

RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA PARA DESINFECÇÃO DE ÁGUA¹

ULTRAVIOLET RADIATION FOR WATER DISINFECTION

Lidiane Bittencourt Barroso² e Delmira Beatriz Wolff³

RESUMO

Neste trabalho, propôs-se revisão da literatura sobre o tema radiação ultravioleta para utilização na desinfecção de água. Para tanto, foi realizada a revisão sobre a dose de radiação, a determinação das características de lâmpadas germicidas e reatores, bem como dos aspectos de segurança para a sua utilização. O grau de inativação obtido pela radiação é diretamente proporcional à dose aplicada na água. Para eliminar os micro-organismos, os raios ultravioletas podem ser emitidos pelo fluxo de elétrons por meio de vapor de mercúrio ionizado de lâmpadas germicidas. Estes precisam atravessar a célula, penetrando pela membrana celular externa, passando através do corpo celular e, por fim, romper o material genético e prevenir a reprodução. Todas as operações de manutenção das instalações e dos equipamentos devem, obrigatoriamente, ser realizadas com as lâmpadas germicidas desligadas; pois a radiação ultravioleta pode causar lesões nos olhos e câncer de pele.

Palavras-chave: dose de radiação, lâmpadas germicidas, aspectos de segurança.

ABSTRACT

In this paper there is a review of the literature on the subject of the usage of ultraviolet radiation to disinfect drinking water. It was performed a review of the dose of radiation, determining the characteristics of germicidal lamps and ballasts, as well as the safety aspects for their use. The degree of inactivation achieved by radiation is directly proportional to the dose applied in water. In

¹ Trabalho de Iniciação Científica - UNIFRA.

² Aluna do Curso de Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho - UNIFRA.

³ Orientadora - UNIFRA.

order to eliminate the micro-organisms, ultraviolet rays can be emitted by the electron flow through the ionized mercury vapor germicidal lamps. These need to cross the cell, penetrating the outer cell membrane, passing through the cell body and eventually breaking the genetic material to prevent reproduction. All maintenance of facilities and equipment must, by law, be made with the germicidal lamps off, because ultraviolet radiation can cause eye damage and skin cancer.

Keywords: *radiation dose, germicidal lamps, safety aspects.*

INTRODUÇÃO

Os serviços públicos de abastecimento de água têm a principal função do fornecimento de água em quantidade e dentro dos padrões de potabilidade, segundo a Portaria nº 518 (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2004).

Com as tecnologias atuais de tratamento, é teoricamente possível o tratamento de água proveniente de mananciais com qualquer qualidade, mas na prática, nem sempre qualquer água pode ser tratada, levando-se em conta os custos do processo (aspecto econômico). A qualidade da água dos mananciais será conhecida com a realização de análises físico-químicas e biológicas, que indicarão o processo necessário de purificação da água, sendo que o tratamento adotado deve compreender as etapas indispensáveis à obtenção de água de boa qualidade com um custo mínimo.

A desinfecção é considerada como o principal mecanismo para desativação ou destruição de organismos patogênicos com a finalidade de prevenir a disseminação de enfermidades veiculadas pela água, pois aqueles não são eliminados pelos processos físico-químicos (floculação, decantação e filtração). Existem diversos métodos de desinfecção de águas tanto residuárias como de abastecimento. Os desinfetantes mais conhecidos usados na prevenção de micro-organismos são o cloro, o ozônio, a radiação ultravioleta (UV), o iodo, o permanganato de potássio, a prata, o dióxido de cloro e o peróxido de hidrogênio.

A formação de subprodutos é mínima, quando se emprega a radiação UV como agente desinfetante, porque este atua por meio físico, atingindo principalmente os ácidos nucleicos dos micro-organismos, enquanto que desinfetantes como o cloro podem gerar subprodutos que podem apresentar potencial cancerígeno. De acordo com Gonçalves (2003), é um agente desinfetante barato, com poucas limitações quanto à sua ação e seguro, pois nenhum produto químico tóxico é transportado, armazenado ou manuseado.

