, raios x, raios catódicos e prótons e nêutrons de alta energia. Ela possui um comprimento de onda menor de 1nm. Devido a seu baixo comprimento de onda, é capaz de transportar muito mais energia.

Quando um átomo absorve a radiação ionizante, ele emite elétrons de alta energia e dessa forma ioniza a molécula. O elétron liberado é absorvido por outro átomo, criando uma cadeia de ionização na substância irradiada.

O principal efeito da radiação ionizante é a ionização da água, que forma radicais hidroxila altamente reativos que reagem com os componentes orgânicos celulares, especialmente o DNA. Normalmente, a radiação ionizante é utilizada para esterilizar equipamentos plásticos de laboratório, equipamentos médicos e produtos farmacêuticos, por ser um método de esterilização de baixa temperatura, que preserva a integridade dos materiais esterilizados (TORTORA *et al.*, 2005).

3.1.3.1.2 Radiação não ionizante

A radiação não ionizante possui um comprimento de onda acima de 1 nm. O tipo mais relevante desta radiação é a radiação ultravioleta.

A luz ultravioleta consiste na luz com comprimentos de onda compreendidos entre 40 e 390 nm, sendo a região de 220 a 300 nm a de maior interesse de estudo, a chamada região abiótica. O espectro da radiação ultravioleta foi subdividido em três bandas de comprimento de ondas, chamadas de UV-A (400 a 320 nm), UV-B (320 a

290 nm) e UV-C (290 a 100 nm) (FRIEDBERG *et al*, 1995). A máxima efetividade antibacteriana é observada em 265 nm, onde o comprimento de onda é absorvido pelo DNA celular, com um declínio acentuado a partir de 290 a 300 nm e perda progressiva de efetividade depois da faixa da luz visível (DAVIS *et al.*, 1968).

As aplicações mais importantes de radiação ultravioleta são a destruição de microrganismos transportados pelo ar, inativação de microrganismos presentes em superfícies ou suspensos em líquidos e proteção e desinfecção de produtos de composição instável que não podem ser tratados pelos métodos convencionais de esterilização.

Em vez de ionizar uma molécula, a luz ultravioleta excita os elétrons, resultando em uma molécula que reage diferentemente das moléculas não irradiadas.

A luz ultravioleta é absorvida por muitos compostos intracelulares, mas o DNA é quem sofre maior avaria. As bactérias são particularmente vulneráveis aos danos da radiação ultravioleta devido ao seu tamanho e estrutura unicelular (QIU *et al*, 2004).

Estudos datados de 1968 mostraram os efeitos da radiação ultravioleta nos ácidos nucléicos (SHECHMEISTER, 1991). Dos componentes do DNA, os açúcares fosfatados não absorvem a radiação ultravioleta acima de 220 nm. Como as pirimidinas são mais sensíveis à radiação do que as bases de purina, os efeitos mutagênicos e letais da radiação em sistemas biológicos são atribuídos a transformações fotoquímicas das bases de pirimidina (SHECHMEISTER, 1991).

A desinfecção por radiação ultravioleta é dada pela fotólise do DNA bacteriano; o DNA é um polímero de ácido nucléico constituído por uma seqüência de quatro

bases nitrogenadas: adenina, citosina, timina e guanina, que constituem o código genético e cujas estruturas químicas são mostradas na Figura 1.

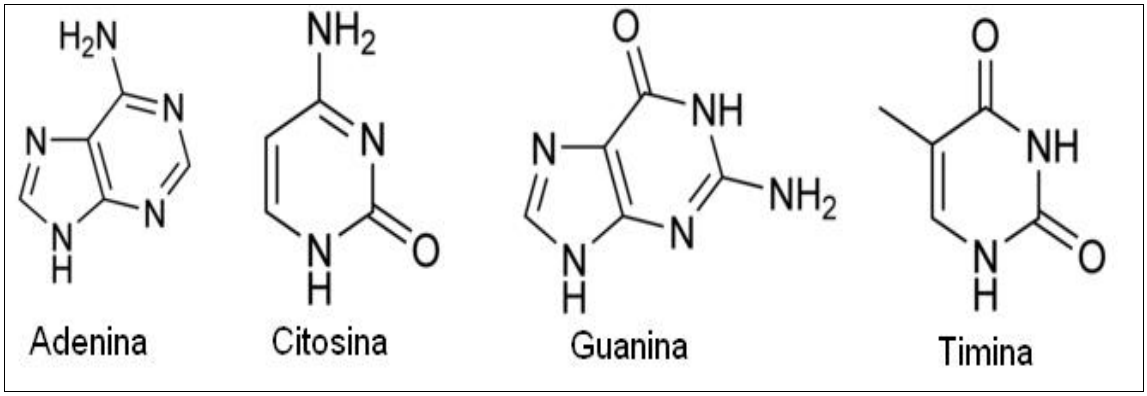

Figura 1 – Estruturas químicas das bases nitrogenadas do DNA.

As bases nitrogenadas do DNA se emparelham adenina com timina e citosina com guanina, ligadas por pontes de hidrogênio. Estas ligações são as responsáveis pela forma de dupla hélice das fitas do DNA, mostrada na Figura 2 (GONÇALVES *et al,* 2003).

Quando os raios ultravioletas atingem o DNA, eles podem levar à formação de dímeros de pirimidina. Um dímero consiste em duas pirimidinas adjacentes (duas timinas, duas citosinas ou uma timina e uma citosina) unidas pela fita de DNA. A formação de um dímero impede que as bases afetadas façam pares com as bases na cadeia complementar do DNA, impedindo a replicação e a transcrição (BLACK, 2002, MADIGAN *et al.*, 2000).

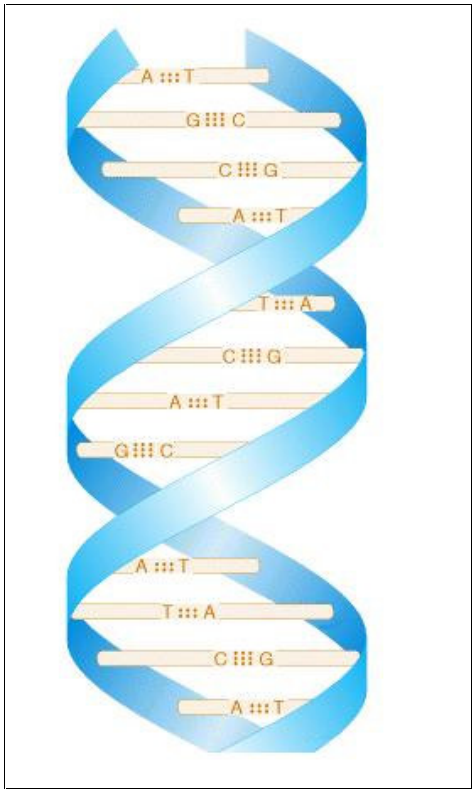

Figura 2 - Dupla hélice do DNA (Fonte: http://www.biomol.org/historia/propduplahelice.shtml)

Desta forma, a irradiação de células com luz ultravioleta (220 a 320 nm) resulta na formação de dímeros de ciclobutil pirimidinas (CPD) no DNA, levando a mudanças mutagênicas ou morte celular (KNUDSON, 1985; RANADE *et al*, 1974).

Além dos dímeros de ciclobutil pirimidinas, existem também os 6-4 fotoprodutos (que são pirimidinas aduzidas) e seus isômeros (Figura 3).

Depois da irradiação ultravioleta os CPDs são os mais abundantes e provavelmente os responsáveis por causar as lesões mais tóxicas às células; entretanto, os fotoprodutos 6-4 possuem maior efeito mutagênico e são mais potencialmente letais (SINHA & HÄDER, 2002), pois bloqueiam a replicação e transcrição do DNA (QIU et al, 2004).

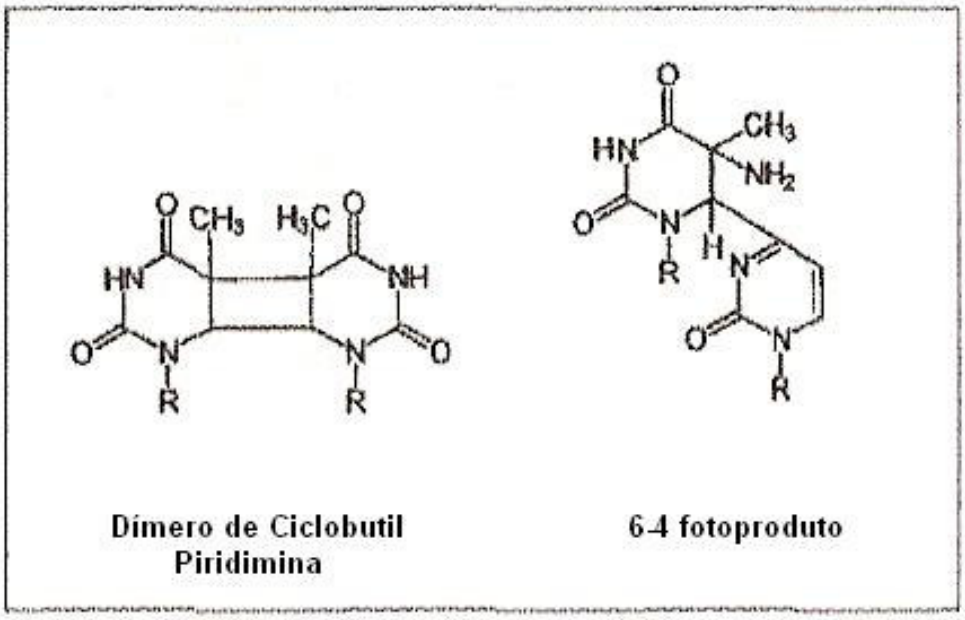

Figura 3 – Lesões de indução ultravioleta (YASUI & McCREADY, 1988).

Teoricamente, os dímeros de pirimidina podem existir em doze formas isoméricas. Entretanto, somente quatro delas, com a configuração *cis-syn*, *cis-anti*, *trans-syn* e *trans-anti* ocorrem de fato. Os dímeros de pirimidina existem predominantemente na forma *cis-syn*, não obstante, os dímeros *trans-syn* são gerados principalmente no DNA denaturado (FRIEDBERG *et al*, 1995) (Figura 4).

Os danos na estrutura do DNA causados pela radiação ultravioleta são determinados por sua flexibilidade. A natureza das bases é a regra mais importante na distribuição dos produtos, uma vez que os dímeros dependem das bases de pirimidina envolvidas (SINHA & HÄDER, 2002).

Nem todos os dímeros formados durante a irradiação são letais, pois eles podem ser removidos por dois mecanismos presentes em muitos tipos de células, a fotorreativação e a reativação no escuro (Figura 5).

A recuperação pós irradiação será tanto menor quanto maior for a dose de radiação recebida. Em doses elevadas, a quantidade de dímeros é maior que a capacidade de recuperação do microrganismo, não havendo tempo para reverter todas as alterações antes que inicie a duplicação da célula (CHERNICHARO, 2001).

