



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**ALENE DE OLIVEIRA BARBOSA**

**USO DA RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA COMO TÉCNICA AVANÇADA DE  
TRATAMENTO DE ÁGUA**

**JOÃO PESSOA - PB**

**2016**

**ALENE DE OLIVEIRA BARBOSA**

**USO DA RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA COMO TÉCNICA AVANÇADA DE  
TRATAMENTO DE ÁGUA**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à  
Coordenação do Curso de Engenharia Civil da  
Universidade Federal da Paraíba, como  
requisito parcial para obtenção do título de  
Engenheiro Civil.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Karine Cristiane de  
Oliveira Souza.

**JOÃO PESSOA - PB**

**2016**

B238u Barbosa, Alene de Oliveira

Uso da radiação ultravioleta como técnica avançada de tratamento de água./ Alene de Oliveira Barbosa./ - João Pessoa, 2016.

53.il.

Orientador: Prof. Dra. Karine Cristiane de Oliveira Souza

Monografia (Curso de Graduação em Engenharia Civil)  
CGEC./ Centro de Tecnologia / Campus I / Universidade Federal da Paraíba.

1. Desinfecção. 2. Tratamento. 3. Radiação ultravioleta.  
4. Contaminação. I. Título.

BS/CT/UFPB

CDU: 2.ed 504 (043)

# FOLHA DE APROVAÇÃO

ALENE DE OLIVEIRA BARBOSA

## USO DA RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA COMO TÉCNICA AVANÇADA DE TRATAMENTO DE ÁGUA

Trabalho de Conclusão de Curso defendido em 25/11/2016 perante a seguinte Banca Julgadora:

Karine Cristiane de Oliveira Souza  
Karine Cristiane de Oliveira Souza  
DECA/ CT/UFPB

aprovada

Ana Cláudia Fernandes Medeiros Braga  
Ana Cláudia Fernandes Medeiros Braga  
DECA/ CT/UFPB

Aprovada

Cláudia Coutinho Nóbrega  
Cláudia Coutinho Nóbrega  
DECA/ CT/UFPB

Aprovada

Ana Cláudia Fernandes Medeiros Braga  
Prof.<sup>a</sup> Ana Cláudia F. Medeiros Braga  
Coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia Civil

Dedico este trabalho a Deus que sempre trilhou os melhores caminhos, me dando forças quando precisei e amor durante todos os momentos. A meus pais e irmãos que não cessaram de me ajudar e incentivar durante toda trajetória.

## AGRADECIMENTOS

A Deus que me concedeu a graça da vida assim como tantas bênçãos derramadas no meu dia a dia. Pelo Seu imenso amor e Sua bondade infinita que me permitiram alcançar tantas vitórias.

Aos meus pais Cláudio Barbosa e Cássia Barbosa que sempre zelaram pela minha educação e a dos meus irmãos, nos incentivando perante as dificuldades e fazendo entendê-las como necessárias para conquistas e amadurecimento, e eterno amor.

Aos meus irmãos Alane, Cláudio e Claudinei que sempre acreditaram no meu potencial e lutaram para que eu pudesse ter as melhores chances.

Ao meu namorado Rogério Mota por todo amor, companheirismo, apoio e incentivo em todos os momentos.

À minha orientadora Karine Souza que não mediu esforços para que eu pudesse alcançar meus objetivos me orientando, apoiando e incentivando durante a preparação desse trabalho.

Aos amigos que conquistei durante o curso e que foram essenciais para minhas conquistas. Em especial: Dayana Gabriel, Felipe Barbosa, Gilberto Pinheiro, Larissa Suassuna, Mariana Tavares, Marília Zenaide, Matheus Queiroga, Patrícia Frota, Sergio Pereira e Simone Morena.

À Universidade Federal da Paraíba, à sua direção, administração, funcionários e corpo docente, em especial aos professores: Adriano Rolim, Andréa Silva, Aline Remígio, Givanildo Azeredo, Hidelbrando Diógenes e Pe. Paulo Cabral.

Aos amigos de longas datas: Ana Isabella Lau, Juliana Branco, Tatiana Carneiro e Vanessa Carneiro que acompanharam e contribuíram com sua amizade na minha trajetória.

## RESUMO

BARBOSA, Alene de Oliveira. **Uso da radiação ultravioleta como técnica avançada de tratamento de água.** Trabalho de conclusão de curso - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2016.

A qualidade da água é fator fundamental e necessário para condição de vida de uma população. Logo, a grande quantidade de casos em que pessoas são afetadas pelo uso e consumo da água contaminada deve ser encarada como uma preocupação de todos. Um dos produtos mais usados no tratamento da água é o cloro. Contudo, detectou-se que a interação do cloro com matérias orgânicas gera subprodutos nocivos à saúde humana. Assim, a busca por soluções que garantam melhor qualidade da água, ou seja, que minimizem a geração de subprodutos é intensa. Dentre as técnicas avançadas do tratamento de água tem-se o uso da radiação ultravioleta (UV). Como agente físico, a radiação UV impossibilita a reprodução e atividade dos agentes patogênicos sem alterar as propriedades químicas da água. Uma das formas de uso da radiação UV é a partir da desinfecção interativa, que envolve mais de um agente desinfetante no tratamento, principalmente, porque a desinfecção através da radiação UV não gera residual. Assim, a aplicação de um agente residual é necessária para proteger a água de uma possível contaminação nas tubulações e tanques enquanto é transportada e armazenada, respectivamente. Neste trabalho, foi estudado um sistema de tratamento de água de uma empresa que utiliza a radiação UV como técnica de purificação da água. Análises de três amostras de água foram feitas para avaliar superficialmente a eficiência da radiação UV perante a qualidade da água apresentada. Elas comprovaram que após passagem pelo reator, a quantidade de microrganismos viáveis, quando presentes, não se desenvolveram.

Palavras-chave: desinfecção; tratamento; radiação ultravioleta; contaminação.

## ABSTRACT

BARBOSA, Alene de Oliveira. **Use of ultraviolet radiation as an advanced water treatment technique.** Trabalho de conclusão de curso - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2016.

The water quality is a fundamental and necessary factor for the population living conditions. Thus, the large number of cases in which people are affected by the use and consumption of contaminated water should be seen as a concern of all. One of the most used product in the water treatment is chlorine. However, it has been found that the interaction between chlorine and organic material results in harmful sub-products to the human health. Among the advanced techniques of water treatment there is the use of ultraviolet radiation. As a physical agent, the radiation make impossible the reproduction and activity of pathogenic agents without changing the water chemical properties. One of the ways of using the ultraviolet radiation is through the interactive disinfection which involves more than one disinfectant agent in the treatment, especially because the disinfection by means of UV radiation does not generate residual. Thereby, the application of a residual agent is necessary to protect the water from the possible contamination by the pipes and tanks while it is transported and stored, respectively. In this work, we studied a water treatment system of a company that uses UV radiation as a water purification technique. The three water samples analysis was made to superficially evaluate the efficiency of the radiation toward the water quality presented. They proved that after passage through the UV reactor, the number of viable microorganisms, when present, did not develop.

Key words: disinfection; treatment; ultraviolet radiation; contamination.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Espectro Eletromagnético .....	25
Figura 2 – Curva de sobrevivência da Escherichia Coli sobre diferentes dosagens UV.....	29
Figura 3 – Configuração de uma lâmpada UV dentro de um reator.....	30
Figura 4–Porcentagem da transmitância da água .....	31
Figura 5–Reator UV: lâmpadas colocadas no sentido vertical.....	32
Figura 6–Reator UV: fluxo da água perpendicular as lâmpadas UV .....	33
Figura 7 - Reator UV: fluxo da água paralelo as lâmpadas UV .....	33
Figura 8 - Ação do ultravioleta na bactéria. ....	34
Figura 9 – Foto ilustrativa do reator UV utilizado na unidade de tratamento de água da cidade de Nova Iorque .....	36
Figura 10 - Esquema ilustrativo.....	37
Figura 11 - Primeira etapa: Pré-filtro e decolorador.....	38
Figura 12 - Processo de osmose reversa.....	39
Figura 13 – Segunda etapa: Osmose reversa (controle de permeado-solvente e do concentrado-soluto). ....	39
Figura 14–Terceira etapa: Resina mista .....	40
Figura 15–Quarta etapa: Reator UV utilizado na unidade de tratamento de água da indústria	41
Figura 16 - Componentes do sistema da desinfecção UV .....	41
Figura 17 - Instalação de Desinfecção - Vertical e Horizontal.....	42
Figura 18–Detalhe da Instalação do reator UV(Controlador) .....	43
Figura 19– Controlador do reator UV .....	44

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Dose requerida para inativação de patógenos. ....	28
Tabela 2 - Características operacionais das lâmpadas UV. ....	32
Tabela 3 - Níveis recomendados para instalação do reator UV .....	42

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Principais vantagens e desvantagens no uso do cloro como agente desinfetante no tratamento da água.....	21
Quadro 2 - Principais vantagens e desvantagens no uso do ozônio como agente desinfetante no tratamento da água.....	24
Quadro 3 - Principais vantagens e desvantagens no uso da radiação UV como agente desinfetante no tratamento da água. ....	35
Quadro 4–Parâmetros físico-químicos para controle da qualidade da água para consumo humano (Portaria MSn° 2914/11).....	45
Quadro 5–Parâmetros microbiológicos para controle da qualidade da água para consumo humano (PortariaMS n° 2914/2011).....	45
Quadro 6–Resultados das análises realizadas em amostras de águas coletadas na entrada e saída do Reator UV .....	46

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

UV	Ultravioleta
OMS	Organização Mundial da Saúde
COMUSA	Companhia Municipal de Saneamento
USEPA	United States Environmental Protection Agency
ETA	Estação de Tratamento de Água
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto

## SUMÁRIO

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO .....	14
1.1.1 Objetivo Geral .....	15
1.1.2 Objetivos Específicos .....	15
CAPÍTULO 2: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
2.1 Tratamento da água.....	16
2.2 Reagentes químicos .....	17
2.2.1 Cloro .....	18
2.2.2 Ozônio .....	21
2.2.2.1 Características da atuação do ozônio .....	22
2.2.2.2 Associação Ozônio-Cloro .....	23
2.3 Reagente físico: Radiação Ultravioleta.....	24
2.3.1 Radiação UV.....	25
2.3.2 Dose da radiação UV .....	26
2.3.3 Lâmpadas Germicidas .....	29
2.3.4 Reator UV.....	32
2.3.5 Mecanismos de Inativação.....	34
2.3.6 Vantagens e desvantagens do uso da radiação ultravioleta .....	34
2.3.7 Exemplo de aplicação da desinfecção UV .....	35
CAPÍTULO 3: ESTUDO DE CASO .....	37
3.1 Visão geral da unidade de tratamento de água da indústria.....	37
3.2 Descrição do sistema de desinfecção UV .....	41
3.3 Resultados das amostras .....	45
3.4 Atribuições ao estudo de caso.....	47
3.5 Recomendações .....	48
CAPÍTULO 4: CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	49
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	50

## CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO

A importância da água com boa qualidade de uso e consumo tem interferência direta com a saúde de uma população. Segundo o Ministério da Saúde (2015), a quantidade de pessoas que adquirem doenças através da contaminação da água ainda é um número bastante expressivo.

A contaminação da água tem diferentes causas, desde hábitos higiênicos a falta de comprometimento do governo, como a disponibilidade de água potável e saneamento básico.

O tratamento da água é um procedimento importante e necessário para a qualificação da mesma, sendo comum naqueles lugares que apresentam uma rede de abastecimento de água. O tratamento é composto por diversas etapas e conta com a ação de agentes desinfetantes. Estes agentes possuem variada configuração, podendo ser agentes químicos ou físicos.

O cloro é um dos agentes desinfetantes mais comum nos tratamentos da água (MEYER, 1994). Por ser um agente químico, o cloro possui propriedades que o capacita alterar algumas características da água. Ao longo de muito tempo, o cloro foi considerado uma das melhores alternativas para manter a água em boas condições de uso e consumo. No entanto, a poluição de mananciais provocou alterações na qualidade da água fazendo com que os padrões de tratamento se adequassem a essa nova configuração.