A radiação UV pode ser usada para desinfetar água potável, efluentes, salas de laboratório, dutos de ar condicionado, torres de resfriamento, alimentos, bebidas, água mineral, biofarmacêutica, químicas, semicondutores, aquicultura, piscinas, indústria automotiva, reúso de água, entre outros.

Neste trabalho, propôs-se revisão da literatura sobre o tema radiação ultravioleta para utilização na desinfecção de água. Para tanto, revisaram-se a dose de radiação, a determinação das características de lâmpadas germicidas e reatores, bem como os aspectos de segurança para a sua utilização.

ACÇÃO BIOCIDA DA RADIAÇÃO UV

O intervalo de comprimento de onda compreendido entre 245nm e 285nm foi considerado por Daniel (2001) a faixa germicida ótima para a inativação de micro-organismos, estando, portanto inserido na faixa da radiação UV-C (Figura 1), usualmente obtida por meio de lâmpadas especiais. Isso significa que o método de desinfecção com radiação UV utiliza a energia elétrica, a fim de gerar radiação para a eliminação, a inativação ou inviabilização de micro-organismos.

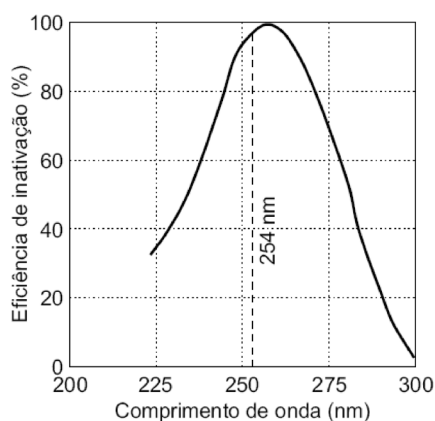


Figura 1 - Efeito germicida associado ao comprimento de onda da radiação UV.

Fonte: Gonçalves (2003).

O termo fotólise refere-se à interação da radiação luminosa com as moléculas, que provoca ruptura das ligações químicas, fragmentando-as. A luz é composta de pequenos “pacotes” de energia, denominados fótons cuja energia é inversamente proporcional ao comprimento de onda (DANIEL, 2001).

A desinfecção por radiação UV baseia-se em alterações por fotólise do material genético (DNA, RNA) dos organismos presentes na água. O DNA é

um polímero de ácido nucleico, constituído por uma sequência de quatro bases nitrogenadas (adenina, citosina, guanina e timina) que constituem o código genético. 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. As moléculas de DNA dos organismos a serem inativados absorvem radiações com comprimento de onda entre 200 e 300 nm, em especial, aquelas em torno de 260 nm, que alteram sua composição e comprometem sua funcionalidade. A radiação UV atravessa a parede celular e é absorvida pelos ácidos nucleicos e, em menor extensão, pelas proteínas e por outras moléculas biologicamente importantes. A energia absorvida rompe as ligações não saturadas, principalmente as bases nitrogenadas pirimídicas, provocando a dimerização de pirimidinas adjacentes de um mesmo fio de cromossomo do DNA. Os dímeros formados em consequência das alterações provocadas pela radiação UV podem resultar em timina-timina, timina-citosina e citosina-citosina. As moléculas pirimídicas resultantes, uma vez unidas, deformam a estrutura helicoidal do DNA e dificultam a replicação do ácido nucleico. Caso a replicação ocorra, as novas células serão mutantes descendentes e incapazes de se duplicar (GONÇALVES, 2003).

DOSE DE RADIAÇÃO UV

O termo dose de radiação UV é, frequentemente, utilizado na literatura para representar a exposição de um dado organismo à irradiação na faixa germicida. Esse parâmetro é similar à concentração em mg/L, quando o desinfetante é uma substância química.