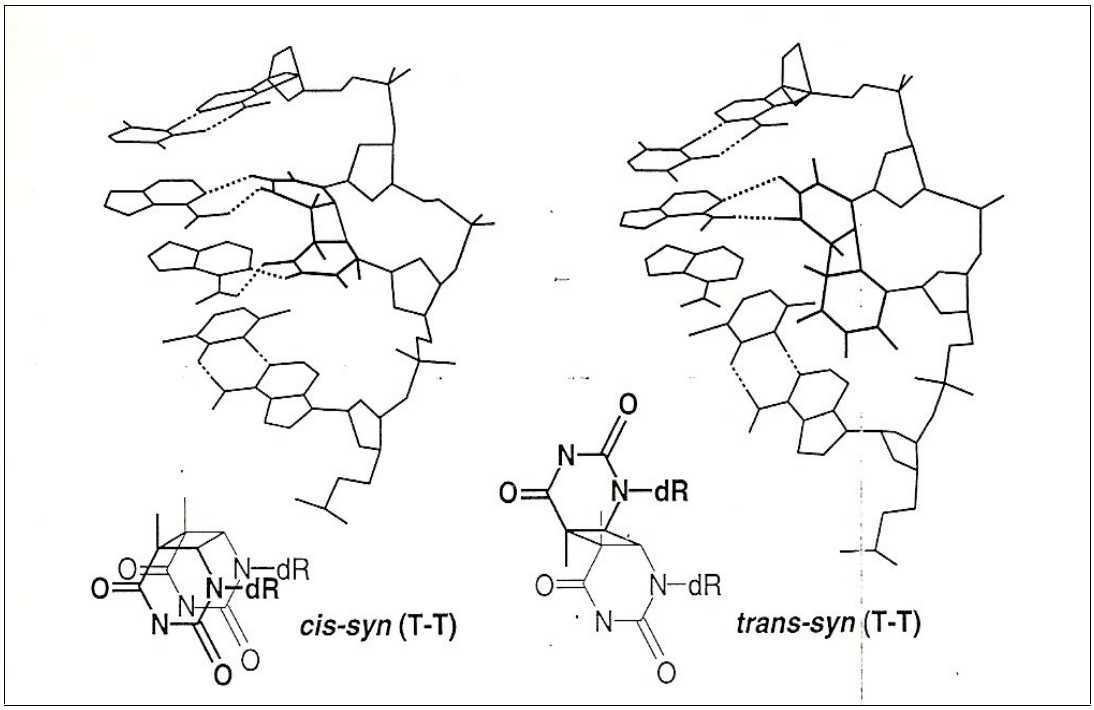

Figura 4 – Estrutura dos dímeros de ciclobutil pirimidina *cis-syn* e *trans-syn* (FRIEDBERG *et al*, 1995).

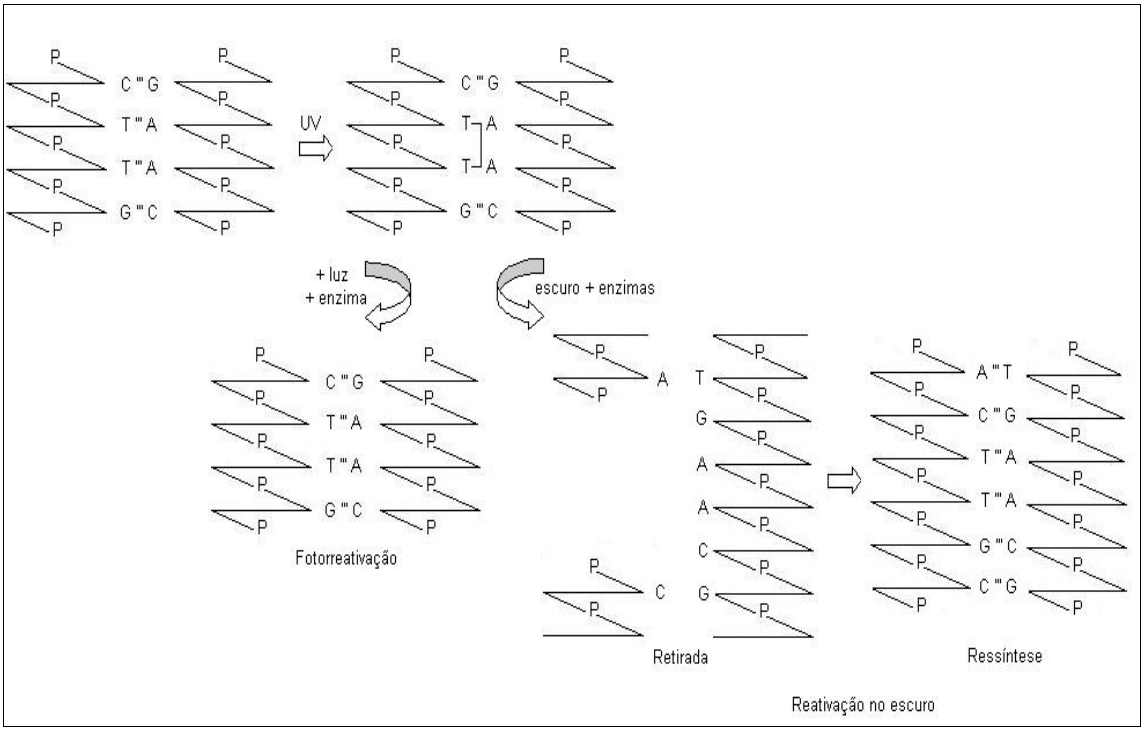

Figura 5 – Remoção dos dímeros de pirimidina por fotorreativação e reativação no escuro (DAVIS *et al*, 1968).

O mecanismo da fotorreativação deve-se a uma enzima que se combina especificamente com os dímeros de pirimidina, mas que permanece inativa no escuro; quando a célula é irradiada com luz ultravioleta, a enzima parte o dímero, restaurando os resíduos originais de pirimidina e liberando a enzima novamente.

A conseqüência da fotorreativação é o aumento da fração viável de bactérias tratadas com luz ultravioleta, como se a dose efetiva de ultravioleta houvesse reduzido. Após a máxima fotorreativação, entretanto, outros danos letais às células ainda permanecem (DAVIS *et al.*, 1968).

A reativação no escuro é observada se uma suspensão de bactérias irradiadas com ultravioleta for estocada por algumas horas em ambientes frios ou meios

inapropriados, antes de ser deixada para crescer. A fração de células formadoras de colônias aumenta apreciavelmente durante esta pré-incubação.

Diferentemente da dissociação de dímeros de pirimidina catalisada pela enzima fotorreativadora, a reativação no escuro do DNA resulta da retirada dos dímeros por uma enzima hidrolítica, que elimina os nucleotídeos dos segmentos que possuem os dímeros. O segmento demolido é refeito por polimerase, que copia a fita complementar do DNA.

A radiação ultravioleta induz a mutação pontual. Cerca de metade delas são induzidas para reverter em bases análogas e pertencem ao chamado Grupo 1: elas são produzidas principalmente por danos aos pares GC e consistem, então, em transições GC→ AT. A outra metade das mutações são revertidas pelas acridinas e pertencem ao grupo 2, ou seja, consistem em adição ou exclusão de um nucleotídeo (DAVIS *et al.*,1968).

Por não penetrar em vidro, pano, papel ou na maioria dos outros materiais, o uso da luz ultravioleta é limitado.

Os microrganismos resistem mais à luz ultravioleta na água do que no ar seco. A transmissão da luz ultravioleta na água é uma função inversa dos componentes minerais e orgânicos nela contidos. Na prática, a variação do grau de absorção é devida quase que totalmente à concentração de sais dissolvidos na água. Além disso, a intensidade da radiação da lâmpada ultravioleta também dependerá da voltagem primária, temperatura da água e horas de funcionamento da lâmpada (SHECHMEISTER, 1991).

3.2 Lâmpadas ultravioleta

A radiação ultravioleta utilizada para a inativação de microrganismos é obtida usualmente por meio de lâmpadas especiais, chamadas comercialmente de lâmpadas germicidas (DANIEL, 2001).

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.

A grande maioria é composta por lâmpadas de vapor de mercúrio ionizado, de baixa e média pressão e com diversos valores de potência. Estas lâmpadas consistem em um tubo de quartzo preenchido com gás inerte, como o 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 40ºC (DANIEL, 2001).

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 10mW/cm^2 a 1.000mW/cm^2. Já em lâmpadas de alta pressão a intensidade de emissão da radiação ultravioleta está na faixa de 100.000 a 1.000.000 mW/cm^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 27ºC. 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).

3.3 Classificação dos sistemas de resfriamento

Os sistemas de refrigeração podem ser classificados em três categorias, baseado no reaproveitamento da água de circulação: sistema aberto, fechado e semi-aberto; sua utilização em diferentes processos dentro da indústria depende de fatores como temperatura desejada no resfriamento, quantidade de água disponível, custo de aquisição da água e limitação na qualidade do efluente industrial (FOFANO, 2000).

3.3.1 Sistema aberto

Sistema aberto é um sistema de passagem única da água de resfriamento, ou seja, após a água passar dentro dos equipamentos que geram calor, ela não retorna mais, sendo inteiramente rejeitada, conforme mostrado na Figura 6.

Refinarias, indústrias químicas, usinas termoelétricas, quando localizadas no litoral, muitas vezes utilizam água do mar como meio de resfriamento (FOFANO, 2000).

Este tipo de sistema sofre atualmente várias restrições ambientais, devido aos grandes volumes de água aquecida, provocando problemas de poluição térmica e de

consumo de água. Adicionalmente, o sistema aberto não deve ser instalado em locais onde o suprimento de água seja incerto (ELKIND, 1998).

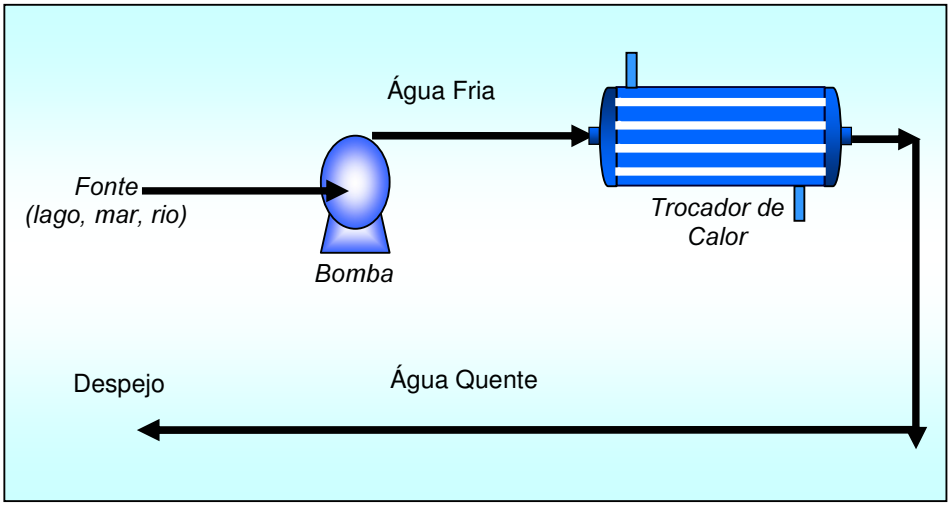

Figura 6 – Esquema de sistema aberto de refrigeração (FOFANO, 2000).

3.3.2 Sistema fechado

Os sistemas fechados são sistemas não evaporativos empregados quando se deseja acentuada diminuição da temperatura da água. Nestes sistemas, a água que circula é resfriada em um trocador de calor com outro fluido, que não entra em contato com ela, conforme Figura 7.

A principal vantagem de empregar um sistema fechado de refrigeração é a economia no consumo de água, que se torna quase nulo, pois, uma vez que não há evaporação, as perdas no processo se resumem a vazamentos em válvulas e conexões. Além disso, como não existe contato da água com o ar, não há contaminação microbiológica, exceto se a água de alimentação estiver contaminada (DANTAS, 1988).

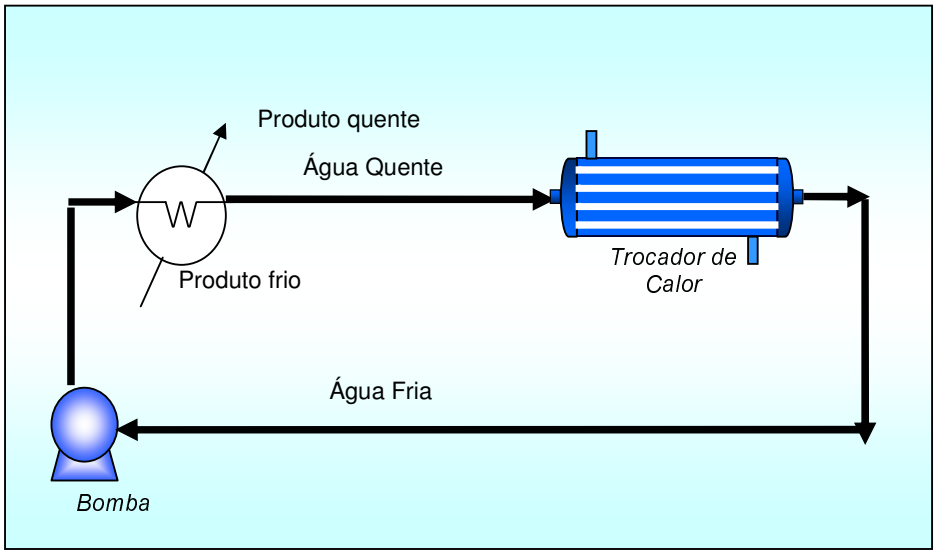

Figura 7 - Esquema de sistema fechado (FOFANO, 2000).