O consentimento de que mudanças eram necessárias se deu com a associação do aparecimento de doenças com a água que estava sendo consumida. Diante disso, pesquisas e estudos foram realizados e detectaram que além da presença de agentes patogênicos na água, a combinação do cloro com a matéria orgânica gerava subprodutos nocivos à saúde (FURTADO, 2011; TROJAN, 2010). Desde então, técnicas alternativas têm sido abordadas no tratamento a fim de eliminar, controlar e inativar os agentes patogênicos e os subprodutos nocivos presentes na água.

O ozônio é outro exemplo de agente químico que tem sido utilizado para a desinfecção da água. Ele apresenta diferentes características do cloro, de forma a ser mais eficiente no controle, eliminação dos agentes patogênicos e na geração dos subprodutos.

Segundo Bolton (2000), a referida técnica é utilizada desde o início do século XX, sendo definida como uma técnica avançada de tratamento de água, e vem ganhando espaço devido a sua eficiência. Por ser um agente físico, a radiação UV não altera as propriedades químicas da água e garante a desativação de agentes patogênicos como bactérias, vírus e protozoários. Sendo assim, a radiação UV não gera subprodutos.

A metodologia deste trabalho é composta por fundamentação teórica e estudo de caso. O estudo de caso foi realizado em uma indústria que utiliza a radiação UV como técnica de desinfecção da água. A indústria adotou essa técnica a fim de garantir que a água utilizada na fabricação de seus produtos possuísse um padrão de qualidade adequado e necessário para os fins de utilização.

O trabalho se distribui em quatro capítulos: Introdução, Fundamentação teórica, onde é apresentado as diferentes características das técnicas do tratamento da água quando submetidas à ação do cloro, do ozônio e da radiação ultravioleta, dando ênfase a ação desta última; Estudo de caso, em que é analisado o sistema componente da radiação UV na indústria, assim como as amostras de água obtidas e recomendações para o aperfeiçoamento do sistema de desinfecção; e por fim as Considerações Finais.

#### 1.1.1 Objetivo Geral

- Estudar o uso da radiação UV como técnica avançada de tratamento de água;

#### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Descrever a radiação UV como técnica avançada de tratamento de água;
- Apresentar um reator UV de uma indústria de produtos de higiene pessoal no município de João Pessoa/PB.

## **CAPÍTULO 2: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

A água corresponde a 75% da superfície terrestre e é um dos principais fatores responsáveis pela manutenção e criação de vida no planeta Terra.

Como grande aliada, a água desempenha um papel de extrema importância para saúde. Além de ser o principal elemento constitutivo do corpo humano, cerca de 70% a 75% de um corpo adulto, a água possui diversas outras finalidades, como: fonte para uso e consumo doméstico, para fabricação de produtos industriais, farmacêuticos, de higiene pessoal, alimentícios, agrícolas etc.

Para que a água desempenhe sua função com toda a sua potencialidade é necessário que ela esteja em condições ideais para uso e/ou consumo. Portanto, a água deve ser submetida a tratamentos que garantirão sua boa qualidade.

A água é considerada potável quando estiver dentro dos padrões físico-químicos e microbiológicos definidos conforme a Portaria MS nº 2914/2011.

### **2.1 Tratamento da água**

O tratamento de desinfecção da água tem como função principal reduzir a quantidade de microrganismos nocivos à saúde. Dessa forma, quando a água é tratada, reduz-se a possibilidade de transmissão de doenças e garante melhor qualidade de vida à população.

Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS, 2008), 28 mil pessoas morrem por ano no Brasil de doenças provocadas por água contaminada (AGÊNCIA ESTADO, 2008).

As principais doenças veiculadas pela água são causadas por: Vírus (ex: poliomielite, hepatite infecciosa), Bactérias (ex: febre tifóide, disenteria bacilar, leptospirose, cólera, gastroenterites), Protozoários (ex: disenteria amebiana, giardíase) e por Helminhos ou Vermes (esquistossomose, ancilostomíase e ascaridíase) (CASTRO, 2010).

Segundo a Companhia Municipal de Saneamento (COMUSA) [entre 2011 e 2013], a estação de tratamento de água é normalmente composta pelas seguintes etapas: coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção, fluoretação, reservação/distribuição, que segue:

- I. Coagulação/ Floculação: por serem etapas simultâneas e interdependentes, podem ser consideradas como uma única etapa. Nessa fase, há a formação de coágulos provenientes da ação do coagulante. A floculação que vem logo em seguida, consiste no agrupamento desses coágulos a fim de se tornarem partículas maiores, conhecidos como flocos.
- II. Decantação: os flocos apresentam massa específica maior que a da água e, portanto, se depositam no fundo dos tanques.
- III. Filtração: etapa em que as partículas mais finas e leves que não foram retidas nos decantadores são removidas da água.

As etapas de coagulação, floculação, decantação, filtração são consideradas como processo de clarificação da água. Apesar da água estar clarificada, ou seja, aparentemente pronta para uso ou consumo, ela ainda possui diversos microrganismos nocivos ao ser humano, que devem ser exterminados, já que são potenciais meios de transmissão de doenças.

- IV. Desinfecção: neste estágio acontece a inativação dos microrganismos patogênicos presentes na água capazes de causar doenças. A eliminação dos microrganismos é feita através da destruição da estrutura celular, inativação de enzimas e interferência no crescimento celular. Existem diversos tipos de agentes desinfetantes. Têm-se, por exemplo, os produtos à base de cloro: cloro gasoso, hipoclorito de sódio solução aquosa e hipoclorito de cálcio sólido. Além desses, têm-se, ainda, o gás ozônio e a radiação ultravioleta.
- V. Fluoretação: neste passo, ocorre aplicação de flúor em pequena quantidade a fim de reduzir a ocorrência de cárie dentária.

O tipo de tratamento que a água vai ser submetida dependerá do estado que ela se encontra.

## 2.2 Reagentes químicos

Segundo Daniel (2001), geralmente, os desinfetantes químicos são escolhidos para o tratamento da água. Eles são usados tanto como pré-desinfetantes como pós-desinfetantes, neste caso, como residual para manter a qualidade enquanto estiver na rede de distribuição. Os desinfetantes, de uma maneira geral, são aplicados a fim de controlar a veiculação de doenças hídricas e inativação dos organismos patogênicos presentes na água.

Apesar dos agentes químicos serem eficazes no tratamento da água, a interação desses agentes com a água tem gerado subprodutos nocivos ao usuário e ao meio ambiente. Esses

subprodutos têm sido formados devido a vários fatores, como o tipo de desinfetante usado, a qualidade da água, a sequência do tratamento e o tempo de contato.

Comumente, os desinfetantes são fortes oxidantes, que têm habilidade de controlar gosto e odor, remover ferro e manganês, reduzir a cor, controlar crescimento bacteriano nas redes de distribuição, aperfeiçoar a floculação, manter filtros mais limpos, desinfecionar as adutoras e oxidar amônia na proteção de membranas filtrantes.

No processo de inativação dos patogênicos, os agentes químicos agem na destruição da organização celular por ataque aos principais componentes da célula, interferindo no metabolismo energético, tornando as enzimas não funcionais, e biossíntese. Além destes, implica no crescimento, reduzindo a síntese de proteínas, ácidos nucleicos, coenzimas ou parede celular (DANIEL,2001; SILVEIRA, 2004).

### 2.2.1 Cloro

Geralmente, o cloro é utilizado como agente desinfetante químico nos tratamentos da água. Isto porque o cloro possui baixo custo, é eficaz como germicida contra vários microrganismos, permanece como residual até sua chegada aos pontos de consumo e é facilmente aplicado na água (AGUIAR, 2000).

O cloro é conhecido também por desempenhar papel de: oxidante, agindo na oxidação de ferro e manganês; eliminação do H<sub>2</sub>S; e controle de cor, odor, sabor e algas (ZARPELON; RODRIGUES, 2001).

De acordo com Furtado (2011), apesar do cloro ser um produto de boa acessibilidade, baixo custo e possuir um bom desempenho na sua função de desinfetante, esse elemento químico possui algumas deficiências. Por exemplo:

- Quando o cloro entra em contato com matéria orgânica, que possui ácidos fúlvicos e húmicos (restos de plantas e solos), reage produzindo os trihalometanos (THMs);
- A formação de ácidos haloacéticos (HAA5), que é reconhecido por desenvolver alguns tipos de câncer em animais de laboratório;
- Incapacidade perante a alguns microrganismos como os protozoários *Criptosporidium* (um dos principais agentes da diarreia infecciosa) e os cistos da *Giardia lamblia*.

De acordo com Zarpelon e Rodrigues(2001), os THMs são substâncias originadas da decomposição de matéria orgânica vegetal. São compostos estáveis não facilmente oxidáveis e não diretamente combustíveis, não inflamáveis. São formados a partir da combinação do cloro livre com os precursores orgânicos.

As propriedades dos THMs indicam que uma simples aeração só seria eficaz, para sua eliminação, apenas quando se tratasse de casos voláteis. Além disso, notou-se que depois de passar pela cloração, a decomposição dos THMs se torna altamente difícil, apresentando dificuldades a oxidação e até mesmo a ação do ozônio.

Assim como em qualquer reação, existem fatores que interferem no produto dos THMs (ZARPELON; RODRIGUES, 2001):

- Tempo: não há um tempo específico para a formação dos THMs. Pode ser em questão de minutos como de dias. Temperaturas e/ou pH altos, assim como, a presença de brometos, garantem uma reação mais rápida. É na rede de distribuição que ocorre a maior produção de THMs, pois é nela que o cloro reage com compostos orgânicos por mais tempo.
- Temperatura: temperatura alta é considerada ambiente hostil para a produção dos THMs. Há uma relação que diz que a cada 10°C no incremento da temperatura, a taxa de formação de THM duplica.
- pH: a produção de THM aumenta com o pH alto. A relação de incremento indica que a cada unidade do aumento do pH, a produção de THM triplica.
- Bromatos: o bromato influencia tanto na taxa de reação como na quantidade total de THM. Ele, ao participar da reação, sofre oxidação, produzindo bromo e ácido hipobromoso, e estes reagem com os compostos orgânicos. Dessa forma, entende-se que o bromato é um reagente de alto potencial na formação de THM.
- Dosagem e tipo de cloro: é natural a formação de subprodutos oriundos da reação dos agentes químicos com os compostos presentes na água. Logo, deve-se reduzir a quantidade dos compostos antes da aplicação dos desinfetantes, a fim de diminuir a possibilidade da formação de subprodutos.

Devido à poluição de mananciais, as águas têm apresentado uma probabilidade maior de desencadear doenças de diferentes manifestações.

A identificação, de compostos carcinogênicos nas águas de abastecimento, serviu para que entidades como a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA) iniciasse a regulamentação referente à quantificação da formação de subprodutos, tendo como foco inicial os trihalometanos. Atualmente, os níveis máximos permitidos para ácidos haloacéticos e trihalometanos são 0,06 e 0,08 mg.l<sup>-1</sup>, respectivamente (MOUDGAL; LIPSCOMB; BRUCE, 2000).

Microrganismos considerados resistentes à ação do cloro são aqueles que não conseguem ser desativados pela quantidade usual de cloro. Como o incremento na quantidade de cloro provocará alterações nas propriedades da água como o sabor e odor, além de aumentar as chances na formação de subprodutos, esses microrganismos acabam permanecendo ativos pós cloração (AGUIAR, 2000).

Por conta dessas descobertas, tem-se buscado outras alternativas que desempenhem a função de desinfetante sem provocar grandes impactos na qualidade da água.

As regulamentações de vários países, dentre eles Estados Unidos, Canadá e alguns europeus, adotaram medidas contra a ação do THMs e HAA5, incentivando o uso de outras tecnologias para efeito de desinfecção. Exemplos dessas tecnologias são: radiações ultravioletas, ozônio, ácido peracético, peróxido de hidrogênio, hipoclorito de cálcio, dióxido de cloro, entre outras.

A mudança da técnica de desinfecção não tem como objetivo eliminar o cloro como elemento participativo do tratamento da água, mas sim substituir o agente desinfetante e tornar o cloro como elemento residual da água. As vantagens e desvantagens do uso do cloro na desinfecção da água são mostrado no Quadro 1.