A dose de radiação é o produto da intensidade de radiação pelo tempo de exposição, apresentada na equação (1). Ressalta-se que a inativação de um número fixo de micro-organismos pode ser alcançada em curto intervalo de tempo e alta intensidade ou em tempo longo e baixa intensidade, ou seja, a dose é mantida constante.

$$D = I \cdot t, \quad (1)$$

em que: D = dose de radiação UV ($\text{mW}\cdot\text{s}/\text{cm}^2 = 10 \text{ J}/\text{m}^2$); I = intensidade de radiação (mW/cm^2); t = tempo de exposição (s).

A fração de sobrevivência é dada pela equação:

$$\frac{N}{N_0} = f(D), \quad (2)$$

em que: N_0 , N = concentração de micro-organismos antes e depois da irradiação UV (organismos/100mL), respectivamente; $f(D)$ = função da dose.

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. Com o objetivo de estimar a referida atenuação para efeito de projeto, é comum o emprego do termo coeficiente de absorvância (a) para corrigir a absorvância do meio, de acordo com a equação:

$$\alpha = A \cdot \ln(10) = 2,303A, \quad (3)$$

em que: a = coeficiente de absorvância; A = absorvância a 254nm (cm^{-1})

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

$$T(\%) = 100 \cdot 10^{-A}, \quad (4)$$

A intensidade média efetiva em um meio pode ser obtida pela Lei de Beer-Lambert (OLIVEIRA, 2003), dada pela equação:

$$I = \frac{I_0}{L} \int_0^L e^{-\alpha x} \cdot dx \quad (5)$$

em que: I = intensidade de radiação UV na lâmina de água de espessura L (mW/cm^2); I_0 = intensidade de radiação UV na superfície da água (mW/cm^2); L = espessura da lâmina de água (cm); a = coeficiente de absorvância (cm^{-1}).

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.

Alguns micro-organismos patogênicos, particularmente vírus e protozoários, são mais resistentes ao tradicional desinfetante cloro do que as bactérias do grupo dos coliformes. A dose de radiação UV necessária para inativar organismos patogênicos é semelhante àquela requerida para promover o mesmo

efeito nas bactérias usualmente utilizadas como indicadoras de qualidade da água. Desse modo, para a inativação de patogênicos, as doses de radiação ultravioleta necessárias, usadas como parâmetro para o grupo coliforme, podem ser mais efetivas do que a cloração no processo de desinfecção (DANIEL, 2001).

No quadro 1, apresenta-se uma compilação das doses de radiação UV para inativação de alguns micro-organismos patogênicos aos seres humanos.

Micro-organismo	Dosagem necessária (mWs/cm ²)	
	Inativação de 90%	Inativação de 100%
Bactéria		
- <i>Bacillus paratyphosus</i>	3.200	6.100
- <i>Clostridium tetani</i>	12.000	22.000
- <i>Corynebacterium diphtheriae</i>	3.400	6.500
- <i>Eberthella typhosa</i>	2.100	4.100
- <i>Escherichia coli</i>	3.000	6.600
- <i>Legionella pneumophila</i>	380	2.760
- <i>Mycobacterium tuberculosis</i>	5.400	10.000
- <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	5.500	10.500
- <i>Pseudomonas fluorescens</i>	3.500	8.600
- <i>Salmonella enteritidis</i>	4.000	7.600
- <i>Salmonella typhimurium</i>	8.000	15.200
- <i>Sarcina lutea</i>	17.900	26.400
- <i>Shigella dysenteriae</i>	1.700	3.400
- <i>Staphylococcus aureus</i>	4.950	6.600
- <i>Streptococcus viridans</i>	2.000	3.800
Vírus		
- Bacteriófago da <i>Escherichia coli</i>	3.600	6.600
- Influenza	3.600	6.600
- Poliovírus 1	28.000	42.000
Protozoários		
- <i>Giardia lamblia</i>	63.000	-
- <i>Paramecium SP</i>	110.000	220.000
Nemátodo		
- ovo	51.000	92.000
Fungos	24.000	45.000

Quadro 1 - Doses de radiação UV para inativação de alguns micro-organismos patogênicos aos seres humanos.