Os sistemas fechados de resfriamento são normalmente utilizados para pequenas capacidades, como resfriamento de mancais de bomba, camisas de cilindros de compressores, turbinas a gás e sistemas de ar condicionado (FOFANO, 2000).

3.3.3 Sistema semi-aberto

É empregado quando se necessita de grandes vazões de água, porém há pouca disponibilidade da mesma. Em sistemas semi-abertos, todo o calor absorvido pela água é dissipado como calor latente e sensível, nas torres de resfriamento.

Nestes sistemas uma parte da água é evaporada e outra pequena parte é arrastada pelo vapor ou fluxo de ar. Para compensar a perda de água, há uma contínua reposição da água de alimentação, conforme mostra a Figura 8.

Uma vez que o objeto de estudo da dissertação engloba um sistema semi-aberto com torre de resfriamento, este item será detalhado no que se segue.

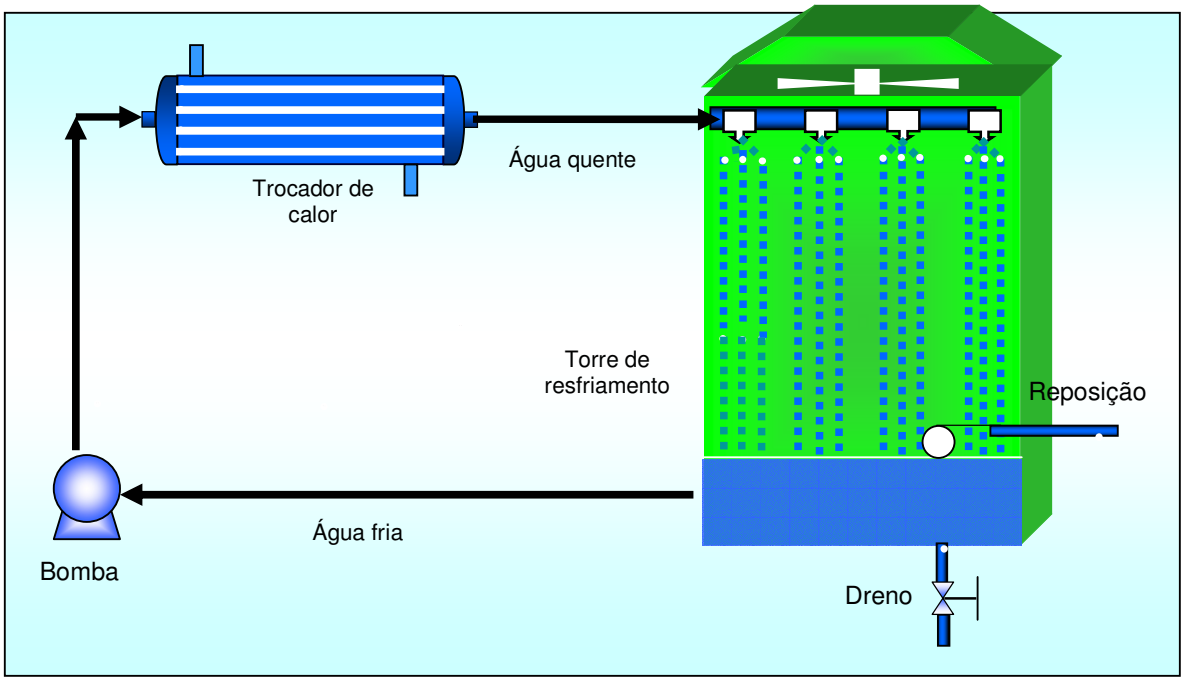

Figura 8 - Esquema de sistema semi-aberto

3.4 Torres de resfriamento

Torres de resfriamento são equipamentos que resfriam a água através de troca de calor com correntes de ar, utilizando processos de convecção naturais ou induzidos. (FOFANO, 2000). Suas principais vantagens com são a segurança no fornecimento de água fria, reposição de água controlada em cada ciclo, apenas para substituir a que se perde por evaporação, por respingo, drenos ou vazamentos e possibilidade de emprego econômico e eficaz de tratamento para a água (ELKIND, 1998).

3.4.1 Torres de resfriamento de ventilação natural

É também conhecida como torre de resfriamento atmosférica, pois o movimento do ar através da mesma é função única das condições atmosféricas (ELKIND, 1998). Neste tipo de torre de resfriamento, o ar passa horizontalmente pela torre enquanto a água cai verticalmente, conforme ilustrado na Figura 9. Sua performance é função do teor de umidade do ar e da presença de ventos, sendo por isto colocada em locais previamente escolhidos (DANTAS, 1988).

A torre de resfriamento atmosférica é composta por uma canalização com bicos pulverizadores e venezianas em toda sua lateral, cuja função é orientar e auxiliar a passagem de ar e reduzir a perda de água por respingo (FOFANO, 2000).

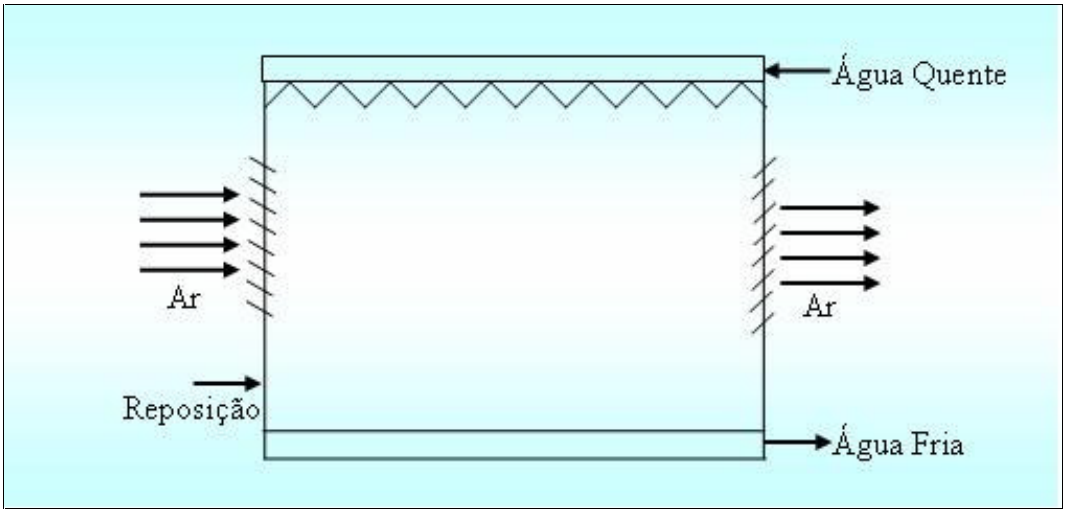

Figura 9 - Torre de resfriamento de ventilação natural (FOFANO, 2000).

3.4.2 Torres de resfriamento de tiragem natural

É um tipo de torre construída com uma chaminé ao topo da zona de enchimento, de modo a proporcionar a tiragem. O ar quente tende a subir, criando uma zona de baixa pressão na parte inferior da torre, que induz a entrada de uma massa de ar frio, conforme a Figura 10 (FOFANO, 2000).

Estas torres têm baixo custo de operação, por não possuírem partes mecânicas e ótima performance. Entretanto, ela possui um alto custo capital inicial devida à sua estrutura ser de concreto com elevada altura, sendo utilizadas em grandes usinas termoelétricas (DANTAS, 1988).

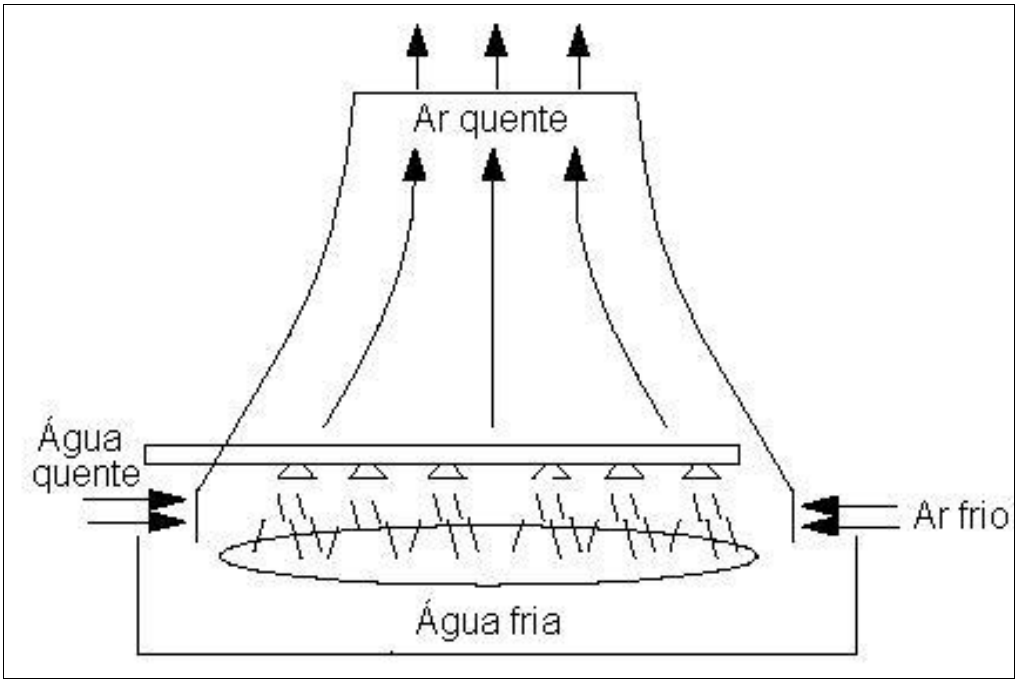

Figura 10 - Torre de resfriamento de tiragem natural (ELKIND, 1998)

3.4.3 Torres de resfriamento de tiragem mecânica

Neste tipo de torre, o fluxo de ar é aumentado por meio da ação de ventiladores, possibilitando absoluto controle de seu suprimento (ELKIND, 1998). As principais vantagens destas torres em relação aos outros modelos são seu tamanho compacto, ocupando espaços menores do que os outros modelos, não necessitando de áreas ventiladas e apresentando alta capacidade de refrigeração da água. As desvantagens são o custo operacional elevado comparado com os tipos anteriores, alem de vibrações e ruídos provocados pelos ventiladores (DANTAS, 1988).

Dependendo do local de instalação dos ventiladores, pode-se ter torre de tiragem mecânica forçada e torre de tiragem mecânica induzida (ELKIND, 1998).

Na torre de tiragem mecânica forçada os ventiladores são instalados na parte inferior da torre, impulsionando o ar para dentro da mesma (Figura 11).

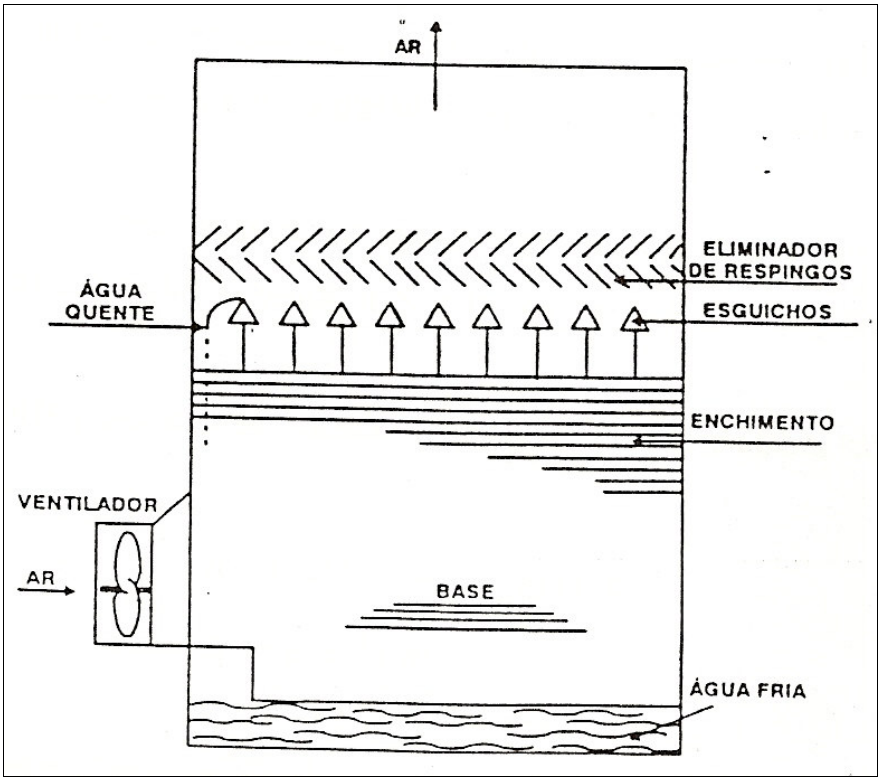

Figura 11 - Torre de resfriamento de tiragem mecânica forçada esquema de montagem (ELKIND, 1998)

As vantagens do uso deste tipo de torre são a maior proteção dos equipamentos mecânicos que estão situados na corrente de ar seco, diminuindo problemas de corrosão e menor vibração da estrutura por estar o ventilador situado próximo à base da torre. As desvantagens são que ela está mais sujeita ao problema de recirculação do ar saturado devido zona de baixa pressão na entrada do ar e dimensão máxima dos ventiladores de 4 metros (ELKIND, 1998).