Quadro 1 - Principais vantagens e desvantagens no uso do cloro como agente desinfetante no tratamento da água

<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
1. Cloro residual pode ser monitorado	1. Produção de trihalometanos e outros subprodutos
2. Relativamente barato, visto que o custo tem aumentado com regulamentações implementadas	2. É necessário um longo tempo de contato quando comparado a outros desinfetantes químicos
3. Tecnologia bem estruturada e de fácil implantação.	3. A baixa doses, é menos efetivo na inativação de vírus, cistos e coliformes totais.
4. Auxilia no controle de odor, cor e sabor	4. Óxidos de ferro, magnésio e outros componentes inorgânicos consome o desinfetante
	5. Oxida vários componentes orgânicos que também consome o desinfetante
	6. Pode reduzir o pH se a alcalinidade da água desta for insuficiente

Fonte: METCALF; EDDY, 2004.

### 2.2.2 Ozônio

O ozônio ( $O_3$ ) é um gás instável e parcialmente solúvel em água. Quando o gás é comparado a outros agentes oxidantes, destaca-se pelo seu alto potencial de oxidação (2,07 mV) perdendo apenas para o Flúor (3,06 mV) (PRÁ et al., 2011).

O ozônio apresenta estrutura triatômica, conhecido por possuir uma forma alotrópica do oxigênio (LOURENÇÃO, 2009). Pode ser produzido através de uma descarga elétrica em meio a presença de oxigênio, logo, nos dias de tempestade, a produção do ozônio é intensa; ou pelo rompimento das moléculas de oxigênio ( $O_2$ ) devido à radiação ultravioleta, os átomos separados combinam-se individualmente com outras moléculas de oxigênio. É um gás que possui um odor distinto e sua estabilidade no ar é maior que na água, porém em ambos os casos é mantida por poucos minutos (METCALF; EDDY, 2004).

Pelo fato do ozônio não deixar resíduos tóxicos nos alimentos, ele é utilizado como agente desinfetante da água na Europa há mais de cem anos e na indústria de alimentos por

décadas (TORRES; FERREIRA; RÍMOLI<sup>1</sup>, 1996 apud AMARAL et al., 2003). A primeira aplicação do ozônio em grande escala no tratamento de água ocorreu em 1893 em Oudshoom, na Holanda (LAPOLLI et al.<sup>2</sup>, 2003 apud PRÁ et al., 2011). O ozônio também foi usado para desinfetar a água do Rio Reno depois da mesma ter passado pela sedimentação e filtração (JOHNSON<sup>3</sup>, 1975 apud LOURENÇÃO, 2009). Constata-se que até 1914, haviam pelo menos 49 estações de tratamento de água utilizando ozônio na Europa (SNATURAL, 1989 - 2011). No Brasil, o ozônio passou a ser alternativa aos métodos de pré-cloração e pré-aeração no tratamento de água a partir de 1983 (LAPOLLI<sup>4</sup> et al., 2003 apud PRÁ et al., 2011).

### 2.2.2.1 Características da atuação do ozônio

Quando o ozônio é submetido à temperatura ambiente e em baixas concentrações, ele se apresenta como um gás incolor. No entanto, quando é imposto a altas concentrações, torna-se um gás de cor azulada. O aumento da temperatura produz uma redução da solubilidade na água, tornando o gás menos estável. Percebe-se também que o aumento da temperatura não provoca grandes diferenças na taxa de desinfecção do ozônio, ou seja, sua potencialidade como agente desinfetante independe da temperatura (SILVEIRA, 2004).

A decomposição do ozônio ocorre de forma espontânea na água e forma radicais livres hidroxilas e OH (DANIEL, 2001).

Um pH alto favorece a decomposição do ozônio e a formação de diferentes tipos de compostos oxidantes com reatividades diferentes. Além da temperatura e do pH, a radiação ultravioleta ou a presença de catalisadores a base de paládio, manganês e óxido de níquel, assim como metais, óxidos de metais, hidróxidos e peróxidos aceleram a decomposição do ozônio (LAPOLLI<sup>5</sup> et al., 2003; LANGLAIS<sup>6</sup> et al., 1991 apud PRÁ et al., 2011).

Como o ozônio é um gás muito instável e reativo, não pode ser transportado. Dessa forma, é necessária a produção no local em que será utilizado (LIMA, 2013).

---

<sup>1</sup>TORRES, E.A.F.S; REGÊ FERREIRA, A.F; RÍMOLI, C. D. Estudo das propriedades desinfetantes do ozônio em alimentos. *Higiene Alimentar*, v.10, n.42, p.18–23, 1996.

<sup>2</sup>LAPOLLI, F. R.; SANTOS, L. F.; HÁSSEMER, M. E. N.; AISSE, M. M.; PIVELI, R. P. Desinfecção de efluentes sanitários por meio da ozonização. In: GONÇALVES, R. F. (Coord.). *Desinfecção de efluentes sanitários, remoção de organismos patogênicos e substâncias nocivas: aplicação para fins produtivos como agricultura, aquíicultura e hidropônica*. Vitória: PROSAB, 2003. p. 169-208.

<sup>3</sup>JOHNSON, J. D. *Disinfection Water and Wastewater*. By American Arbor Science Publishers, Inc. (1975).425 p.

<sup>4</sup>LAPOLLI; SANTOS; HÁSSEMER; AISSE; PIVELI, op. cit.

<sup>5</sup>LAPOLLI; SANTOS; HÁSSEMER; AISSE; PIVELI, op. cit.

<sup>6</sup>LANGLAIS, B.; RECKHOW, D. A.; BRINK, D. R. *Ozone in water treatment: application and engineering*. Chelsea: AWWARF and Lewis Publishers, 1991. 568 p.

Toda desinfecção gera subprodutos que são resultados da interação do agente desinfetante com os materiais orgânicos e inorgânicos presentes na água. No caso do ozônio, quando ele interage com a água que contém matéria orgânica natural, não há produção de compostos orgânicos halogenados. Porém, quando a água apresenta o íon brometo, ocorre a formação de subprodutos bromados tanto orgânicos como inorgânicos (USEPA, 1999).

Para atingir padrões de desinfecção desejáveis é necessária uma alta concentração de ozônio em fase aquosa. Logo, fatores que contribuem para sua decomposição são indesejáveis. Um exemplo é o aumento da temperatura que reduz a solubilidade do ozônio na água, porém não altera as taxas de desinfecção e oxidação (SILVEIRA, 2004).

A natureza do ozônio permite que ele consiga trabalhar com grupos funcionais orgânicos e organometálicos quebrando ligações duplas carbono - carbono e gerando subprodutos com menor peso molecular. Por exemplo, os metais de transição quando entram em contato com ozônio, alcançam um alto nível de oxidação, tornando-se menos solúveis na água, podendo assim, serem eliminados pelo processo de filtração (MONACO, 2006).

Um dos fatores que impede a atuação do ozônio é a presença da matéria orgânica. Esta reage facilmente com o ozônio produzindo obstáculos que dificultam a ação do ozônio contra os agentes patogênicos. Dessa forma, substâncias como ferro e manganês, gás sulfídrico e a turbidez, devido a presença de compostos orgânicos e inorgânicos incluindo os nitrogenados, podem interferir na eficiência da desinfecção, disputando com os microrganismos pelo ozônio disponível (MONACO, 2006).

#### 2.2.2.2 Associação Ozônio-Cloro

A combinação ozônio-cloro se faz necessária, pois mesmo que o ozônio possua alta eficiência no combate contra os microrganismos, ele não deixa residual. O desinfetante residual é de grande importância, pois após passar pelas Estações de Tratamento de Água (ETA), a água segue por tubulações que muitas vezes se encontram sujas, enferrujadas e contaminadas. Devido a isto, faz-se necessário de um desinfetante que impeça qualquer contaminação da água ao longo da rede de distribuição. Logo, o cloro age como desinfetante residual (MORAES, 2006).

As vantagens e desvantagens do uso do ozônio na desinfecção da água são mostrados no Quadro 2.

Quadro 2 - Principais vantagens e desvantagens no uso do ozônio como agente desinfetante no tratamento da água.

Vantagens	Desvantagens
1. Mais eficiente que o cloro na inativação da maioria dos vírus, cistos, oocistos.	1. Nenhum efeito residual
2. Tempo de contato é mais curto do que o do cloro.	2. Altamente corrosivo e tóxico
3. Requer menos espaço.	3. Relativamente caro
4. Propriedades biocidas não são influenciadas pelo pH.	4. Não pode ser transportado, deve ser produzido no local de consumo
	5. Oxida ferro, magnésio e outros componentes inorgânicos que consomem o desinfetante também
	6. Oxida vários componentes orgânicos que consome o desinfetante
	7. Altamente operacional e sensível à manutenção

Fonte: METCALF; EDDY, 2004

### 2.3 Reagente físico: Radiação Ultravioleta

Foi descoberta pelo físico alemão Johann Wilhelm Ritter em 1801 em Jena, quando associou o escurecimento dos sais de prata quando expostos a luz solar (PIMENTA, 2009).

Foi na Suíça e na Áustria, em 1955, que foram instaladas as primeiras unidades de tratamento de água com radiação ultravioleta (UV), e 30 anos depois, esses países possuíam aproximadamente 500 e 600 instalações, respectivamente (DANIEL, 2001).

Desde os anos 1990 que se usa a radiação UV para inativar microrganismos em água contaminada (BOLTON, 2000).

No Brasil, especificamente na Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, as pesquisas deram início em 1977 (CAMPOS; PIZZIRANI<sup>7</sup>, 1977; DANIEL<sup>8</sup>, 1993 apud DANIEL, 2001).

<sup>7</sup> DANIEL, L.A. (1993). Desinfecção de esgoto com radiação ultravioleta: fotorreativação e obtenção de parâmetros cinéticos. São Carlos, 164p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

<sup>8</sup> CAMPOS, J.R.; PIZZIRANI, J.A. (1977). Desinfecção com radiação ultravioleta. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA, 9., Belo Horizonte. 17p

### 2.3.1 Radiação UV

O uso da radiação ultravioleta tem sido considerado uma atitude inteligente para desinfecção da água.

A busca por adotar soluções alternativas ao uso do cloro tem como finalidade reduzir a produção do trihalometano e outros subprodutos com potencial cancerígeno (DANIEL, 2001).

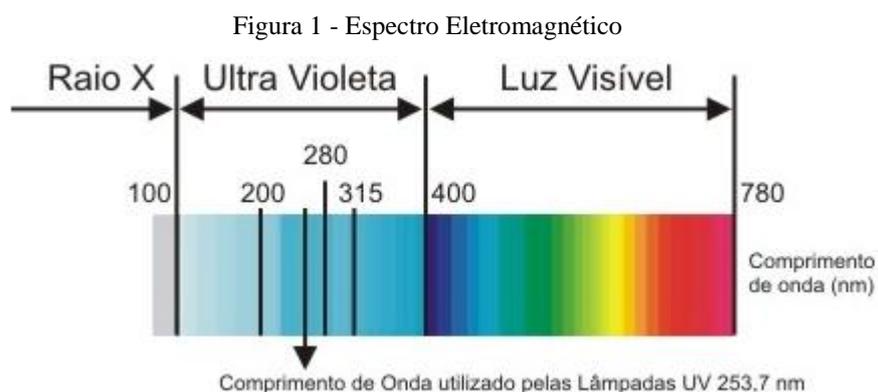
A radiação ultravioleta, sendo um agente físico, não altera as propriedades da água e atua atingindo os ácidos nucleicos dos microrganismos, gerando reações fotoquímicas que são responsáveis pela desativação de vírus e bactérias.

A radiação UV é uma radiação eletromagnética que possui um comprimento de onda de 100 a 400 nm (Figura 1). Sua frequência é maior que a luz visível. É chamada de ultravioleta pois sua frequência atinge ondas superiores àquelas correspondentes a cor violeta ao olho humano (NATURALTEC).

A classificação da radiação UV é dividida em 3 categorias:

- UVC (100-290 nm)
- UVB (290-320 nm)
- UVA (320-400 nm)

A maior parte da radiação proveniente do Sol é dissipada pela atmosfera e absorvida pelo ozônio, o qual capta os menores comprimentos de onda. A UVA é aquela que não é absorvida pelo ozônio, a que mais atinge a biosfera e a que penetra mais profundamente na pele, chegando a atingir a derme (PONTÉN et al., 1991).