Fonte: Di Bernardo e Dantas (2005).

O grau de inativação obtido pela radiação é diretamente proporcional à dose aplicada na água. Oliveira (2003) avaliou a capacidade de desinfecção da radiação UV em efluentes domésticos tratados em diferentes sistemas. Após a aplicação de doses de radiação UV, que variaram de 10 a 100mJ/cm², observou-se que, com uma dose superficial de 40 a 60mJ/cm², a radiação UV alcançou resultados de remoção de coliformes acima de 4 casas logarítmicas. Observou-se também que a eficiência de inativação foi insignificante nos ensaios com ovos de helmintos (*Ascaris lumbricoides* e *Trichuris trichiura*) utilizando-se doses de até 100 mJ/cm². Os ensaios de desinfecção realizados com amostras com cistos de protozoários (*Giardia lamblia* e *Cryptosporidium sp*) apresentaram resultados semelhantes aos encontrados no quadro 1.

A radiação UV não altera a água quimicamente, nada é adicionado exceto energia. Os micro-organismos esterilizados não são removidos da água, nem as partículas orgânicas ou inorgânicas são dissolvidas. Daniel (2001) citou um problema que pode ocorrer com a utilização de radiação UV, a indesejada recuperação de parcela dos micro-organismos inativos. Isso significa que, sob irradiação de luz na faixa do visível, pode ocorrer reversão das reações fotoquímicas e os micro-organismos podem recuperar a atividade. Esse mecanismo permite que micro-organismos irradiados recuperem-se, caso tenham recebido dose subletal de radiação UV.

Ainda, há certos contaminantes da água que podem reduzir a transmissão da radiação UV através da água, reduzindo a dose que deveria atingir as bactérias. Esses contaminantes, absorventes da radiação UV que possam estar contidos na água, incluem turbidez, ferro, ácidos húmicos e fúlvicos, comuns em águas de superfície. Partículas em suspensão também podem abrigar micro-organismos, interferindo na qualidade do tratamento.

É muito importante salientar que, após o processo de desinfecção por radiação UV, não há residual, fator que deve ser considerado em relação às águas de consumo humano.

CARACTERÍSTICAS DAS LÂMPADAS E DOS REATORES

Além da radiação UV natural presente na luz solar, pequenas frações de radiação UV artificial podem ser emitidas por lâmpadas comuns, lâmpadas de halogênio, lâmpadas fluorescentes, telas de computadores, entre outras. Para efeito de desinfecção de águas e esgotos, são necessárias quantidades de radiação UV muito superiores.

As lâmpadas geralmente constituem-se em um tubo de quartzo que contém um gás inerte (comumente argônio) e pequena quantidade de mercúrio. Para evitar problemas relacionados às variações de voltagem, as lâmpadas possuem um regulador de corrente denominado reator que estabiliza o circuito e controla a potência da lâmpada.

Para eliminar os micro-organismos, os raios UV podem ser emitidos pelo fluxo de elétrons por meio de vapor de mercúrio ionizado de lâmpadas germicidas. Esses precisam atravessar a célula, penetrar pela membrana celular externa, passar através do corpo celular, por fim, romper o material genético e prevenir a reprodução.

As lâmpadas UV funcionam de forma parecida a das lâmpadas fluorescentes. A diferença entre os dois tipos de lâmpadas é que o bulbo da lâmpada fluorescente é recoberto com fósforo, que converte a radiação UV em luz visível. A lâmpada UV não é coberta e só transmite a radiação UV gerada pelo arco. Os reatores controlam a potência das lâmpadas UV e devem funcionar em temperaturas inferiores a 60°C. Dois tipos de reatores são usados com as lâmpadas UV: eletrônico e eletromagnético. O reator eletrônico opera em uma frequência bem mais elevada que o eletromagnético, resultando temperaturas maiores e vida útil mais longa.