Na torre de tiragem mecânica induzida, o ventilador é instalado na saída do ar, usualmente na parte superior da estrutura (Figura 12). A vantagem do uso deste modelo é a instalação de grandes ventiladores trabalhando a baixas velocidades, diminuindo vibrações e ruídos; a desvantagem é que partes mecânicas do sistema

de exaustão são colocadas na corrente de ar úmido, possibilitando maiores problemas de corrosão (DANTAS, 1988).

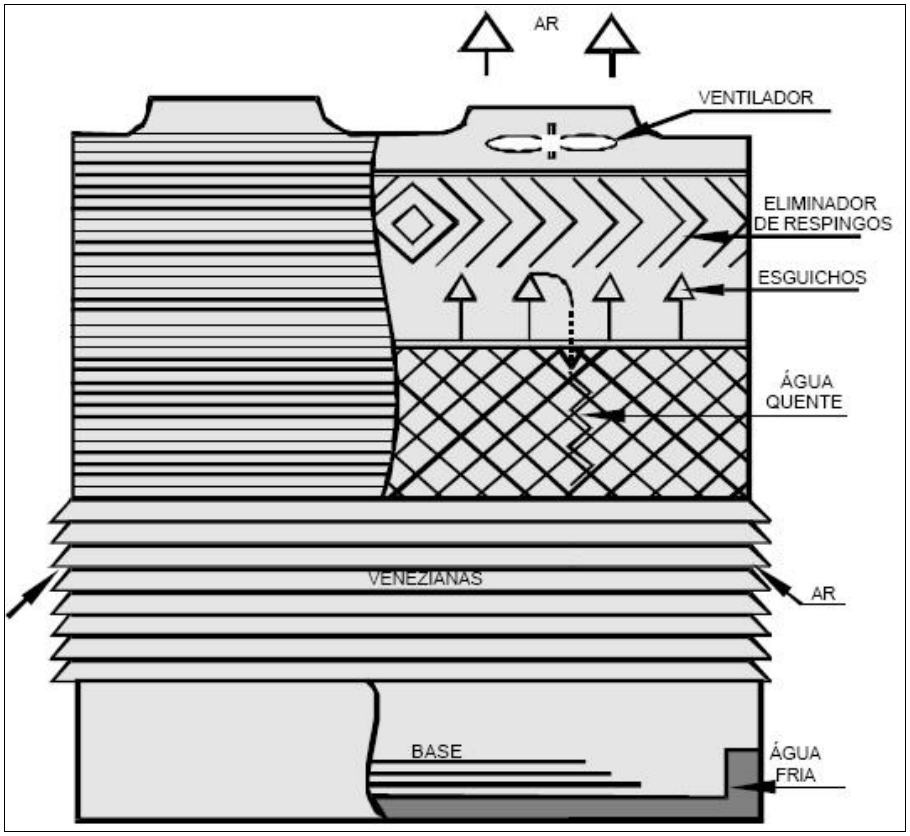

Figura 12 – Torres de Resfriamento de tiragem mecânica induzida (ELKIND, 1998)

3.5 Formas de controle de microrganismos em torres de resfriamento

Os microrganismos são encontrados em toda a natureza, distribuindo-se pelo ar, água e solo e desempenhando papéis vitais para o equilíbrio do ecossistema.

Entretanto, esses microrganismos afetam os sistemas de água de resfriamento, causando uma série de problemas, como corrosão, mau cheiro, deposição de lama nas torres de resfriamento, podendo afetar trocadores de calor e prejudicar a troca térmica, reduzindo a vida útil dos equipamentos.

Os principais microrganismos presentes em sistemas de resfriamento são as bactérias, seguidas das algas e, em menor quantidade, dos fungos. Eles penetram em um sistema de refrigeração por duas fontes; podem estar na própria água de reposição ou no ar que passa através da torre de resfriamento (BUCHARD, 1979).

O crescimento de microrganismos nas águas de resfriamento deve ser controlado a fim de evitar o aparecimento de bactérias sésseis, formadoras de limo. Este limo ocasiona os problemas mais graves encontrados nestes sistemas, como a formação de pilhas de aeração diferencial nos metais utilizados; aglutinação de sólidos em suspensão na água, formando cascas que são capazes de bloquear trocadores de calor e outros equipamentos dos sistemas; crescimento de microrganismos causadores de processos corrosivos nos metais utilizados nos diferentes sistemas; crescimento de algas nas torres de resfriamento, capazes de interferir na eficiência do seu funcionamento, entre outros (DANTAS, 1988).

3.5.1 Algas

Algas são seres vivos fotossintéticos, unicelulares ou pluricelulares, geralmente aquáticos ou crescendo em locais úmidos. Tal como outros microrganismos,são introduzidos em águas dos sistemas junto à poeira trazida pelos ventos.

Elas podem se reproduzir sexual ou assexualmente. Em determinados processos assexuais a reprodução se dá através da divisão celular ou fragmentação vegetativa, onde o novo indivíduo é originário de um fragmento de célula desintegrada. Já na produção de esporos monocelulares, a nova célula é dotada de flagelos móveis, no caso de algas aquáticas, e imóveis quando se trata das terrestres.

O processo de reprodução sexual ocorre pela união de células sexuais, os gametas (DANTAS, 1988).

Existem três requisitos básicos para o crescimento de algas: ar, água e luz solar. A eliminação de qualquer um destes fatores inibirá o crescimento. As plataformas e as laterais de uma torre de resfriamento fornecem os três requisitos, representando um excelente ambiente para o crescimento de algas (BUCHARD, 1979).

A temperatura e o pH são considerações importantes para os sistemas básicos de água de resfriamento; desta forma, ambos são freqüentemente responsáveis pelo desenvolvimento de algas.

Os principais problemas ocasionados pelo crescimento de algas são a deposição nas bacias de distribuição de água, bloqueando os tubos que dão sua passagem ao enchimento interno, formação de cortinas de algas filamentosas sobre as venezianas laterais da torre de resfriamento, restringindo o fluxo de ar para o seu interior, a deposição nos enchimentos, com o impedimento da subdivisão sucessiva de gotículas de água e bloqueio total dos enchimentos, devido à aglutinação das algas capsuladas e da poeira ambiental; a conseqüência destes problemas será o menor contato entre as gotículas e o ar, refletindo sobre o calor latente e o sensível desprendido, que resultará em menor refrigeração da água.

As algas mais encontradas em sistemas de refrigeração são as cianofíceas, as clorofíceas e as diatomáceas (DANTAS, 1988).

3.5.2 Fungos

Fungos são talófitos sem clorofila, que se reproduzem por esporos. Eles vivem na água, nos solos e nos substratos sólidos, tais como madeira, couro, plástico, etc.

Eles são imóveis, porém seus esporos são levados com o vento a locais distantes, contaminando muitos sistemas utilizando torres de resfriamento.

Os fungos normalmente presentes em sistemas de torres são das seguintes classes: Ascomicetos e basidiomicetos (DANTAS, 1988).

Assim como para as algas, o pH e a temperatura são fatores de extrema importância para o crescimento dos fungos (BUCHARD, 1979).

Os principais problemas relacionados ao desenvolvimento de fungos nos sistemas de resfriamento são o ataque da madeira da torre de resfriamento, que acaba por abalar a estrutura das torres constituídas desse material e a formação de lodo, que pode ocasionar o bloqueio de trocadores de calor e demais equipamentos do circuito de refrigeração (DANTAS, 1988).

3.5.3 Bactérias

As bactérias são organismos microscópicos, procariotas, que não possuem membrana celular. Elas se reproduzem por divisão binária, elaboram seus alimentos por sínteses químicas e, em alguns casos, por fotossíntese.

Muitas espécies distintas de bactérias podem aparecer em sistemas de água de resfriamento. Em conseqüência, o controle torna-se extremamente difícil, porque os agentes tóxicos para uma espécie podem fazer pouco efeito em outra (BUCHARD, 1979).

As bactérias em água de resfriamento são classificadas como sésseis e planctônicas. Todas as bactérias sésseis são envolvidas por uma cápsula gelatinosa, basicamente formada por polissacarídeos e glicocálix. Este material por

elas elaborado tem alta adesividade a diferentes substratos, tais como metais, madeira, plástico, concreto e vidro, formando o limo bacteriano. As bactérias sésseis estão sempre fixas, não se movendo na água.

As bactérias planctônicas têm elevada mobilidade e permanecem sempre flutuando nas águas dos sistemas, e por não serem envolvidas por cápsula gelatinosa, não formam limo bacteriano.

As bactérias mais comumente encontradas em sistemas de resfriamento são as sésseis, aeróbicas encapsuladas, como as do gênero *Aerobacter* e *Pseudomonas*, que juntamente com as bactérias aeróbicas esporuladas do gênero *Bacillus* causam severa formação de lodo na água; as bactérias precipitadoras de ferro como as dos gêneros *Crenothrix*, *Leptothrix* e *Gallionella*, que são bactérias que precipitam hidróxido férrico formando depósitos lodosos (BUCHARD, 1979) e em menor quantidade, as *Legionellas*, cuja cepa mais nociva é a *Legionella pneumophila*, que causa a chamada “doença dos Legionários”, uma pneumonia atípica severa que pode ser fatal (GRACE *et al*, 1981).

As *Pseudomonas* obtêm sua energia para crescimento, oxidando compostos orgânicos para dióxido de carbono. Elas se desenvolvem de preferência em águas frias e com valor de pH neutro ou ligeiramente alcalino. As *Aerobacter* são microrganismos não esporulados, bastonete reto, contendo pigmentos laranja ou amarelo.

O limo bacteriano está fortemente associado às *Pseudomonas*, não só porque elas são do tipo encapsuladas, mas também por serem predominantes em águas de refrigeração (DANTAS, 1988).

Uma das maneiras de classificar as bactérias é pelo seu tingimento com corantes, desenvolvido por Gram. As bactérias que retém o corante são gram-positivas, enquanto as que não retém são gram-negativas. Quase todas as bactérias encontradas em água de refrigeração são gram-negativas.

3.5.4 Problemas causados por atividade microbiana

O acúmulo e desenvolvimento contínuo de microrganismos em sistemas de resfriamento causam vários problemas. Bons programas de controle de corrosão e de formação de depósitos estão baseados em um programa de controle microbiano bem sucedido. Colônias de microrganismos também são causa direta de mau cheiro e poluição ambiental (BUCHARD, 1979).

3.5.4.1 Corrosão

Muitos microrganismos encontrados em água de resfriamento utilizam hidrogênio em seus processos metabólicos, o que freqüentemente resulta na despolarização catódica da reação de corrosão. A conseqüente liberação de hidrogênio da superfície metálica fornece os meios necessários à continuação da reação corrosiva O oxigênio liberado pelas algas como parte de seu metabolismo também serve para despolarizar catodicamente a reação de corrosão (BUCHARD, 1979).

Apesar dos efeitos despolarizantes dos microrganismos serem importantes, seu papel principal nos processos corrosivos está relacionado à corrosão sobre depósitos. Uma massa de limo, ou sua combinação com sais inorgânicos, produz uma pilha de aeração diferencial.