Fonte: NaturalTec<sup>9</sup>

Ao decorrer do tempo, percebeu-se que a radiação UV tinha grandes responsabilidades negativas na saúde humana. Visto sua alta capacidade no rompimento da comunicação

<sup>9</sup> Disponível em: <<http://www.naturaltec.com.br/Desinfeccao-Ultravioleta-UV-Agua.html>>. Acessado em: 20 ago. 2016.

celular, envelhecimento cutâneo precoce, contribuição para o surgimento do câncer de pele e alteração do DNA e material genético, a radiação UV foi considerada um dos grandes inimigos do homem, principalmente pelo fato de sua incidência aumentar cada vez mais, devido ao alargamento do buraco da camada de ozônio (ARAÚJO; SOUZA, 2008).

Apesar da radiação UV assumir um papel de vilão, o homem através de pesquisas e testes desvenda o potencial que a radiação UV possui, e adentra no processo de tentativas buscando aproveitar toda capacidade a fim de criar utilidades benéficas para a sociedade.

Na procura de usar a radiação UV como uma ferramenta, surge a criação de lâmpadas UV, sondagem a arcos e lâmpadas a vapor de mercúrio. Estas têm ganhado espaço nos processos industriais, nos consultórios médicos e dentários.

A radiação ultravioleta é usada para desinfecção de água, de efluentes tratados, torre de resfriamento, aquicultura, aquários e lagos, água mineral engarrafada, piscinas, desinfecção de caldo e açúcar líquido, desinfecção de ar, superfícies e ar condicionados.

Nos Estados Unidos, Canadá e na Europa essa técnica tem-se propagado de forma mais rápida do que Brasil, onde apresenta-se em poucas unidades. Os estados do Paraná, Espírito Santo e Bahia possuem Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) que fazem uso da radiação UV para desinfecção do esgoto a fim de melhorar as condições para o descarte (FURTADO, 2011).

A radiação UV tem chamado atenção por não alterar o pH e outras propriedades físico-químicas da água. Além disso, é capaz de modificar o material genético do DNA dos microrganismos.

### 2.3.2 Dose da radiação UV

A eficiência da radiação UV absorvida pelos microrganismos está relacionada à dose de energia UV disposta, sendo a dose o produto entre a intensidade UV e o tempo de exposição à luz. Geralmente, a dose UV é expressa em  $\text{mJ}/\text{cm}^2$ ,  $\text{J}/\text{m}^2$  ou  $\mu\text{Ws}/\text{cm}^2$ . O tempo de exposição é determinado pelo tipo do reator e a vazão da água que passa pelo mesmo. Enquanto que a intensidade é relacionada aos parâmetros do equipamento, como o tipo da lâmpada e a qualidade da água (TROJAN, 2010).

Os cálculos para determinação da dose são bastante complexos, pois levam em consideração diversas variáveis que podem afetar a eficiência da radiação, como: a hidráulica, o misturador do reator, o tubo de quartzo de transmissão, o tipo de lâmpada, a qualidade da água, a taxa de fluxo da água etc. (TROJAN, 2010).

A determinação da dose correta é um passo bastante importante, visto que se a dose for dimensionada incorretamente, há possibilidade de ocorrer o inverso do esperado, ou seja, alguns microrganismos recuperam-se voltando a ativa (DANIEL, 2001).

O termo dose de radiação ultravioleta 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 (DANIEL, 2001).

Os fatores que determinam a dose são a intensidade de radiação UV e o tempo de exposição.

$$D = I * t$$

Sendo:

D: Dose de radiação ultravioleta (mW.s/cm<sup>2</sup>);

I: intensidade de radiação (mW/cm<sup>2</sup>);

t: tempo de exposição (s).

Os parâmetros podem variar e mesmo assim determinar a mesma dose, ou seja, pode-se adotar um método de inativação em curto intervalo de tempo e alta intensidade ou um tempo longo com baixa intensidade. Ambas as maneiras podem indicar a mesma razão de sobreviventes. A fração que representa o número de sobreviventes é descrita por: (DANIEL, 2001).

$$\frac{N}{N_0} = F(D)$$

Sendo:

N<sub>0</sub>: número de microrganismos antes da irradiação ultravioleta;

N: número de microrganismos depois da irradiação ultravioleta (organismos/100 ml);

F(D): função da dose.

A energia emitida é absorvida tanto pela água como por organismos suspensos na água. Para determinar a absorção da energia segue-se a lei de Beer-Lamberto (MOROWITZ<sup>10</sup>, 1950 apud DANIEL, 2001).

$$I = I_0 * e^{-\alpha x}$$

Sendo:

I: intensidade de radiação que passa através da camada de água (mW/cm<sup>2</sup>);

I<sub>0</sub>: intensidade da radiação emitida pela fonte (mW/cm<sup>2</sup>);

---

<sup>10</sup> MOROWITZ, H.J. (1950). Absorption effects in volume irradiation of microorganisms. Science, v.111, n.3, p.229-230.

x: espessura da camada de água exposta à radiação (cm);

$\alpha$ : coeficiente de absorção ( $\text{cm}^{-1}$ ).

Cada microrganismo responde de uma forma singular quando submetido a diferentes doses como pode-se observar na Tabela 1. Logo, procura-se uma média em que a dose da radiação UV consiga ser eficaz. Através de amostras de água contendo microrganismos submetidos a variadas doses UV, é levantada uma contagem de microrganismos presentes antes e depois da exposição. Com esses resultados, cria-se uma curva que corresponde ao comportamento de cada microrganismo às diferentes doses UV. A reação do microrganismo a exposição UV é medida através da sensibilidade à luz UV que é diferente para cada microrganismo (TROJAN, 2010).

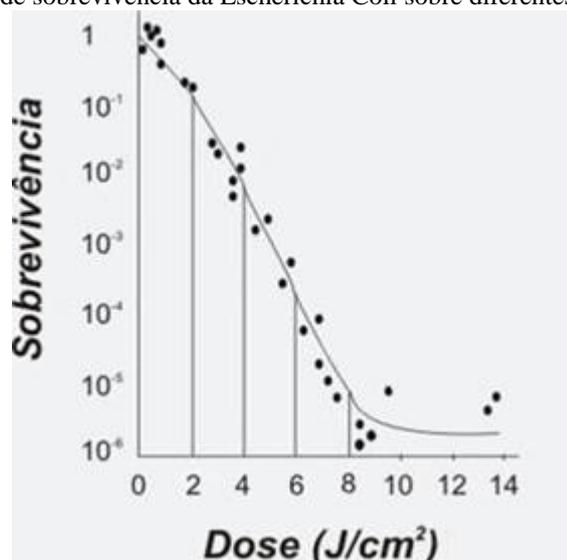
A curva de resposta à dose é um gráfico log, sendo inativação do organismo versus a taxa de dose UV aplicada, de maneira observada na Figura 2. As unidades de referência indicam que 1-log de inativação corresponde a uma redução de 90%; 2-log a uma redução de 99%; 3-log a uma redução de 99,9%, e assim por diante (TROJAN, 2010).

Tabela 1 - Dose requerida para inativação de patógenos.

Patógenos	Média Dose UV ( $\text{mJ}/\text{cm}^2$ ) requerida para inativação			
	1-log	2-log	3-log	4-log
Cryptosporidium parvum oocisto	3.0	4.9	6.4	10
Giardia lamblia cisto	NA	< 5	< 10	< 10
Giardia muris cisto	1.2	4.7	NA	NA
Vibrio cholerae	0.8	1.4	2.2	2.9
Escherichia coli O157: H7	1.5	2.8	4.1	5.6
Salmonella typhi	1.8 - 2.7	4.1 - 4.8	5.5 - 6.4	7.1 - 8.2
Salmonella enteritidis	5	7	9	10
Legionella pneumophila	3.1	5	6.9	9.4
Hepatite A vírus	4.1 - 5.5	8.2 - 14	12 - 22	16 - 30
Poliovírus Tipo 1	4 - 6	8.7 - 14	14 - 23	21 - 30
Rotavírus SA11	7.1 - 9.1	15 - 19	23 - 26	31 - 36

Fonte: USEPA (1999)

Figura 2 – Curva de sobrevivência da Escherichia Coli sobre diferentes dosagens UV.

Fonte: NaturalTec<sup>11</sup>

### 2.3.3 Lâmpadas Germicidas

O intervalo de comprimento de onda entre 254 e 285nm é considerado a faixa germicida de maior efeito, logo a faixa UVC é considerada a mais letal para a inativação dos microrganismos (BOLTON, 2000; DANIEL, 2001).

O aproveitamento da radiação UV se estende a 3 tipos de fontes disponíveis comercialmente: lâmpadas de deutério, xenônio e vapor de mercúrio. A mais utilizada, principalmente nas indústrias e laboratórios, é a de vapor de mercúrio. Esta possui maior estabilidade quando comparadas com a outras, apresenta baixo custo e facilidade de funcionamento, e garante boa eficiência energética, ou seja, é capaz de converter uma boa proporção de potência elétrica em radiação (CAVICCHIOLI, 2003).

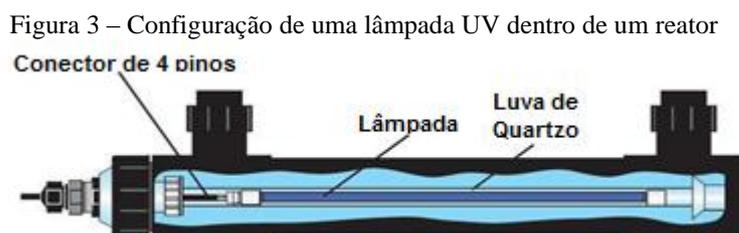
Geralmente, usam-se as lâmpadas de vapor de mercúrio como fonte artificial de desinfecção. Essas lâmpadas possuem um bulbo hermético de sílica ou quartzo, ambos transmissores de radiação ultravioleta, e nas extremidades há eletrodos de tungstênio com uma mistura de terra alcalina que facilita a formação de arco dentro da lâmpada. Dentro do bulbo é colocada uma pequena quantidade de mercúrio e gás inerte, comumente, o argônio. A diferença de potencial entre os eletrodos produz a excitação dos átomos de mercúrio que, ao retornarem ao estado de menor energia, emitem radiação ultravioleta (DANIEL, 2001).

O espectro de emissão depende da pressão dos gases no interior do bulbo. Devido a isto, a classificação das lâmpadas baseia-se nas diferenças de pressão, sendo classificadas em

<sup>11</sup>Disponível em: <<http://www.naturaltec.com.br/Desinfeccao-Ultravioleta-UV-Agua.html>>. Acessado em: 20 ago. 2016.

três tipos: lâmpadas de baixa pressão e baixa intensidade, baixa pressão e alta intensidade e média pressão e alta intensidade (METCALF; EDDY, 2004; CAVICCHIOLI; GUTZ, 2003).

As lâmpadas de baixa pressão e intensidade de vapor de mercúrio produzem uma radiação monocromática (composta por apenas uma cor) a um comprimento de onda de 254 nm e possuem uma pressão interna de 0.007 mm Hg. Elas são envolvidas por uma luva de quartzo a fim de evitar o contato direto da lâmpada com a água e manter a temperatura da lâmpada em torno de 40°C. A disposição de alguns componentes do reator UV são mostrados na Figura 3. Se a parede da lâmpada não for mantida a uma temperatura ótima de 40°C, parte do mercúrio se condensa, voltando ao estado líquido, o que diminui a quantidade de átomos de mercúrio para liberar fótons de UV. Assim, ocorre uma redução na produção UV. A vida útil da lâmpada de baixa pressão e intensidade varia de 9000 a 13000 horas. Estes valores dependem do número de ciclos por dia. Já a luva de quartzo possui uma vida útil em torno de 4 a 8 anos (METCALF; EDDY, 2004).



Fonte: Pentair<sup>12</sup>

As lâmpadas de baixa pressão e alta intensidade são semelhantes às de baixa pressão e baixa intensidade, as diferenças são: o uso da amálgama mercúrio-índio no lugar do mercúrio; as altas correntes, que geram intensidades mais altas; e por operarem sob pressão que variam entre 0,001 e 0,01 mmHg. A amálgama é usada nessas lâmpadas a fim de manter um nível de átomos de mercúrio constante, promover estabilidade na temperatura e vida longa a lâmpada (25% a mais do que as outras lâmpadas) (METCALF; EDDY, 2004).