O escoamento forçado em um conduto opaco, dentro do qual se inserem lâmpadas UV com ou sem envoltório de proteção, representado na figura 2, é uma possibilidade. Da mesma forma que nos reatores em canais abertos, as lâmpadas também podem ser dispostas, paralela ou transversalmente, ao fluxo. Em ambos os casos, é imperativa a existência de um dispositivo para limpeza das superfícies das lâmpadas ou dos envoltórios de proteção que entram em contato direto com o líquido.

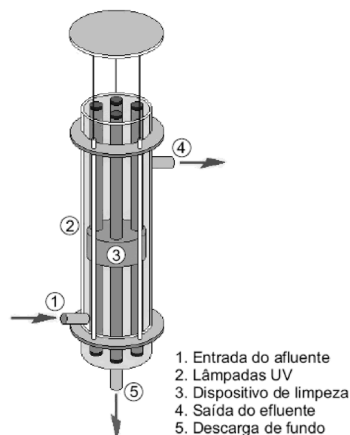


Figura 2 - Reator UV com lâmpada imersa em conduto forçado no sentido vertical.

Fonte: Gonçalves (2003).

No quadro 2, são apresentadas as principais características das lâmpadas de média e baixa pressão. As lâmpadas de baixa pressão são recomendadas para pequenas vazões de água a serem desinfetadas (geralmente água de poço), enquanto as de média pressão são utilizadas na desinfecção de vazões maiores. Quando a vazão for muito elevada, as lâmpadas de média pressão e alta intensidade são usadas por requererem pouco espaço (menor número de lâmpadas).

Tipo	Características gerais
Lâmpada de média pressão	Uma única lâmpada de 5kW pode ser usada em unidade que atendem a vazões de até 525m ³ /h; não é influenciada por variações acentuadas de temperatura; voltagem da lâmpada entre 1.000 e 2.000V; temperatura do plasma de mercúrio entre 600 e 900°C; vaporização completa do mercúrio; emite radiação UV entre os comprimentos de onda de 180 a 400nm.
Lâmpada de baixa pressão	Uma única lâmpada de 65w pode ser usada em unidade que atendem a vazões de até 9m ³ /h; voltagem da lâmpada entre 120 e 240V; temperatura do plasma de mercúrio entre 40 e 50°C; vaporização parcial do mercúrio; emite radiação UV entre os comprimentos de onda de 185 a 254nm.
Lâmpada de média pressão e de alta intensidade	Usada na desinfecção em unidades que atendem a vazões relativamente altas com menor número de lâmpadas.

Quadro 2 - Principais características das lâmpadas UV.

Fonte: Di Bernardo e Dantas (2005).

Gonçalves (2003) apresenta as classificações mais usuais para os processos de radiação UV que têm por base o posicionamento das lâmpadas em relação ao líquido submetido à desinfecção. Os processos em que as lâmpadas são posicionadas fora da lâmina são conhecidos como os de lâmpadas emersas ou de não contato. Ainda, nessa categoria, há processos com lâmpadas externas a tubos transparentes, no interior dos quais escoo o líquido. Os processos com lâmpadas imersas compreendem a utilização de lâmpadas que podem estar em contato direto ou não com a corrente líquida. Neste último caso, as lâmpadas encontram-se

protegidas por um envoltório, geralmente de quartzo, que pouco absorve a radiação UV. Outro tipo de classificação refere-se à forma de escoamento do líquido, que pode ocorrer em canais ou em condutos forçados.