As pilhas de aeração diferencial, formadas pela deposição de um biofilme sobre superfícies metálicas, representam mais de 70% dos casos de corrosão existentes em sistemas utilizando água de resfriamento (DANTAS, 1988).

Nesta situação, os microrganismos constituem não só eles mesmos um problema de depósito, como capturam outros materiais que normalmente teriam permanecido na fase aquosa. Desta forma, aumenta a formação de depósitos e, inevitavelmente, mais corrosão acontece (BUCHARD, 1979).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização da pesquisa e verificação dos objetivos propostos no Item 2, foram efetuadas três etapas de experimentos: em campo, laboratorial e com um protótipo;

4.1 Análise de contagem microbiana em torre de resfriamento

O experimento em campo foi realizado para observar o crescimento microbiano em um sistema de torre de resfriamento com controle microbiológico através de radiação ultravioleta. Existe contaminação microbiana em águas de torres de resfriamento devido ao contato da água com o ar dentro da torre; o ar é contaminado por microrganismos e acaba por contaminar a água que está na torre. Existe a possibilidade da água que abastece a torre apresentar alguma contaminação, mas a água de alimentação da torre observada no experimento não apresentava contaminação microbiana.

A sistemática do experimento constitui-se da coleta de água para análise de contagem total de bactérias em água de torre de resfriamento com controle microbiológico com lâmpadas ultravioleta, realizado com laminocultivo Aquacult (Laborclin) e observação do crescimento microbiano obtido no laminocultivo após o período de incubação.

O equipamento de lâmpada ultravioleta, instalado na tubulação de retorno de água da torre de resfriamento, era feito em aço inox, capaz da abrigar uma lâmpada de 1 metro de comprimento e atendia uma vazão de 12 m^3/h (Figura 13).

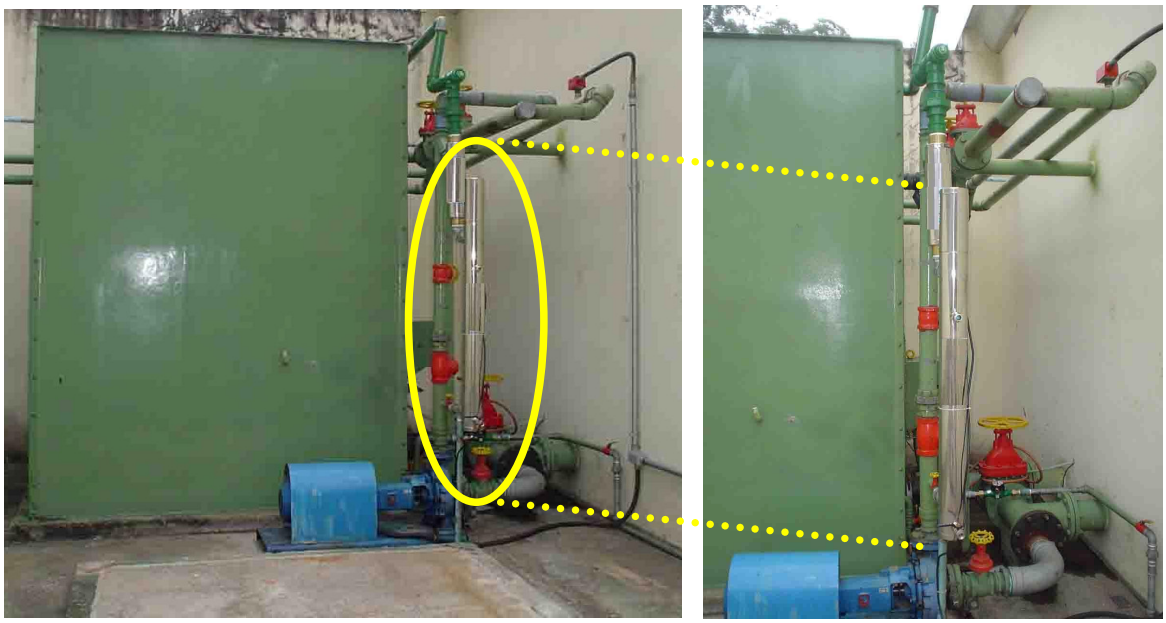

Figura 13 – Instalação do equipamento ultravioleta em uma torre de resfriamento; detalhe: equipamento ultravioleta

O procedimento para a realização dos ensaios está descrito a seguir:

A primeira ação tomada foi abertura do dreno da torre de resfriamento que foi o ponto de coleta da amostra; em seguida foi realizada a retirada do lacre do frasco do laminocultivo no local onde a coleta de água foi realizada, a fim de evitar possíveis contaminações. Em seguida, o frasco foi desrosqueado e posteriormente colocado em contato com a água corrente que saía pelo dreno da torre de resfriamento.

Após o contato do laminocultivo com a água da torre, seguiu-se o fechamento do frasco e seu armazenamento em recipiente de isopor para evitar variações de temperatura durante o transporte. No laboratório, o laminocultivo foi incubado em estufa bacteriológica por 48 horas a 35ºC e, após este período, foi realizada a leitura da concentração de bactérias presentes, por meio de comparação visual com o

gabarito de leitura (Figura 14), cujo resultado tinha a concentração medida em unidades formadoras de colônia por mililitro (UFC/mL).

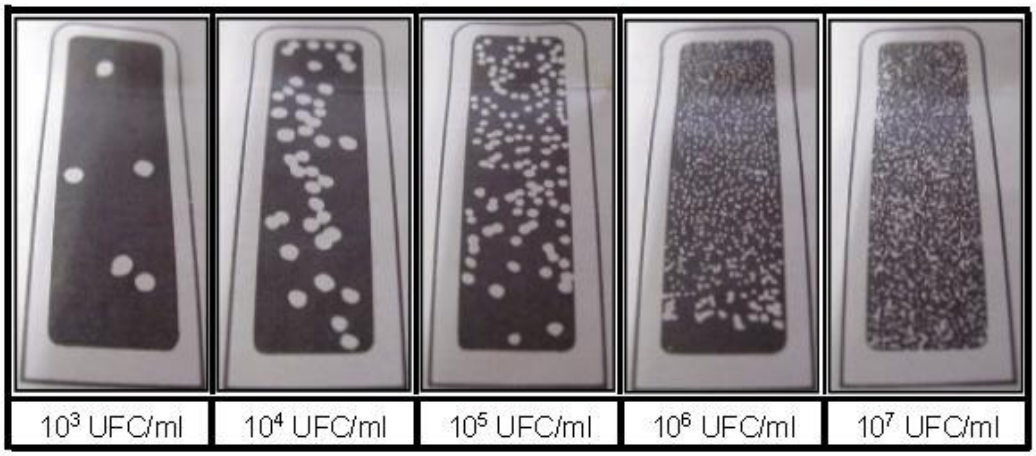

Figura 14 - Gabarito de leitura do laminocultivo (Laborclin)

Este procedimento de análise foi aplicado ao longo de um ano a fim de obter um conjunto de dados experimentais que permitisse o registro de tendência de comportamento da concentração da contaminação microbiana da água do sistema de resfriamento.

4.2 Análise da resistência de bactérias à radiação ultravioleta

Após a realização das análises em campo para verificar a concentração microbiana, foi possível observar que a população das colônias obtidas era homogênea, o que gerou o questionamento sobre o padrão de resistência das colônias à radiação ultravioleta.

Como forma de investigar o fenômeno, iniciou-se o experimento laboratorial acerca da resistência microbiana à radiação ultravioleta. Por que as colônias isoladas eram semelhantes, foram denominadas para estudo “colônias UV”.

Assim, a partir de um dos laminocultivos foi isolada uma colônia em agar nutriente (peptona 5 g/L, extrato de carne 3 g/L e agar 15 g/L). A colônia isolada, denominada UV, foi avaliada comparativamente a uma colônia de bactérias Gram-negativa (*Escherichia coli* ATCC 11229) e a uma colônia de bactérias Gram-positiva (*Staphylococcus aureus* ATCC 6538) com relação à resistência a radiação ultravioleta.

Colônias isoladas de cada uma das linhagens bacterianas sendo avaliadas com relação à resistência a radiação ultravioleta foram cultivadas em caldo nutriente (peptona 5 g/L e extrato de carne 3 g/L) por 24 horas (30 ^{o}C, 150 rpm). Diferentes diluições decimais de cada uma das culturas foi inoculada (100 μL) em agar nutriente e rapidamente submetidas a diferentes tempos de exposição em uma caixa com uma lâmpada ultravioleta (560μW/cm^2). Após a irradiação, as placas foram incubadas no escuro (para evitar a fotorreativação) por 24 a 48 horas, sendo então contadas as colônias sobreviventes. Os gráficos para avaliar a resistência foram construídos plotando-se os dados de fluência de radiação UV (mJ/cm^2) em função do número de células sobreviventes (UFC/mL).

4.3 Análise do padrão de morte bacteriana em protótipo de torre de resfriamento

Como continuidade ao estudo da resistência microbiana à radiação ultravioleta, iniciou-se a execução do experimento piloto com um protótipo de torre de resfriamento para teste em pequena escala, como forma de aprimorar o estudo do comportamento microbiano em torres de resfriamento, porém diferentemente de uma torre de resfriamento, onde a água de alimentação não tem contaminação e é contaminada ao longo do período de trabalho, o protótipo inicialmente possuía uma

água contaminada e esperava-se que esta contaminação diminuísse com o passar do tempo.

As caixas do protótipo que servem de enchimento e bacia da torre são de polietileno e as tubulações de PVC. A bacia abriga um volume de 30 litros de água e a bomba possui uma vazão máxima de 1 m^3/h (Figura 15).

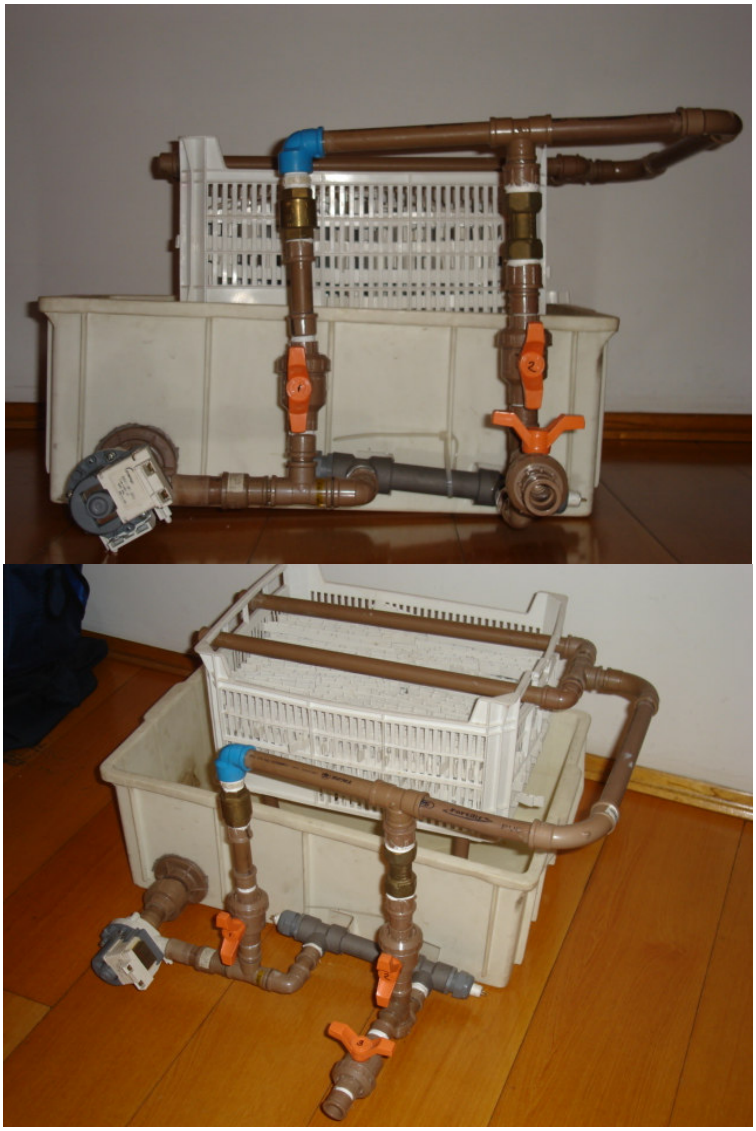

Figura 15 – Protótipo da torre de resfriamento

Foram avaliadas duas vazões diferentes (250 e 500 L/h) passando pela lâmpada ultravioleta, de modo a medir as variações nas curvas de morte em comparação com a quantidade de água exposta à radiação.