A outra categoria de lâmpadas são as de média pressão e alta intensidade. Essas lâmpadas funcionam com temperatura em torno de 600 a 800°C, pressões de ordem de  $10^2$  a  $10^4$  mm Hg e geram radiação policromática (combinação de mais de uma cor monocromática). Cerca de 27 a 44% da energia total das lâmpadas de média pressão e alta intensidade correspondem ao comprimento de onda da UVC germicida. No entanto, as lâmpadas de média pressão produzem de 50 a 100 vezes mais energia do que as lâmpadas convencionais de baixa pressão e baixa intensidade (METCALF; EDDY, 2004).

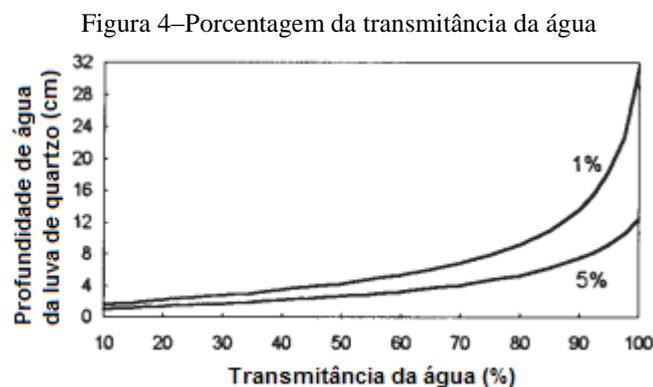
<sup>12</sup> Disponível em: <<http://pentairaes.com/smart-uv-sterilizer-replacement-parts.html>>. Acessado em: 25 set. 2016.

O processo de desinfecção terá sua eficiência dependente da qualidade da água. Por exemplo, quanto maior a porcentagem de transmitância da água, maior distância a radiação atingirá (CHEIS, 2013).

A transmitância está relacionada a transparência da água, portanto quanto mais transparente for a água, mais fácil será a transmissão da radiação pelo corpo d'água. Pode-se compreender essa relação observando a Figura 4.

A presença de partículas suspensas ou dissolvidas na água pode impedir ou reduzir o processo de inativação. Por exemplo, a presença de partículas com tamanho igual ou superior aos dos microrganismos dispersos, interferem fortemente no desempenho de inativação (AGUIAR, 2000; METCALF; EDDY, 2004).

As partículas podem estar dispersas ou associadas a outras partículas, e esta pode ser uma forma dos microrganismos se protegerem dos raios UV, fazendo das partículas um escudo. Por exemplo, as bactérias coliformes são usadas como indicadores da presença de outros organismos patogênicos e sua inativação é considerada um parâmetro de que outros organismos patogênicos também foram inativos. Contudo, os coliformes podem se associar com outras partículas de forma a se proteger completamente da radiação UV, resultando em uma concentração residual de bactérias (METCALF; EDDY, 2004).



Fonte: BOLTON, 2000

As características operacionais dos diferentes tipos de lâmpadas UV podem ser observadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Características operacionais das lâmpadas UV.

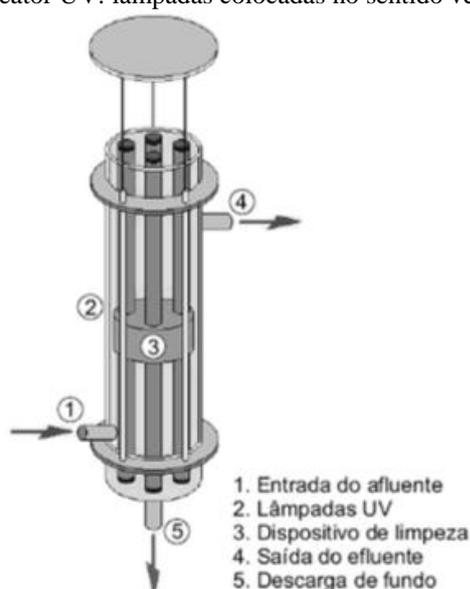
Item	Unidade	Tipo de lâmpada		
		Baixa pressão Baixa intensidade	Baixa pressão Alta intensidade	Média pressão Alta intensidade
Consumo de energia	W	70 - 100	200 – 500	-
	kW	-	1.2	2-5
Corrente	mA	350 - 550	Variável	Variável
Tensão	V	220	Variável	Variável
Eficiência	%	30 - 40	25 - 35	10 -12
Potência	W	25 - 27	60 - 400	-
Temperatura	°C	35 - 45	90 - 150	600 - 800
Pressão	mmHg	0.007	0.001 - 0.01	-
Comprimento	m	0.75 - 1.5	Variável	Variável
Diâmetro	mm	15 - 20	Variável	Variável

Fonte: METCALF; EDDY, 2004

### 2.3.4 Reator UV

Os sistemas de desinfecção UV podem operar em canais abertos ou condutos fechados. Porém, este trabalho dedica-se exclusivamente a operações em condutos fechados. A Figura 5 representa um conduto forçado no qual as lâmpadas UV são inseridas (METCALF; EDDY, 2004; WOLFF; BARROSO, 2009).

Figura 5–Reator UV: lâmpadas colocadas no sentido vertical



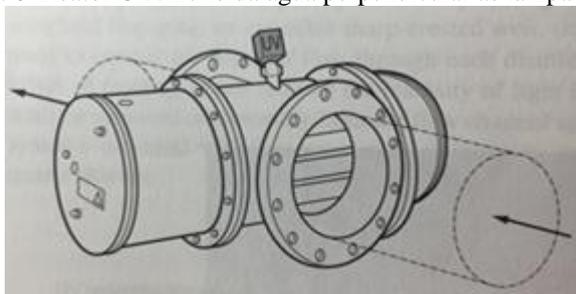
Fonte: GONÇALVES<sup>13</sup>, 2003 apud WOLFF; BARROSO, 2009

<sup>13</sup>GONÇALVES, R. F. (Coord.). Desinfecção de efluentes sanitários. Rio de Janeiro: Rima, ABES, 2003.

Segundo METCALF e EDDY (2004), o sistema de desinfecção UV pode ser analisado através de configurações diferentes:

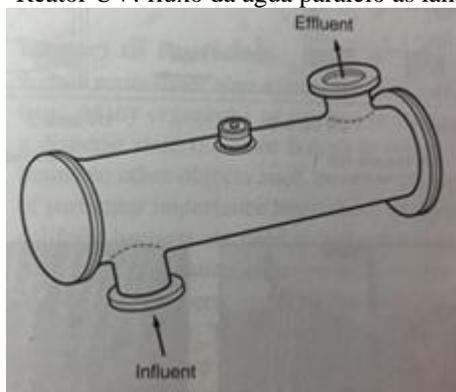
- a) Direção do fluxo da água em relação a posição das lâmpadas: tem-se que a direção do fluxo pode ser perpendicular ao posicionamento das lâmpadas UV (Figura 6) ou paralelo as lâmpadas (Figura 7).
- b) Número de lâmpadas que compõem o sistema: cada sistema de desinfecção UV possui uma quantidade de lâmpadas singular, pois alguns fatores influenciam, como características físicas do reator (ex. luva de quartzo), qualidade da água, capacidade de descarga da lâmpada etc.

Figura 6–Reator UV: fluxo da água perpendicular as lâmpadas UV



Fonte: METCALF; EDDY, 2004

Figura 7 - Reator UV: fluxo da água paralelo as lâmpadas UV



Fonte: METCALF; EDDY, 2004

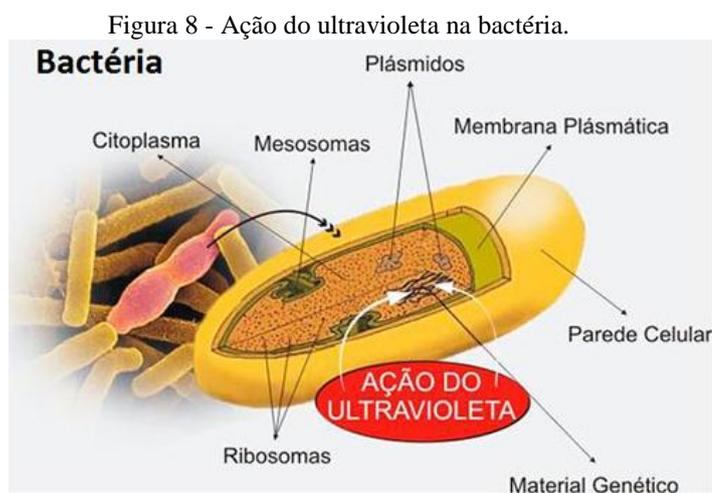
Um dos problemas encontrados no sistema de desinfecção por radiação UV é a redução do desempenho ou da inativação dos microrganismos devido à hidráulica do sistema. Os problemas hidráulicos mais comuns estão relacionados a ocorrência de curto-circuito ou zonas mortas, as quais reduzem o tempo médio de contato, levando a um uso ineficaz do reator UV (METCALF; EDDY, 2004).

### 2.3.5 Mecanismos de Inativação

Por ser um agente físico, a radiação UV inativa os microrganismos através de sua energia que causa alterações nos componentes moleculares essenciais a função da célula. Os raios UV rompem as estruturas do DNA e RNA atravessando as paredes celulares. Essa ação pode ser observada na Figura 8. Após o rompimento das paredes celulares, os raios UV reagem com os ácidos nucleicos e com outros componentes da célula prejudicando as atividades celulares ou causando a morte da mesma (USEPA, 1999).

A absorção da radiação ultravioleta por bases nitrogenadas forma produtos denominados dímeros. Estes são resultados da ligação entre as bases citosina, adenina e timina. A produção de dímeros comprova a influência que a radiação UV tem sobre o material genético e comprova a incapacidade de reprodução e contaminação do microrganismo após a absorção dos raios UV (DANIEL, 2001).

Em suma, os raios UV, quando emitidos, penetram na membrana celular dos microrganismos. Estes raios alcançam o DNA e alteram o material genético de forma que os microrganismos não consigam mais se reproduzir. Portanto, alguns fatores devem ser limitados, como: a turbidez da água (< 5 NTU), a temperatura, o teor de ferro (< 0.3 ppm), teor de manganês (< 0,05 ppm), pH (entre 6.5 e 9.5), ácido sulfídrico (<0,05 ppm) (NATURALTEC).



Fonte: NaturalTec<sup>14</sup>

### 2.3.6 Vantagens e desvantagens do uso da radiação ultravioleta

Assim como qualquer procedimento, a desinfecção através da radiação UV possui pontos positivos e negativos que devem ser analisados em tomadas de decisão.

<sup>14</sup> Disponível em: <<http://www.naturaltec.com.br/Desinfeccao-Ultravioleta-UV-Agua.html>>. Acesso em: 25 ago. 2016.

Em relação aos custos de operação, o insumo mais impactante é a energia elétrica. Porém o valor varia de acordo com sua função. Por exemplo, para água potável estima-se um custo que varia de \$0.50 a \$2.00 por 1000 m<sup>3</sup>. Para o tratamento de águas residuais, o custo varia entre \$3.00 a \$12.00 por 1000 m<sup>3</sup>. A maior absorvância e turbidez da água justificam a diferença dos valores. Além da energia elétrica, existem outros custos operacionais como a substituição da lâmpada e a limpeza da luva de quartzo, que podem duplicar os custos operacionais (BOLTON, 2000).

As vantagens e desvantagens do uso da radiação UV na desinfecção da água podem ser observadas no Quadro 3.

Quadro 3 - Principais vantagens e desvantagens no uso da radiação UV como agente desinfetante no tratamento da água.

<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
1. Eficaz para muitos vírus, bactérias e protozoários como Cryptosporidium e Giardia	1. A presença de matéria dissolvida ou em suspensão reduz a intensidade da radiação.
2. Não produz residual tóxico	2. Para o caso de redes de abastecimento, não produz nenhum efeito residual sendo necessária a aplicação de um.
3. Não altera a qualidade da água como pH, gosto, odor, cor, corrosividade, turvação	3. Design hidráulico do sistema é crítico.
4. Requer pouco espaço	4. A única forma de monitoramento das doses é através de medidas secundárias como leitura de sensores, transmitância, taxas de fluxos de água etc.
5. Sistema simples e de baixo custo de operação e manutenção.	5. Fornecimento de energia elétrica deve ser ininterrupto.
6. Rápido. São alcançadas doses efetivas de desinfecção em poucos segundos.	
7. Mais seguro quando comparado ao uso de desinfetantes químicos.	