A intensidade de emissão de radiação UV por lâmpadas germicidas é afetada por diversos fatores, dentre os quais podem ser citados: temperatura de operação, tempo de operação e flutuações de voltagem. A vida útil das lâmpadas também varia muito em função da qualidade do material, bem como do número de acionamentos e das condições de operação. Os principais fatores que contribuem para a redução da eficiência de emissão de radiação incluem falhas nos eletrodos, deposição de mercúrio nas paredes e solarização do invólucro (GONÇALVES, 2003).

ASPECTOS DE SEGURANÇA

Como a radiação UV é parte do espectro eletromagnético, também se aplica o princípio, no qual a energia é inversamente proporcional ao comprimento de onda. Isso significa que, à medida que diminui o comprimento de onda, aumenta a energia potencial da radiação UV e, em consequência, seu efeito.

A radiação UV pode causar danos aos olhos e à pele não protegida. A superexposição à radiação UV leva à dolorosa vermelhidão da pele: queimaduras de 1º grau. Cada exposição aos raios ultravioleta é armazenada na pele, ou seja, o dano causado pela exposição à radiação UV é cumulativo e o dano celular causado por essa exposição pode ser irreversível. A exposição crônica ou prolongada à radiação UV tem sido relacionada a diversos efeitos à saúde, incluindo o câncer de pele e o envelhecimento prematuro da pele.

Além da pele, a radiação UV é a que representa o maior perigo para a saúde ocular. A exposição prolongada, aguda, a essa radiação pode levar a um quadro agudo de vermelhidão e dor ocular que melhora entre 24 e 48 horas, sem deixar sequelas. Porém, a exposição crônica pode levar, ao longo de anos, ao desenvolvimento de problemas oculares como pterígio, catarata e degeneração da retina. Graça (2008) lista as ações da radiação UV sobre a pele e nos olhos:

ação da radiação UV sobre a pele: a radiação UV-S penetra até o TCS (tecido celular subcutâneo), a radiação UV-B atinge a derme e a radiação UV-C penetra no estrato córneo. A camada de ozônio da atmosfera é extremamente importante, porque absorve toda a radiação UV-C e parte da radiação UV-B. Os efeitos mais notáveis da radiação UV são o envelhecimento cutâneo precoce e o câncer de pele.

São reconhecidos efeitos agudos da radiação UV-A e da radiação UV-B, de curta duração e com efeitos reversíveis como a eritema, edema da derme, aumento da pigmentação e lesão às células de defesa imunológica e aos ceratinócitos. [...] Os efeitos crônicos ocorrem por repetida exposição à radiação UV e consistem de envelhecimento do tecido sob a forma de rugas, elastose solar e pigmentação irregular, todos largamente determinados pela geração acentuada de radicais livres de oxigênio. Essas mudanças se acentuam com o tempo e são irreversíveis. Um outro efeito grave da radiação UV são os danos ao DNA, com o aparecimento de mutações genéticas e indução do câncer (melanoma e carcinoma). Um tipo de câncer de pele chamado xeroderma pigmentosa é o exemplo clássico do neoplasma induzido pela radiação UV. É importante destacar que, dependendo da dose usada e da sensibilidade da célula alvo, a exposição à radiação UV pode induzir uma resposta celular protetora que leva ao reparo do DNA, parada do ciclo celular ou à apoptose (morte celular programada).

Ação da radiação UV nos olhos: a radiação UV pode causar efeitos agudos e reversíveis de fotocerite (inflamação da córnea) e fotoconjuntivite. Radiações UV-A e UV-B também podem induzir lesões crônicas como o pterígio (espessamento da conjuntiva com aderência na córnea, corrigido cirurgicamente), catarata (opacidade do cristalino), lesões da retina e até mesmo cegueira em indivíduos que se expõem à luz solar sem proteção adequada (óculos com filtro solar, chapéu de aba larga) e em horas impróprias do dia. A associação entre radiação UV e desenvolvimento de câncer ocular não é tão clara quanto à observada entre a radiação UV e o câncer de pele. Porém, estudos realizados em países com vastos períodos de sol como a Austrália, apontam para o risco aumentado de desenvolvimento de neoplasmas oculares em pessoas largamente expostas à radiação UV.