O procedimento do experimento é descrito a seguir:

Inicialmente, o protótipo foi esterilizado com aplicação de uma solução de formol e circulação da solução por 30 minutos; em seguida, o mesmo foi lavado e seco para a total retirada da solução desinfetante. Em seguida, a bacia do protótipo foi alimentada com 30 litros de água desmineralizada e 25 mL de uma cultura de 24 horas (30 ^{o}C, 150 rpm) de *E. coli* ATCC 11229 em caldo nutriente. Em seguida foi acionada a bomba d´água por 15 minutos para homogeneização da cultura no sistema do protótipo da torre de resfriamento. Após decorrido esse tempo de homogeneização, foi ligada a lâmpada ultravioleta do sistema e iniciou-se a contagem do tempo de inativação com a retirada de amostras periodicamente. A amostra inicial foi coletada imediatamente antes de ser ligada a lâmpada ultravioleta. As coletas de amostras foram realizadas sempre na bacia do protótipo.

As amostras coletadas foram submetidas a diluições decimais em solução fisiológica (NaCl 0,85%), inoculadas em meio de cultura agar nutriente e incubadas (30 ^{o}C, 24 horas). As colônias foram contadas e estimada a concentração de células sobreviventes (UFC/mL).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Avaliação da contagem microbiana em torre de resfriamento

A contaminação microbiológica em torres de resfriamento é um fator que, se não tratado, pode acarretar diversos problemas no sistema de refrigeração, tais como corrosão, lama e incrustação, causando perda de eficiência nas máquinas devido à baixa troca térmica.

Para manter a população microbiana sob controle nas torres de resfriamento, faz-se necessário o uso de produtos químicos bactericidas ou métodos alternativos, como o emprego de ozônio ou radiação ultravioleta.

A questão central que deu origem a este trabalho foi a observação de que, apesar do controle microbiológico realizado com o emprego de radiação ultravioleta em torres de resfriamento, os valores de concentração microbiana permaneciam constantes ao longo do período estudado, conforme resultados obtidos na realização do supracitado experimento em campo (4.1) e apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Resultados de análises microbiológicas realizadas na torre de resfriamento estudada

Data	Resultado (UFC/mL)
8/1	10^4
7/2	10^4
19/2	10^4
5/3	10^4
17/4	10^4
2/5	10^4
3/6	10^4
1/7	10^4
4/8	10^4
9/9	10^4
8/10	10^4
7/11	10^4
11/12	10^4

Como observado, as concentrações microbianas não se alteraram com o passar do tempo, sem aumento ou diminuição da população.

A partir desta observação, surgiu a indagação: “a população microbiana na torre de resfriamento não decresce devido à constante contaminação do sistema de refrigeração ou porque a população que permanece na água apresenta alguma resistência à radiação ultravioleta?”

Com o objetivo de responder a questão, realizou-se um teste para verificar se as bactérias presentes na bacia da torre de resfriamento estudada apresentavam realmente resistência à radiação ultravioleta. Para efeito comparativo, realizou-se o mesmo teste com dois tipos de bactérias, a bactéria Gram-positiva *Staphylococcus aureus* e a bactéria Gram-negativa *Escherichia coli.*

5.2 Avaliação da resistência de bactérias à radiação ultravioleta

Para a verificação do padrão de resistência dos microrganismos, foram avaliadas a sobrevivência de cada uma das bactérias a diferentes tempos de exposição a radiação ultravioleta em condições padronizadas. Os resultados desses experimentos estão apresentados na Tabela 2 e Figuras 16 a 18.

Tabela 2 – Sobrevivência de linhagens bacterianas à radiação ultravioleta.

Tempo (s)	Fluência (mJ/cm^2)	Viabilidade (UFC/mL)		
		E.coli	*S.aureus*	UV
0	0	3,41E+10	1,13E+10	1,56E+10
1	0,6	4,44E+10	2,24E+10	1,41E+10
5	2,8	4,99E+09	7,40E+09	1,29E+10
10	5,6	3,53E+09	4,34E+09	2,71E+09
15	8,4	3,53E+08	1,25E+09	1,37E+09
20	11,2	4,52E+07	1,05E+07	2,04E+08
30	16,8	1,30E+04	3,00E+04	1,32E+05
60	33,6	1,00E+03	1,43E+03	2,17E+03

O perfil de morte observado para todas as bactérias avaliadas foi semelhante. Ou seja, observa-se inicialmente uma pequena redução na quantidade de células vivas com o tempo de exposição, em seguida a redução da população apresenta um perfil de queda exponencial, representado por uma reta no gráfico monologaritmico. O último ponto de cada uma das curvas de exposição indica ainda a existência de uma cauda na curva de morte, ou seja, depois de algum tempo de exposição a velocidade de morte deve ocorrer a uma taxa menor que aquela esperada caso o padrão de morte prosseguisse exponencialmente.

Um padrão de morte exponencial é esperado para um agente bactericida que atinge seus alvos ao acaso (BOYD, 1988). O ombro que foi observado em todas as curvas de morte apresentadas, também foi observado em alguns trabalhos publicados, sobre a resistência de *Pseudomonas aeruginosa* (GILPIN *et al*, 1985)*, Legionella sp*

(GILPIN *et al*, 1985; KNUDSON, 1985) e *Shewanella sp* (QIU *et al*, 2004). Segundo KRUEGER e colaboradores (1973), um padrão de morte representado por um ombro inicial seguido de uma morte exponencial pode ser explicado considerando-se que para ocorrer a morte, mais que uma unidade do organismo tem que ser afetada pela ação da radiação, ou seja, inativada. Esses autores ainda mencionam que quanto maior for o número de unidades que devem ser inativadas para ocorrer a morte, maior será a extensão do ombro.