Fonte: METCALF; EDDY, 2004

### 2.3.7 Exemplo de aplicação da desinfecção UV

A maior instalação de tratamento de água potável por desinfecção UV se encontra em Nova Iorque. Com capacidade de tratar 7,6 bilhões de litros por dia, esta instalação é responsável pela água potável de 8 milhões de pessoas da cidade de Nova Iorque (TROJAN, 2013).

A fonte de alimentação de água é a bacia hidrográfica Catskill/Delaware, localizada cerca de 161 km fora da cidade. Antes da instalação, a água não era filtrada e também não era

submetida a nenhuma forma contra os microrganismos nocivos. Isso era permitido pois a água da bacia era considerada de boa qualidade e pronta para uso. Porém em 2006, a USEPA estipulou uma regra que exigia que as unidades de fonte de águas superficiais que não eram filtradas, deviam adotar algum tratamento de forma a garantir a inativação do *Cryptosporidium*. Engenheiros pensaram em construir uma nova instalação que garantisse a filtração de 7.5 milhões de litros por dia. Porém, esta solução era bem mais cara do que as alternativas. Uma delas era o uso da radiação UV como agente desinfetante da água. A Trojan como uma das maiores empresas desenvolvedoras de soluções para tratamento da água através da radiação UV, propôs neste caso, o uso de uma lâmpada de baixa pressão, mas com alta capacidade de vazão. Dessa forma, o sistema minimizou os custos elétricos e maximizou a eficiência da desinfecção. Esse sistema permite a redução de 3log de microrganismos como *Cryptosporidium* e *Giardia*. O reator UV criado pela Trojan para a unidade de tratamento de água da cidade de Nova Iorque segue na Figura 9 (TROJAN, 2013).

Figura 9 – Foto ilustrativa do reator UV utilizado na unidade de tratamento de água da cidade de Nova Iorque



Fonte: TROJAN<sup>15</sup>, 2013

---

<sup>15</sup> Disponível em:

<[http://www.trojanuv.com/resources/trojanuv/casestudies/MDW/New\\_York\\_City\\_Case\\_Study\\_\\_\\_Drinking\\_Water.pdf](http://www.trojanuv.com/resources/trojanuv/casestudies/MDW/New_York_City_Case_Study___Drinking_Water.pdf)>. Acessado em: 4 out. 2016.

### CAPÍTULO 3: ESTUDO DE CASO

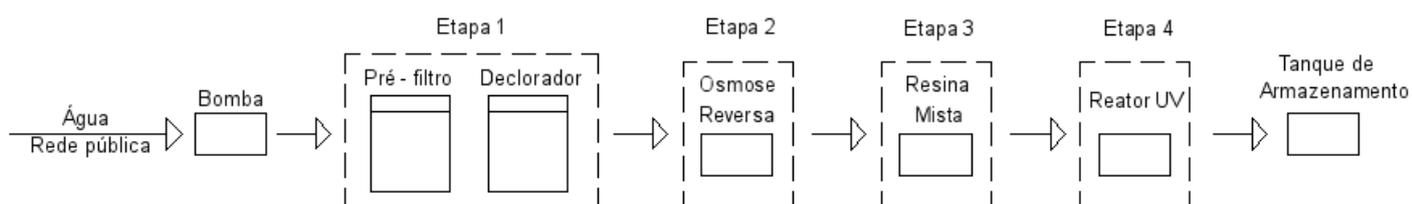
O estudo de caso é a aplicação da radiação ultravioleta no processo de desinfecção da água, fornecida pela rede pública, em uma indústria de produtos de higiene pessoal no município de João Pessoa/PB.

A água tratada é utilizada na produção de enxaguantes bucais. A fábrica possui um laboratório que analisa amostras da água a ser utilizada no processo. Isso proporciona o controle da qualidade dos produtos.

#### 3.1 Visão geral da unidade de tratamento de água da indústria

O sistema de tratamento de água da indústria possui a seguinte configuração:

Figura 10 - Esquema ilustrativo



Fonte: Elaborada pelo autor, 2016

#### ETAPA I - Pré-filtro e Decolorador:

Inicialmente, a água proveniente da rede pública passa por um sistema de bombeamento. Em seguida, segue para o pré filtro e o decolorador (Figura 11). O pré-filtro, ao receber partículas sólidas, retém o material, visando proteger a membrana presente no sistema de osmose (RUBIM, 2012). No decolorador é retirado todo teor de cloro contido na água. Durante o processo no decolorador, o carvão ativado é utilizado para absorver o cloro, os compostos orgânicos voláteis como os trihalometanos, odores e sabores desagradáveis (ACQUANOVA, 2014).

Figura 11 - Primeira etapa: Pré-filtro e declorador



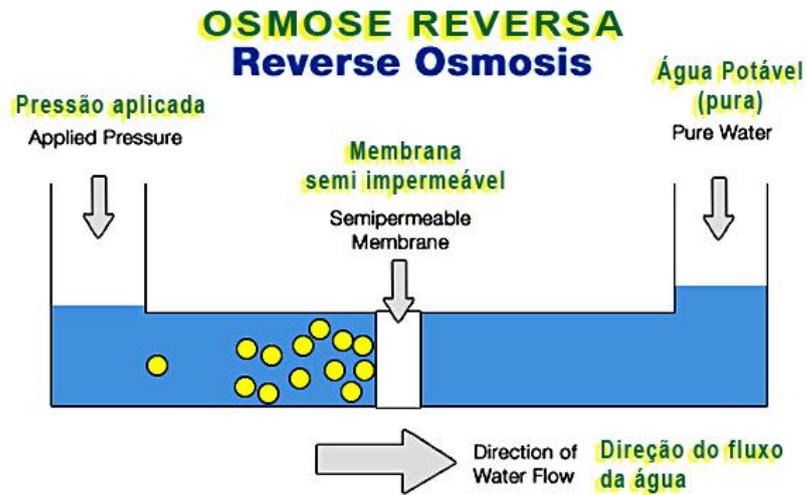
Fonte: Adquirida pelo autor, 2016

#### ETAPA II - Osmose reversa:

O processo da osmose é composto por soluções com diferentes concentrações de soluto e uma membrana semipermeável, localizada entre os compartimentos que contém as soluções. O objetivo do processo é atingir o equilíbrio osmótico, ou seja, a mesma concentração de soluto em ambas soluções. Só é possível porque a membrana semipermeável é formada por poros que permitem a passagem do solvente, mas não do soluto (VITAL, 2007).

No entanto, o processo de osmose reversa consiste na aplicação de uma força externa na solução mais concentrada, a fim de impulsionar a solução contra a membrana semipermeável, buscando reter o soluto e impor o movimento do solvente para o compartimento de baixa concentração (Figuras 12 e 13) (VITAL, 2007). Diferentemente do processo da osmose, a osmose reversa busca discernir as soluções através das concentrações de soluto, ou seja, o desequilíbrio osmótico.

Figura 12 - Processo de osmose reversa



Fonte: dUniverso<sup>16</sup>, 2013

Figura 13 – Segunda etapa: Osmose reversa (controle de permeado-solvente e do concentrado-soluto).



Fonte: Adquirida pelo autor, 2016

<sup>16</sup> Disponível em: <<http://www.duniverso.com.br/agua-potavel-vinda-do-mar-puri-sera-a-salvacao/>>. Acessado em: 12 nov. 2016.

### ETAPA III - Resina Mista:

Os íons metálicos presentes na água são partículas que podem causar danos a saúde. Por exemplo, o chumbo pode causar intoxicação através da absorção pelo sistema gastrointestinal e pelas vias respiratórias (MASSABNI, 2006). Portanto, esses íons devem ser minimizados. A indústria adota o uso da resina mista como método para a redução desses íons na água (Figura 14). As resinas mistas permitem as trocas iônicas que podem ser aniônicas e catiônicas. Para redução dos íons, ambas as trocas aniônicas e catiônicas devem acontecer. A resina retém os cátions presentes, enquanto íons de hidrogênio ( $H^+$ ) são liberados para água, assim como os ânions são trocados por íons hidróxido ( $OH^-$ ). Logo, os íons são trocados por íons de hidrogênio e hidróxidos que reagem para formar moléculas de água (METCALF; EDDY, 2004).

Figura 14–Terceira etapa: Resina mista

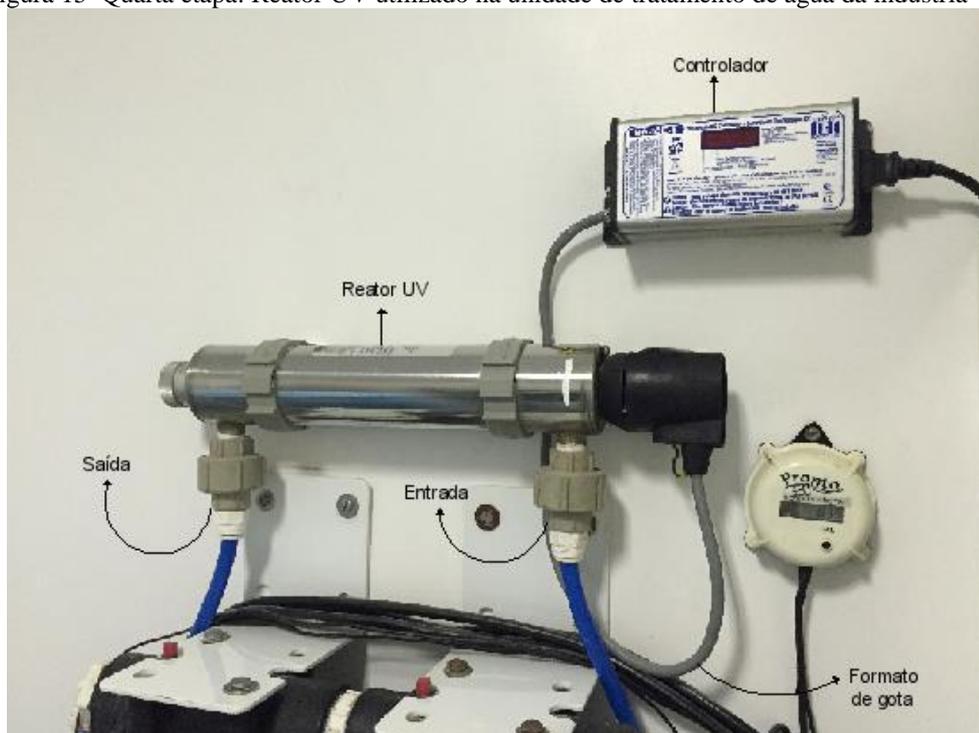


Fonte: Adquirida pelo autor, 2016

### ETAPA IV - Reator UV:

Dependendo da qualidade da água, após os procedimentos anteriores, a água ainda pode conter algum microrganismo que deve ser eliminado ou inativado. Dessa forma, a água é submetida a radiação ultravioleta (Figura 15). Nessa etapa, o material genético dos microrganismos é desativado, impedindo a reprodução.

Figura 15–Quarta etapa: Reator UV utilizado na unidade de tratamento de água da indústria

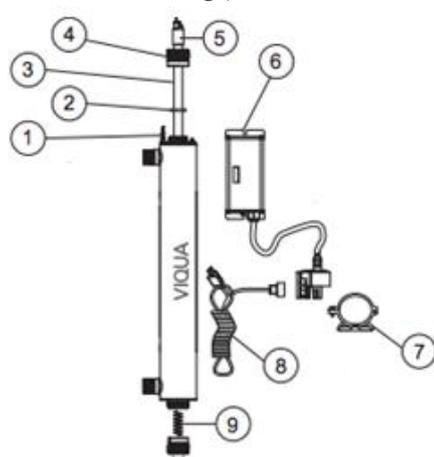


Fonte: Adquirida pelo autor, 2016

### 3.2 Descrição do sistema de desinfecção UV

A figura 16 mostra o detalhamento dos componentes do sistema de desinfecção UV utilizado na indústria.