A Portaria Ministerial nº 3.214 de dezembro de 1978, do Ministério do Trabalho e Emprego, na Norma Regulamentadora 15 (NR-15), regulamenta as atividades e operações insalubres, em seu anexo nº 7, trata das radiações não ionizantes: micro-ondas, ultravioletas e *laser* (MTE, 1978).

A principal regra de segurança é sempre prevenir a exposição da radiação UV. Portanto, os operadores necessitam de instruções sobre os danos causados pela radiação UV. A norma preconiza algumas precauções a serem tomadas pelos operadores:

- o operador nunca deverá se expor direta ou indiretamente aos raios UV;
- nunca olhar diretamente para a lâmpada germicida quando estiver ligada;
- qualquer que seja a operação que exija remoção das lâmpadas, o operador deverá primeiro desligá-las;
- pode ser previsto interruptor de segurança que desligará as lâmpadas sempre quando houver risco de exposição dos operadores à radiação UV. Tal medida protegerá o operador em caso de erro de operação na manutenção do refletor sem desligamento manual do respectivo circuito elétrico.

A melhor proteção é a prevenção à exposição de qualquer parte do corpo à luz ultravioleta, pelo uso de luvas e protetores faciais que retêm esse tipo de radiação. Os operadores devem ainda utilizar uniformes com mangas compridas e calça. Devido à proximidade da eletricidade à água, precauções devem ser tomadas quanto às conexões elétricas, aterramento e interruptores.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nas informações referenciadas, conclui-se que, quando se seleciona um sistema de desinfecção por radiação UV, existem quatro áreas críticas que devem ser consideradas. A primeira, determinar principalmente o tipo das lâmpadas e reatores; a segunda, projetar e definir as atividades de operação e manutenção; a terceira, controlar a instalação de tratamento; e a quarta atender aos aspectos relativos à segurança do trabalho.

Cabe ressaltar que o uso do processo de desinfecção por radiação UV é considerado uma tecnologia limpa, tendo em vista a ausência de formação de substâncias residuais e uso de produtos químicos. O emprego de radiação ultravioleta estende-se para diversos setores da atividade humana, com particular interesse por sua ação germicida.

A eficácia do sistema de desinfecção por radiação UV depende das características do afluente, da dose da radiação, do tempo de exposição dos micro-organismos à radiação e da configuração das lâmpadas e reatores. Para qualquer estação de tratamento, o êxito das atividades de desinfecção está diretamente relacionado à concentração de componentes coloidais e partículas na

água. Entretanto, o custo do sistema de desinfecção com radiação UV depende do fabricante, da capacidade de utilização da estação de tratamento e das características da água a ser desinfetada.

REFERÊNCIAS

DANIEL, L. A. (Coord.). **Processos de desinfecção e desinfetantes alternativos na produção de água potável**. Rio de Janeiro: Rima, ABES, 2001.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. B. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. v. 2. São Carlos: Rima, 2005.

GONÇALVES, R. F. (Coord.). **Desinfecção de efluentes sanitários**. Rio de Janeiro: Rima, ABES, 2003.

GRAÇA, C. O. **Radiação ultravioleta no ambiente de trabalho**. Notas de aula do Curso de Engenharia de Segurança do Trabalho – UNIFRA, 2008.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Portaria nº 518**, de 25 de março de 2004. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.agrolab.com.br/portaria%20518_04.pdf>. Acesso em: abr. 2008.

OLIVEIRA, E. C. M. **Desinfecção de efluentes sanitários tratados através da radiação ultravioleta**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

MTE. Ministério do Trabalho e Emprego. Norma Regulamentadora de Atividades e Operações Insalubres – NR 15, **Radiações não-ionizantes – Anexo nº7**, aprovada pela Portaria nº 3.214 em dezembro de 1978.