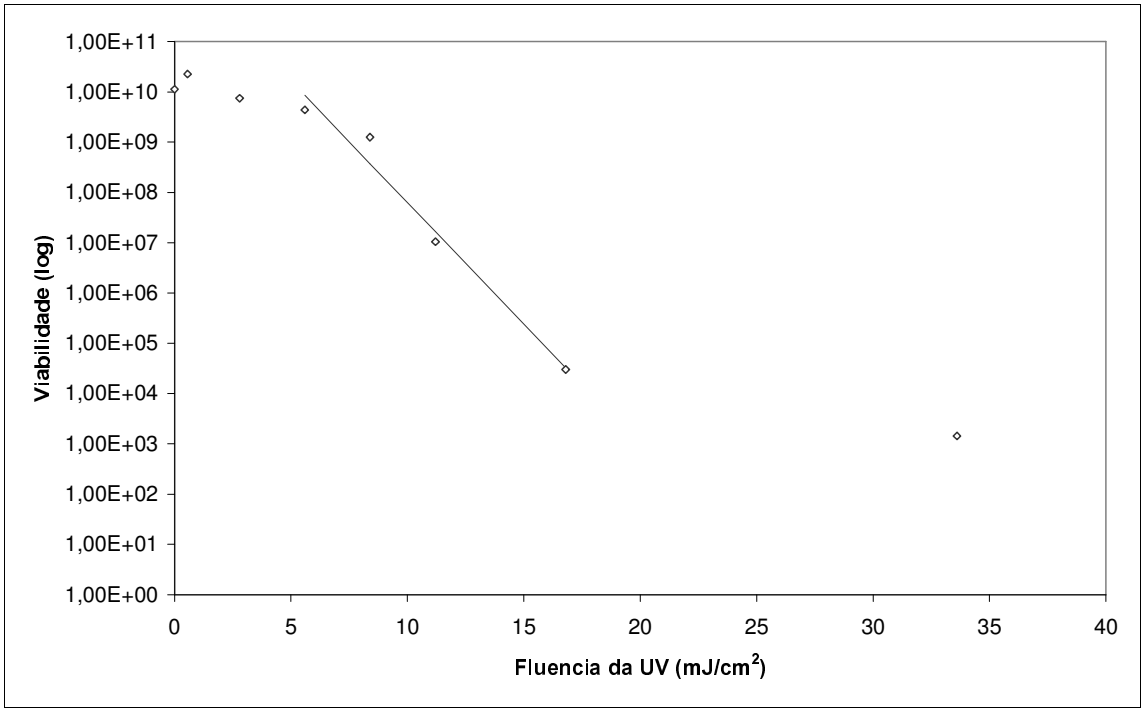

Figura 16 - Curva de morte do *S.aureus* x fluência

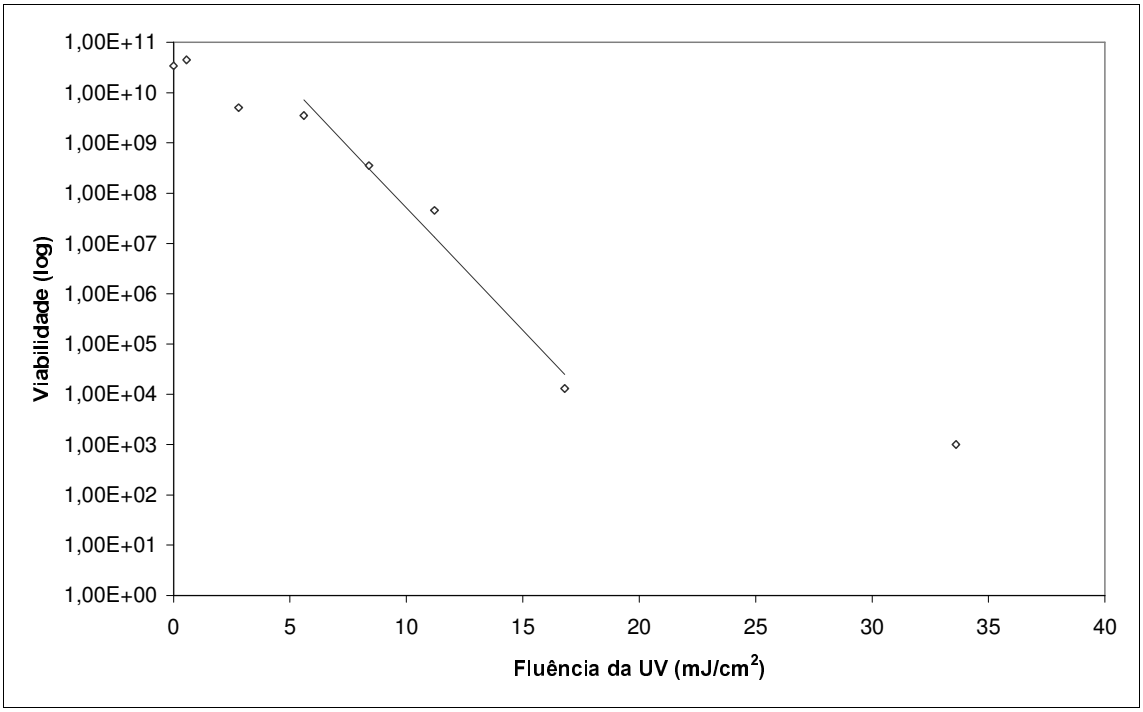

Figura 17 - Curva de morte da *E. coli* x fluência

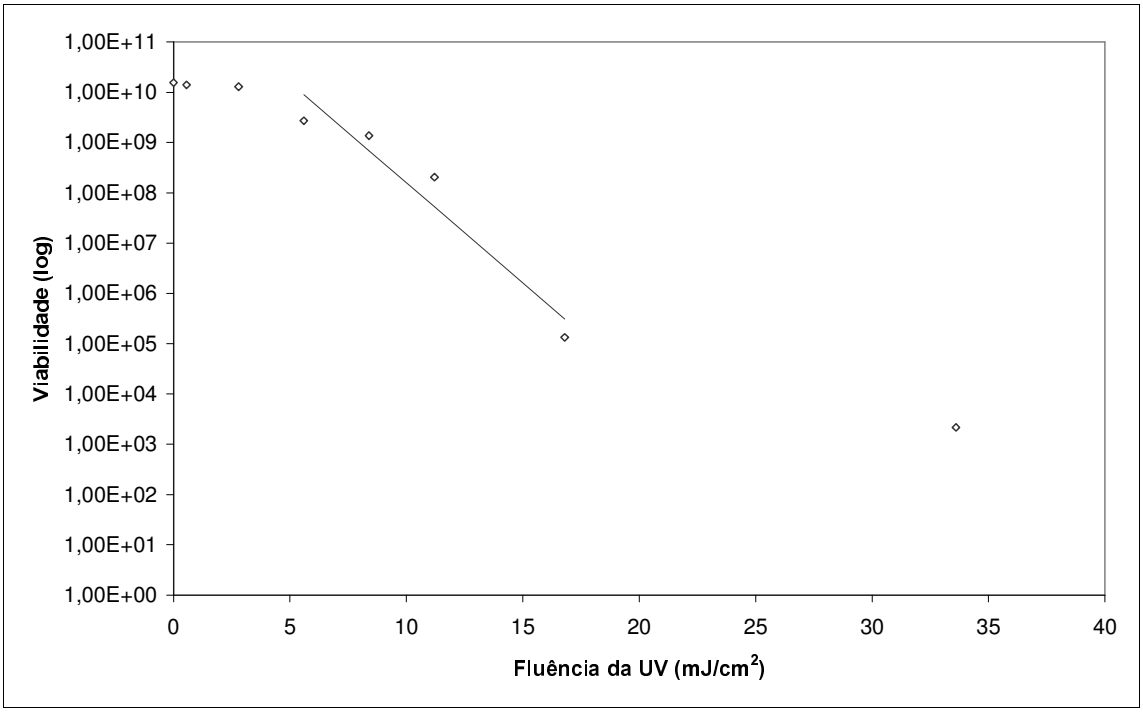

Figura 18 - Curva de morte da colônia UV x fluência

Utilizando os dados obtidos nas curvas de sobrevivências para as diferentes bactérias foi calculado o coeficiente de morte observado. Para tanto, considerou-se a equação 2 e calculou-se o valor de K (coeficiente de morte) obtido para cada uma das bactérias (Tabela 3).

Tabela 3 – Coeficientes de morte observados para cada uma das bactérias.

Bactéria	Coeficiente de Morte (K)[a]
S. aureus ATCC 6738	1,115 ± 0,124
E. coli ATCC 11229	1,123 ± 0,133
UV	0,917 ± 0,181

a. Valores médios e desvios para P=0,05.

Os resultados apresentados na Tabela 3 demonstram que os coeficientes de morte das três bactérias analisadas são estatisticamente iguais (P<0,05). Ou seja, a bactéria isolada da bacia da torre de resfriamento não apresentou maior resistência a radiação ultravioleta do que as bactérias *E. coli* e *S. aureus*, respectivamente, representando uma bactéria Gram-negativa e uma bactéria Gram-positiva.

HIJNEN e colaboradores (2006) revisaram diferentes trabalhos nos quais foram avaliados os coeficientes de morte de diferentes bactérias submetidas a radiação ultravioleta. Os valores de K obtidos para várias bactérias variaram entre 0,059 e 1,341. Dessa forma, os valores obtidos neste trabalho estão compatíveis com outros da literatura e corroboram a afirmação que a bactéria isolada da bacia da torre de resfriamento não apresentou perfil de resistência maior a radiação ultravioleta quando comparada a outras bactérias Gram-negativas ou positivas.

Tem sido relatado que a bactéria Gram-positiva *Deinococcus radiodurans* apresenta maior resistência a radiação ultravioleta (MAKAROVA *et al.*, 2001). Dados de MOSELEY & EVANS (1983) demonstram a necessidade de uma dose de radiação

UV maior que 75 $mJ.cm^{-2}$ para a redução em três unidades logarítmicas em uma cultura de linhagem selvagem dessa espécie. Ou seja, apresentando uma resistência maior que aquela apresentada pela bactéria isolada neste estudo.

5.3 Avaliação do padrão de morte bacteriana em protótipo de torre de resfriamento

Para avaliar o efeito da radiação ultravioleta sobre microrganismos em torres de resfriamento, foi construído um protótipo desse sistema conforme descrito no item Material e Métodos. Deve-se destacar que, ao contrário do que se observa no experimento descrito no item anterior, neste procedimento experimental, os microrganismos estão presentes na bacia da torre de resfriamento e são transportados com uma determinada vazão pela tubulação que contem a lâmpada germicida. Assim, o efeito de morte dos microrganismos é resultado de duas variáveis que agem de maneira antagônica em relação a esse efeito: (i) quanto menor a vazão, mais tempo as células ficam expostas à radiação ultravioleta, podendo ser mortas mais rapidamente e (ii) quanto menor a vazão, mais tempo leva para que toda a água da bacia passe pela lâmpada, demorando um tempo maior para redução da população microbiana presente na bacia.

Dessa forma, a comparação da morte microbiana em função do tempo não pode considerar somente a fluência, ou seja, a energia da radiação ultravioleta aplicada na superfície da lâmpada em função do tempo. Deve-se considerar também o volume de líquido que foi exposto a essa energia que pode causar a morte das células. Assim, definiu-se neste trabalho o termo "*exposição*" como representativo da razão da fluência pela vazão de passagem da água pela tubulação contendo a

lâmpada germicida. Os resultados destes experimentos estão apresentados na Figura 19 e Tabela 4.

Observa-se inicialmente uma queda exponencial na concentração de bactéria vivas presentes em função da exposição. Entretanto, após um determinado tempo de tratamento, a concentração de células vivas se estabiliza.

Observa-se uma taxa de morte exponencial em função da exposição maior para a maior vazão de passagem da água pela tubulação contendo a lâmpada germicida. Esse resultado demonstra que mesmo nessa vazão na qual as células passam mais rapidamente pela lâmpada, o tempo de exposição é suficiente para promover a morte bacteriana e dessa forma a capacidade de passar um volume maior de água através da tubulação contendo a lâmpada germicida assume um papel preponderante para promover a redução da população bacteriana presente na bacia da torre.

É interessante notar que o valor de concentração de células vivas em que a população bacteriana estabiliza em cada uma das situações analisadas é diferente. Isto sugere que outros fatores podem contrabalancear o efeito germicida da passagem pela tubulação contendo a lâmpada UV (ver discussão a seguir). Quanto maior a vazão de passagem da água da bacia da torre de resfriamento pela tubulação contendo a lâmpada germicida, menor é a concentração de células vivas encontradas na bacia nesta fase de concentração estável. Este resultado sugere que o efeito contrabalanceador da morte bacteriana é menos eficiente quanto mais efetivo for o sistema em promover a morte bacteriana pela passagem através da tubulação contendo a lâmpada germicida.

Tabela 4. Concentração de bactérias sobreviventes em função da exposição à lâmpada germicida no experimento piloto.

Tempo (s)	Vazão (L/h)			
	500		250	
	Exposição (mJL/cm^2)	Viabilidade (UFC/mL)	Exposição (mJL/cm^2)	Viabilidade (UFC/mL)
0	0,00E+00	8,67E+07	0,00E+00	8,60E+05
15	3,00E-03	6,00E+05	6,00E-03	3,07E+05
30	6,00E-03	6,67E+04	1,20E-02	2,03E+04
45	9,00E-03	1,07E+04	1,80E-02	8,07E+03
60	1,20E-02	2,67E+03	2,40E-02	1,84E+03
120	2,40E-02	6,67E+02	4,80E-02	1,43E+03
180	3,60E-02	2,27E+02	7,20E-02	1,47E+03
240	4,80E-02	2,20E+02	9,60E-02	1,62E+03
300	6,00E-02	2,20E+02	1,20E-01	1,47E+03
360	7,20E-02	1,47E+02	1,44E-01	1,91E+03

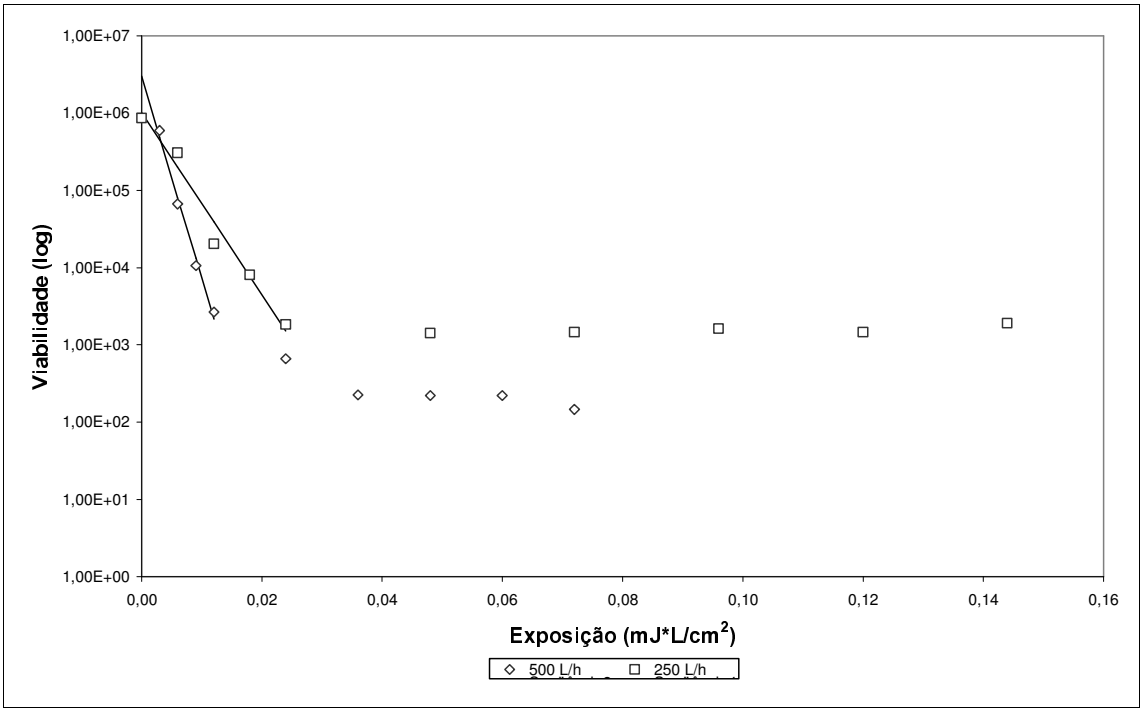

Figura 19 - Morte de *E. coli* em função da exposição

Nos trabalhos analisados da literatura para comparação com o experimento laboratorial, observa-se que não há uma preocupação com a cauda das curvas de morte, os autores apenas preocupam-se com a cinética da reação, conforme HIJNEN e colaboradores (2006), que faz uma revisão do comportamento cinético de morte de diversas bactérias frente à radiação ultravioleta, QIU e colaboradores (2004) que mostra o comportamento de sobrevivência da bactéria *Shewanella oneidensis* comparada à *E. coli* à exposição à radiação, KNUDSON (1984) que realiza um estudo da sobrevivência das bactérias da espécie *Legionella* e, seguindo a mesma linha de estudo, CARSON (1975) em seu experimento com *Pseudomonas cepacia*.

Por outro lado, no experimento laboratorial, não existe somente a cinética de reação de inativação bacteriana, pois somente parte da água é exposta à radiação por um período de tempo. Desta forma, deve-se também ater ao tempo de retenção

hidráulica da água na bacia do protótipo, a fim de analisar a cinética da reação de inativação da *E.coli*.

Os tempos de retenção hidráulica foram diferentes em função das vazões estabelecidas como parte do experimento. Para a vazão de 500 L/h, o tempo de retenção hidráulica foi de 3,6 minutos, para 250 L/h, o tempo foi de 7,2 minutos.

Esta hipótese surgiu devido ao fato observado no experimento, pois a curva primeiramente se comporta como uma reta descrita na Equação 3 obedecendo a Lei de Chick (CHERNICARO *et al*, 2001); em seguida, observa-se uma cauda em ambas as curvas, que são estáveis em concentrações diferentes de viabilidade.

Assim, as curvas de morte devem ser estudadas a partir de duas situações, a cinética da reação propriamente dita e o conjunto de fatores presentes nos pontos 1 e 2 no protótipo da torre de resfriamento mostrados na Figura 20.