Figura 16 - Componentes do sistema da desinfecção UV



Fonte: Manual do proprietário VIQUA<sup>17</sup>, 2007

1. Base conector da lâmpada;
2. Anel;
3. Luva de quartzo;
4. Porca de retenção;
5. Lâmpada UV;
6. Controlador (para modelos de 100-240V);
7. Suportes de montagem de 2.5”;
8. Cabos de substituição de alimentação;
9. Mola.

<sup>17</sup> Disponível em: < [http://www.purewaterproducts.com/img/docs/manuals/VIQUA\\_SQ\\_Series\\_Manual.pdf](http://www.purewaterproducts.com/img/docs/manuals/VIQUA_SQ_Series_Manual.pdf)>. Acessado em: 4 out. 2016.

Para que o sistema apresente um excelente desempenho é necessário que a água atenda alguns requisitos (Tabela 3).

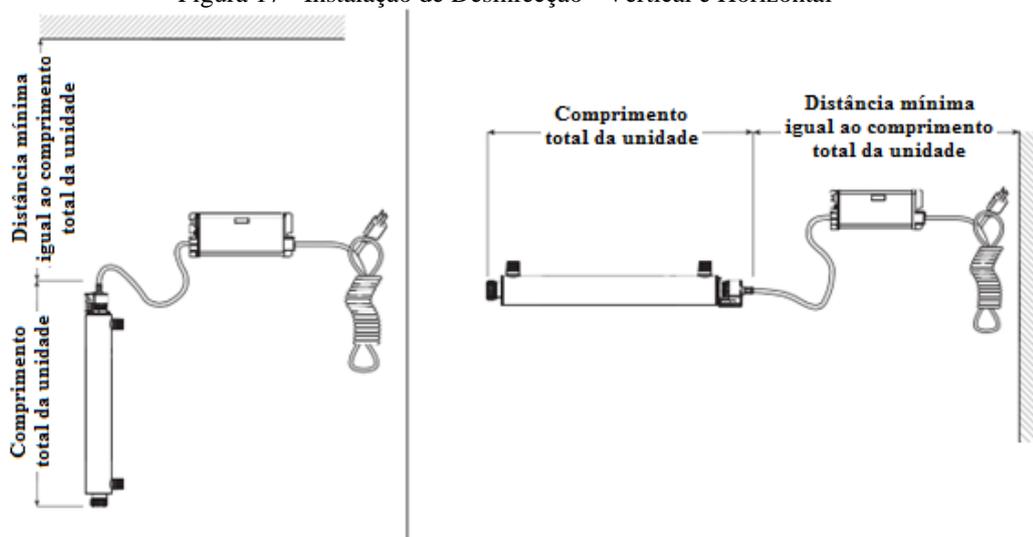
Tabela 3 - Níveis recomendados para instalação do reator UV

Qualidade da água e minerais	Nível
Ferro	< 0.3 ppm (0.3 mg/L)
Dureza	< 7 gpg (120 mg/L)
Turbidez	< 1 NTU
Manganês	< 0.05 ppm (0.05 mg/L)
Taninos <sup>18</sup>	< 0.1 ppm (0.1 mg/L)
Transmitância UV	> 75%

Fonte: Manual do proprietário VIQUA<sup>19</sup>, 2007

A instalação do sistema pode ser tanto na horizontal como na vertical (Figura 17). Contudo, recomenda-se que a instalação seja na vertical já que quando é disposto na horizontal, a água pode entrar em contato com os pinos e conector da lâmpada, danificando-os (Manual do proprietário VIQUA, 2007).

Figura 17 - Instalação de Desinfecção - Vertical e Horizontal



Fonte: Manual do proprietário VIQUA<sup>20</sup>, 2007

O Controlador deve ser colocado horizontalmente e, preferencialmente, acima do reator UV. É necessário, também, que o cabo que liga o reator UV ao Controlador esteja

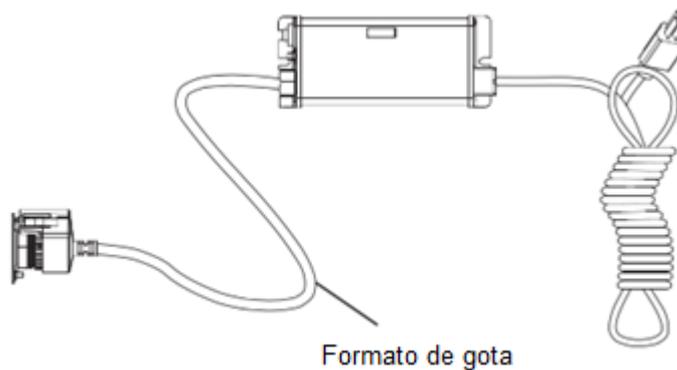
<sup>18</sup> (FEITOSA et al., 1999) Tanino é uma substância natural encontrada em plantas.

<sup>19</sup> Disponível em: <[http://www.purewaterproducts.com/img/docs/manuals/VIQUA\\_SQ\\_Series\\_Manual.pdf](http://www.purewaterproducts.com/img/docs/manuals/VIQUA_SQ_Series_Manual.pdf)>. Acessado em: 4 out. 2016.

<sup>20</sup> Disponível em: [http://www.purewaterproducts.com/img/docs/manuals/VIQUA\\_SQ\\_Series\\_Manual.pdf](http://www.purewaterproducts.com/img/docs/manuals/VIQUA_SQ_Series_Manual.pdf). Acessado em: 4 out. 2016.

disposto na forma de uma “gota” (Figura 18). Essas precauções devem ser tomadas de modo a evitar um vazamento de água que atinja o Controlador (Manual do proprietário VIQUA, 2007).

Figura 18–Detalhe da Instalação do reator UV(Controlador)



Fonte: Manual do proprietário VIQUA<sup>21</sup>, 2007

Na instalação deve-se checar se há vazamentos e se o Controlador está funcionando corretamente, ou seja, sem alarme. É necessário que a fonte de energia elétrica esteja desligada durante a manutenção do reator UV (Manual do proprietário VIQUA, 2007).

A lâmpada tem capacidade de funcionamento contínuo de 9000 horas. A substituição da lâmpada é feita ao final de sua vida útil, ou quando se fizer necessário, ou seja, sempre que houver um mau desempenho produzido por qualquer motivo (Manual do proprietário VIQUA, 2007).

Se a água possuir quaisquer minerais de dureza como o cálcio ou magnésio, ferro ou manganês, a luva de quartzo precisará passar por uma limpeza periódica (Manual do proprietário VIQUA, 2007).

Uma das principais ferramentas do sistema é o Controlador. Através dele, pode-se monitorar a vida útil do equipamento.

O Controlador possui um visor onde aparece algumas informações, como: vida útil restante da lâmpada (dias), dias de operação e a ocorrência de falha na lâmpada (Figura 19).

A configuração padrão do visor é mostrar os dias restantes de vida útil da lâmpada. A contagem é regressiva (365 dias a 1 dia). Ao chegar no dia 0, o visor mostrará um aviso A3 e emitirá um som (1 segundo ligado e 5 segundos desligado). O A3 é um alarme que indica a necessidade da troca da lâmpada, e pode ser adiado até 4 vezes após o primeiro aviso. Para isto, basta pressionar o interruptor: reset. Cada vez que o reset for acionado, o alarme é adiado

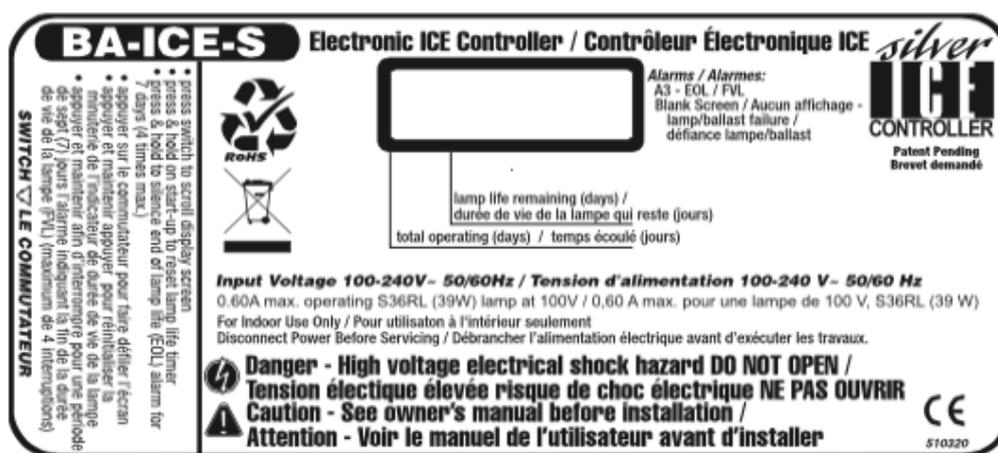
<sup>21</sup> Disponível em: <[http://www.purewaterproducts.com/img/docs/manuals/VIQUA\\_SQ\\_Series\\_Manual.pdf](http://www.purewaterproducts.com/img/docs/manuals/VIQUA_SQ_Series_Manual.pdf)>. Acessado em: 6 out. 2016.

por 7 dias. Assim que o adiamento final de 7 dias for atingido, o alarme só será silenciado com a substituição da lâmpada UV e se a reinicialização do contador de dias úteis da nova lâmpada for ativada.

O Controlador também tem a opção de mostrar o total de dias de operação. A informação fica no visor por 10 segundos, e depois retorna a exibição padrão.

Além dessas opções, o Controlador pode indicar falha da lâmpada, por exemplo, devido a ausência de corrente elétrica no sistema. Sendo assim, o visor do Controlador deixa de mostrar qualquer informação, passando a apresentar-se como um visor em branco. O Controlador só altera essa configuração após ter sido reparado.

Figura 19– Controlador do reator UV



Fonte: Manual do proprietário VIQUA<sup>22</sup>, 2007

Algumas causas podem reduzir a capacidade de desinfecção do sistema UV, tais como:

- A lâmpada UV ultrapassa seus dias de vida útil e não consegue fornecer um nível suficiente de desinfecção. Dessa forma, a lâmpada deve ser substituída por uma nova que seja do mesmo fabricante, tamanho e tipo da anterior;
- O depósito de minerais e sedimentos na luva de quartzo. Deve-se providenciar uma limpeza;
- A descontinuidade de tensão provoca uma tensão reduzida na lâmpada. O funcionamento na lâmpada volta ao normal quando a tensão for restabelecida.
- A qualidade da água a ser tratada mudou. Então, deve-se realizar periodicamente análises da água, para saber os reais parâmetros a serem tratados.

<sup>22</sup> Disponível em: <[http://www.purewaterproducts.com/img/docs/manuals/VIQUA\\_SQ\\_Series\\_Manual.pdf](http://www.purewaterproducts.com/img/docs/manuals/VIQUA_SQ_Series_Manual.pdf)>. Acessado em: 6 out. 2016.

### 3.3 Resultados das amostras

A portaria nº 2914/2011 do Ministério da Saúde trata de procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

Os Quadros 4 e 5 mostram os parâmetros utilizados para avaliar a qualidade e potabilidade da água.

Quadro 4–Parâmetros físico-químicos para controle da qualidade da água para consumo humano (Portaria MS nº 2914/11)

Testes	Especificações
pH	Entre 6,0 e 9,5
Cor Aparente	No máximo 15,0 UH
Turbidez	No máximo 5 UT
Cloro Residual Livre	0,2 - 2,0 mg/L
Sólidos Totais Dissolvidos	No máximo 1000 mg/L
Amônia (NH <sub>3</sub> )	No máximo 1,5 mg/L
Nitrito (NO <sub>2</sub> -)	No máximo 1,0 mg/L
Ferro Total (Fe)	No máximo 0,3 mg/L
Dureza em Cálcio (Ca <sup>2+</sup> )	----
Dureza em Magnésio (Mg <sup>2+</sup> )	----
Condutividade	----

Fonte: Portaria MS nº 2914/2011

Quadro 5–Parâmetros microbiológicos para controle da qualidade da água para consumo humano (Portaria MS nº 2914/2011)

Tipo de água	Parâmetro	VMP(Valor máx. permitido)
Consumo humano	<i>Escherichia Coli</i>	Ausência em 100 mL
	<i>Coliformes Totais</i>	Ausência em 100 mL

Fonte: Portaria MS nº 2914/2011

A partir da disponibilidade da indústria, pôde-se ter acesso aos resultados das análises realizadas em 3 amostras. O Quadro 6 mostra os resultados obtidos.