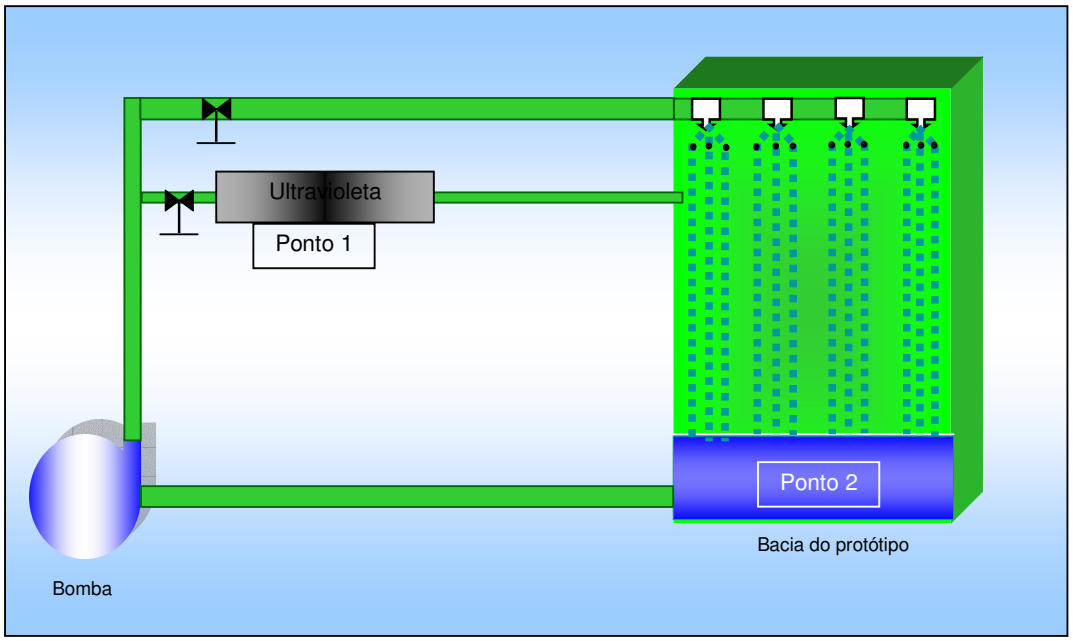

Figura 20 – Esquema do protótipo

O ponto 1 mostra a fase onde a água é exposta à radiação ultravioleta; neste ponto, ocorrem dois fenômenos distintos: a inativação pela luz ultravioleta e, após um período de tempo, o bloqueio da ação da radiação por partículas de proteção (células mortas).

A inativação pela luz ultravioleta ocorre conforme descrito no item 3.1.3, onde a radiação ultravioleta atinge o DNA, podendo levar à formação de dímeros de pirimidina que prejudicam a duplicação das células.

O bloqueio da ação da radiação acontece pois há uma queda de 3 ciclos logarítmicos na viabilidade microbiana, ou seja, existem mais partículas mortas a serem irradiadas do que partículas vivas, o que cria uma proteção às bactérias que não sofreram danos significativos;

No ponto 2 do protótipo, pode ocorrer a fotorreativação das bactérias e o crescimento bacteriano pelos nutrientes provindos das células que foram irradiadas e morreram.

Com relação à fotorreativação, deve-se considerar que o protótipo foi realizado em uma bancada de laboratório, sem proteção contra a luminosidade externa, com o intuito de imitar o ambiente luminoso em que uma torre de resfriamento estaria.

Porém, somente a fotorreativação e a proteção à radiação por partículas protetoras não explica a estabilidade da concentração ao longo do tempo, pois ainda assim haveria uma queda na concentração, porque as bactérias vivas seriam irradiadas em algum tempo.

A explicação encontrada para a estabilidade da concentração é a de que as bactérias que sofrem fotorreativação e as que são protegidas pelas partículas

mortas começam a se alimentar dos nutrientes provindos das células que foram irradiadas e morreram. Este último fator se iguala à soma dos dois primeiros citados, formando a reta.

A razão da curva de morte com a vazão de 500 L/h se estabilizar em uma concentração menor do que a de 250 L/h de vazão pode ser explicada considerando os múltiplos fatores que contribuem para a manutenção de uma determinada população sobrevivente na bacia da torre de resfriamento: De um lado quanto maior a vazão de passagem pela tubulação contendo a lâmpada germicida maior a taxa de morte e do outro lado quanto maior essa vazão menor é o tempo para crescimento bacteriano (menor tempo de retenção hidráulica) ou mesmo para ocorrer a fotorreativação.

Estes resultados sugerem que, com uma melhor compreensão de como cada um dos fatores contribuem para a estabilização da população microbiana em uma torre de resfriamento, seria possível estabelecer sistemas mais efetivos de controle dessa população microbiana.

6. CONCLUSÕES

Com base nos dados apresentados no item 5, pode-se concluir que:

- Existe uma estabilidade na concentração microbiana ao longo do tempo em torres de resfriamento tratadas com radiação ultravioleta para o controle microbiano;

- A estabilidade encontrada não se deve a qualquer resistência especial à radiação das bactérias presentes na torre de resfriamento, fato demonstrado comparando-se o coeficiente de morte de uma bactéria isolada de uma bacia torre de resfriamento, denominada “bactéria UV” com os coeficientes de morte das bactérias *E.coli* e *S.aureus* em laboratório e com os coeficientes informados na literatura citada.

- Os resultados obtidos com o protótipo de torre de resfriamento foram compatíveis com a ocorrência de múltiplos fenômenos (morte microbiana pela ação da lâmpada germicida, proteção da ação germicida por células mortas, fotorreativação e crescimento bacteriano proveniente dos nutrientes liberados com a morte de bactérias). Estes fenômenos em conjunto permitem explicar a morte inicial da população bacteriana presente na bacia e sua posterior estabilização em uma determinada concentração e sugerem ainda ser possível explorar a compreensão destes fenômenos como forma de tornar mais efetivos os sistemas de controle da população microbiana em torres de resfriamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BATISTA, J.F., *et al*. *In situ* corrosion control in industrial water systems. **Biodegradation**, Netherlands, vol. 11, p.441-448, 2001.

BLACK, J.G., **Microbiologia – Fundamentos e Perspectivas**, Quarta edição, Guanabara Koogan, Rio de Janeiro, 2002.

BOYD, R.F., **General microbiology**, Second edition, Times Mirror/ Mosby College Publishing, USA, 1988.

BUCHARD, TJ. **Princípios de tratamento de águas industriais**. Drew Produtos Químicos Ltda, São Paulo, 1979.

CARSON. L.A., PETERSEN, N.J. Photoreactivation of Pseudomonas cepacia after ultraviolet exposure: a potential source of contamination in ultraviolet-treated waters. **Journal of clinical microbiology**, USA, vol. 1, n.5, p.462-464, May 1975.

CHERNICARO, C.A. (Coordenador). **Pós-tratamentos de efluentes de reatores anaeróbios**, Primeira edição, Projeto PROSAB, Rio de Janeiro, 2001.

DANIEL, L.A. (Coordenador). **Processos de desinfecção e desinfetantes alternativos na produção de água potável**, Primeira edição, Projeto PROSAB, Rio de Janeiro, 2001.

DANTAS, E. **Tratamento de água de refrigeração e caldeiras**, José Olympio Editora, Rio de Janeiro, 1988.

DAVIS, B.D. *et al*. **Microbiology**, Harper & Row Publishers, New York, 1968.

ELKIND, Raul, **Torres de Resfriamento.** PETROBRAS/SEREC/CEN-SUD, Rio de Janeiro, 1998.

FLIERMANS, C.B., HARVEY, R.S. Effectiveness of 1-bromo-3-chloro-5,5-dimethyldantoin agaisnt *Legionella pneumophila* in a cooling tower. **Applied and environmental microbiology**, USA, vol. 47, n.6, p.1307-1310, June 1984.

FOFANO, S. **Avaliação de técnicas eletroquímicas na monitoração de corrosão por sulfetos em sistemas de água de resfriamento industrial**. 2000. 254f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Paraná, 2000.

FRIEDBERG, E.C., *et al*. **DNA repair and mutagenesis**. ASM Press, Washington D.C., 1995.

GILPIN, R.W, *et al*. Disinfection of circulating water systems by ultraviolet light and halogenation. **Water resource**, Great Britain, n.7, p.839-848, 1985.

GONÇALVES, R.F, *et al.* **Desinfecção de efluentes sanitários**, Primeira edição, Projeto PROSAB, Rio de Janeiro, 2003.

GRACE, R.D, *et al*. Susceptibility of *Legionella pneumophila* to three cooling tower microbiocides. **Applied and environmental microbiology**, USA, vol. 41, n.1, p.233-236, Jan 1981.

HIJNEN, W.A.M, *et al*. Inactivation credit of UV radiation for viruses, bacteria and protozoan (oo)cysts in water: A review. **Water research**, Great Britain, vol. 40, n.3, p.3-22, 2006.

KNUDSON, G.B. Photoreactivation of UV-irradiated *Legionella pneumophila* and other *Legionella* species. **Applied and environmental microbiology**, USA, vol. 49, n.4, p.975-980, Apr. 1985.

KRUEGER, R.G., *et al*. **Introduction to microbiology**, The Macmillan Company, New York, 1973.

KUZUHARA, F. Desinfecção de esgoto sanitário tratado em sistema de lagoas de estabilização por meio de radiação ultravioleta. 2005. 188f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós Graduação em Saúde Pública – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

MADIGAN, M. *et al*. **Brock – Biology of microorganisms**, Nine edition, Prentice Hall, New Jersey, 2000.

MAKAROVA, K.S., *et al.* Genome of extremely radiation-resistant bacterium *Deinococcus radiodurans* viewed from the perspective of comparative genomics. **Microbiology and molecular biology reviews**, USA, vol.65, n.1, p.44-79, Mar. 2001.

MOSELEY, B., EVANS, D., Isolation and properties of strains of *Micrococcus (Deinococcus) radiodurans* unable to excise ultraviolet light-induced pyrimidine dimers from DNA: evidence for two excision pathways. **Journal of general microbiology**, Great Britain, vol.129, p.2437-2445, Jan. 1983.

ÖZILGEN, M. **Food Process Modeling and Control – Chemical Engineering Applications**, Overseas Publishers Association, Amsterdan, 1998.

PELCZAR Jr, M.J., *et al*. **Microbiologia conceitos e aplicações**, Segunda edição, volume 1, Makron Books, São Paulo, 2004.

PELCZAR Jr, M. J., REID, R.D. **Microbiology**. Second Edition, McGraw-Hill Book Company, New York, 1965.

QIU, X. *et al*. Survival of *Shewanella oneidensis* MR-1 after UV radiation Exposure. **Applied and environmental microbiology**, USA, vol. 70, n.11, p. 6435-6443, Nov. 2004.

RANADE, S.S., et al. Effects of non-ionizing and ionizing radiations on the transforming ability of *E. coli* DNA. **Photochemistry and photobiology**, Great Britain, vol. 19, p.103-108, 1974.

SHECHMEISTER, I.L. **Sterilization by ultraviolet irradiation**. IN. Disinfection, Sterilization and Preservation, Seymour S. Block, Lippincott, Willians & Wilkins. p.553-565, 1991.

SINHA,R.P., HÄDER, D.P. UV- induced DNA damage and repair: a review. **Photochemistry and photobiology**, Great Britain, vol. 1, p. 225-236, 2002.

SOMMER, R., *et al.* Inactivation of bacteriophages in water by means of non-ionizing (UV-253.7 nm) and ionizing (gamma) radiation: a comparative approach. **Water research**, Great Britain, vol. 35, n. 13, p. 3109-3116, 2001.

SORACCO, R.J., *et al*. Susceptibilities of algae and *Legionella pneumophila* to cooling tower biocides. **Applied and environmental microbiology**, USA, vol. 45, n. 4, p. 1254-1260, Apr. 1983.

TORTORA, G. *et al*. **Microbiologia**, 8ª ed. Artmed Editora, Porto Alegre, 2005.

USEPA (U.S. Environmental Protection Agency), **Ultraviolet Disinfection** – wastewater Technology Fact Sheet. Washington, D.C. EPA-832/R-99-064, 1999d.

YASUI, A., McCREADY, S.J. Alternative repair pathways for UV-induced DNA damage. **BioEssays**, USA, vol. 20, n. 4, p. 291-297, 1988.

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