Quadro 6–Resultados das análises realizadas em amostras de águas coletadas na entrada e saída do Reator UV

<b>Data da coleta</b>	<b>Local de coleta</b>	<b>CMVT (Contagem de microrganismo viáveis totais)</b>	<b><i>Coliformes Totais</i></b>	<b><i>Escherichia Coli</i></b>	<b><i>Pseudomonas Aeruginosa</i></b>
09/09/16	Entrada do reator UV	Não houve crescimento nessa diluição	Ausente	Ausente	Ausente
	Saída do reator UV	Não houve crescimento nessa diluição	Ausente	Ausente	Ausente
23/09/16	Entrada do reator UV	> 100 (483 UFC)	Presente	Ausente	Ausente
	Saída do reator UV	Não houve crescimento nessa diluição	Ausente	Ausente	Ausente
04/10/16	Entrada do reator UV	>100 (500 UFC)	Presente	Ausente	Ausente
	Saída do reator UV	Não houve crescimento nessa diluição	Ausente	Ausente	Ausente

Fonte: Portaria MS nº 2914/2011

Através dos ensaios realizados, obteve-se a oportunidade de avaliar superficialmente o desempenho do reator UV utilizado na unidade de tratamento de água da indústria, visto que foram avaliadas apenas três amostras de água. A água apresentou-se contaminada por *Coliformes Totais* em duas das três amostras, antes de passar pelo reator UV. Após ser submetida à radiação ultravioleta, as bactérias tornaram-se inativas deixando de se reproduzir.

Os resultados de qualquer ensaio dependerão da qualidade da água a ser estudada e dos procedimentos de tratamento que antecedem a radiação UV. Logo, se a água fornecida

pela rede pública sofrer alguma recontaminação, poder-se-ia encontrar uma quantidade maior de microrganismos.

### 3.4 Atribuições ao estudo de caso

A fim de melhorar a eficiência do tratamento da água é importante levantarmos alguns pontos relevantes para um bom desempenho. A unidade de tratamento em estudo é uma pequena estação que supre as necessidades da indústria para manter seus níveis de produção. Através da visita ao local, teve-se a chance de conhecer o sistema e reconhecer alguns pontos que podem ser aprimorados.

Como visto, a lâmpada possui uma vida útil consideravelmente longa e aproximada de 9000 horas (375 dias) de uso contínuo. Segundo as informações da fábrica, a última substituição da lâmpada foi em torno de 3 anos. Uma nova substituição foi requisitada quando um lote contaminado foi detectado. Como as análises da água são realizadas quinzenalmente, a empresa não sabia ao certo o volume de água contaminado, e assim, descartou-se o lote por segurança. A substituição da lâmpada foi realizada por um dos funcionários da empresa.

Como consequência, foi percebido a falta de orientação da equipe sobre o equipamento de radiação UV. Como foi dito anteriormente, o reator UV possui um Controlador que possui um funciona com um dispositivo de segurança. Assim, o Controlador informa automaticamente a necessidade de substituição da lâmpada ou alguma falha no sistema.

Durante a visita, o Controlador indicava a mensagem A3. Esta mensagem de alerta indica que a lâmpada UV precisa ser substituída. Entretanto, a lâmpada UV havia sido trocada recentemente. Conclui-se que após a troca, não reiniciaram o sistema do Controlador, ou seja, a lâmpada em uso não estava sendo detectada pelo Controlador, logo a sua vida útil não estava sendo contabilizada. Provavelmente, algum erro do sistema UV só será notado quando as amostras de água indicarem alguma discordância com os resultados esperados.

Outro ponto importante é a vazão de funcionamento. Segundo o funcionário da empresa, a vazão de água é de  $6,11 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ . De acordo com o fabricante VIQUA, o reator UV em estudo suporta uma vazão de  $18,92 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ . Assim, observa-se que a indústria utiliza apenas 32,3% da capacidade do reator UV, algo que poderia aumentar a produção ou reduzir as horas de funcionamento do reator UV, gerando neste caso uma economia de energia elétrica.

### 3.5 Recomendações

Após visita a indústria, que utiliza a radiação UV como técnica de purificação da água, e análise do funcionamento do sistema, detectou-se alguns pontos que merecem ser aprimorados para melhor eficiência ou que possa gerar algum fim lucrativo a empresa. Dentre esses pontos, tem-se:

- Utilização do Controlador de forma correta, a fim de ter acesso ao tempo de vida útil da lâmpada, assim como qualquer falha do sistema;
- Posicionamento do reator UV na direção vertical, buscando impedir o contato da água com os pinos e o Controlador, caso haja um vazamento;
- Ganho de tempo: (neste caso, a indústria possui meta diária de produção) se aumentar a vazão de água que adentra ao reator, já que o sistema possui maior capacidade do que está sendo utilizado, a quantidade de horas trabalhadas será menor;
- Acréscimo de produção: (neste caso, a indústria tem como meta horas de produção) se a empresa optar por trabalhar com a capacidade de vazão máxima do sistema, a produção diária será maior.

## CAPÍTULO 4: CONSIDERAÇÕES FINAIS

A ideia desse trabalho foi definida a fim de apresentar, conceituar e expandir o conhecimento sobre a técnica avançada de tratamento de água através do uso da radiação ultravioleta.

O sistema de desinfecção UV, por fazer uso de um agente físico, é considerado como uma tecnologia limpa pois não altera as propriedades da água, como também não gera subprodutos nocivos à saúde humana.

No entanto, diversas variáveis podem interferir na eficiência do sistema, como o tipo de lâmpadas, a dose utilizada, o tempo de exposição dos microrganismos à radiação UV, a hidráulica dos reatores UV, a qualidade da água a ser tratada e a manutenção do sistema.

Através da disponibilidade da indústria, teve-se a oportunidade de analisar 3 amostras distintas de água e comparar os parâmetros microbiológicos antes e depois do reator UV. Isto permitiu confirmar a eficiência do sistema, pois após a passagem pelo reator UV houve um controle dos microrganismos viáveis nas amostras, assim como os *Coliformes Totais* tornaram-se inativos e deixaram de se reproduzir.

Assim, conclui-se que a radiação UV é uma alternativa bastante viável para a desinfecção da água. O seu grande diferencial, capacidade de inativar e impedir a reprodução de microrganismos sem gerar subprodutos e modificar a qualidade da água, faz com que ela esteja a frente de outras técnicas. Mesmo que as demais técnicas de tratamento sejam eficientes em alguns aspectos, elas não possuem a capacidade de inativação dos microrganismos a baixas doses, geram subprodutos e alteram as propriedades da água. O sistema de desinfecção UV é simples pois necessita de pouco espaço e os custos de operação e manutenção são baixos. Além disso, o sistema de desinfecção UV não apresenta muitas falhas e quando possui, um alerta automático possibilita o reparo imediatamente, sem prejudicar a eficiência do sistema.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACQUANOVA. **Decloradores de água, 2014.** Disponível em: <<http://www.acquanova.com.br/produtos/decloradores-de-agua/>>. Acessado em: 10 out. 2016.
- AGÊNCIA ESTADO. OMS: água contaminada mata 28 mil por ano no País. **G1 - O portal de notícias do globo**, 30 jun. 2008. Disponível em: <<http://g1.globo.com/Noticias/Brasil/0,,MUL629327-5598,00-oms+agua+contaminada+mata+mil+por+ano+no+pais.html>>. Acesso em: 6 nov. 2016.
- AGUIAR, A. M. S. **Avaliação do emprego da radiação ultravioleta na desinfecção de águas com cor e turbidez moderada**, 2000. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2000.
- AMARAL, L. A.; CARDOSO, C. C.; VEIGA, S. M. O. M.; NASCIMENTO, L. C.; FIORINI, J. E. Avaliação microbiológica de um processo de sanificação de galões de água com a utilização do ozônio. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.13, 2003.
- BOLTON, J. R. **UV Disinfection: An Overview of its Application and Cost Effectiveness for Water and Wastewater Treatment.** A technical symposium, Costa Mesa, CA. 2000.
- CARDOSO, M. **Radiação Ultravioleta [2006-2016]**. Disponível em: <<http://www.infoescola.com/fisica/radiacao-ultravioleta/>>. Acessado em: 15 ago. 2016.
- CASTRO, M. A. **Importância do Tratamento de Água ETA 006 Saneatins**, Faculdade Católica de Tocantins, Palmas, 2010.
- CAVICCHIOLI, A.; GUTZ, I. G. R. **O uso de radiação ultravioleta para o pré-tratamento de amostras em análise**, Instituto de Química, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-40422003000600022](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422003000600022)>. Acesso em: 21 set. 2016.
- CHEIS, D. Desinfecção de água e efluentes com raios efluentes. **Revista TAE**, 13. ed., jun. 2013. Disponível em <<http://www.revistatae.com.br/noticiaInt.asp?id=6102>>. Acesso em: 5 set. 2016.
- COMUSA. Serviço de Água e Esgoto de Novo Hamburgo, **Tratamento de Água**, [2011 - 2013?], Disponível em: <<http://www.comusa.rs.gov.br/index.php/saneamento/tratamentoagua>>. Acesso em: 11 out. 2016.

- DANIEL, L. A. **Processos de Desinfecção e Desinfetantes Alternativos na Produção de Água Potável**. Projeto Prosab, Rio de Janeiro: Rima/ABES, 2001.
- DECICINO, R. **Água potável: Apenas 3% das águas são doces**, 2007. Disponível em: <<http://educacao.uol.com.br/disciplinas/geografia/agua-potavel-apenas-3-das-aguas-sao-doces.htm>>. Acessado em: 14 ago. 2016.
- FEITOSA, T.; COSTA, T. S. A.; GARRITI, D. S.; LIMA, L.; FREIRE, S.; ABREU, F. A. P. Avaliação de Metodologias para determinação de taninos no suco de caju. **Boletim do Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos**, Paraná, v. 17, n. 2, 1999.
- FURTADO, M. **Desinfecção - Alternativas ao cloro melhoram qualidade da água, com segurança**, 2011. Disponível em: <<http://www.quimica.com.br/desinfeccao-alternativas-ao-cloro-melhoram-qualidade-da-agua-com-seguranca/>>. Acesso em: 14 set. 2016.
- LIMA, P. **Tecnologias para desinfecção de água e esgotos: ozonização**, 2013. Disponível em: <<http://boaspraticasnet.com.br/?p=2628>>. Acesso em: 7 nov. 2016.
- LOURENÇÃO, J. **Avaliação da Resistência de Microrganismos Patogênicos à Desinfecção Sequencial com Ozônio-Radiação Ultravioleta e Cloro-Radiação ultravioleta**, São Carlos, 2009.
- MASSABNI, A. C. **Os metais e a saúde humana**. Química – Araraquara - UNESP, 2006. Disponível em: <[http://www.crq4.org.br/quimica\\_viva\\_\\_os\\_metais\\_e\\_a\\_saude\\_humana](http://www.crq4.org.br/quimica_viva__os_metais_e_a_saude_humana)> Acesso: 19 Nov. 2016
- METCALF & EDDY. **Engenharia de tratamento e reuso de águas residuais**, 2004. 4 ed. Nova Iorque: McGraw-Hill, 2013. 1820 p.
- MEYER, S. T. **O Uso de Cloro na Desinfecção de Águas, a Formação de Trihalometanos e os Riscos Potenciais à Saúde Pública**. Caderno Saúde Pública, Rio de Janeiro, 1994. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/csp/v10n1/v10n1a11.pdf>>. Acesso: 25 Out. 2016.
- MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Análise de indicadores relacionados à água para consumo humano e doenças de veiculação hídrica no Brasil, ano 2013, utilizando a metodologia da matriz de indicadores da Organização Mundial da Saúde (OMS)**. Disponível em <<http://u.saude.gov.br/images/pdf/2015/marco/10/analise-indicadores-agua-10mar15-web.pdf>>. Acesso: 30 out. 2016.

- **MINISTÉRIO DA SAÚDE. Portaria N° 2914**, Procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, 2011. Disponível em: <<http://www.saude.mg.gov.br/images/documentos/PORTARIA%20No-202.914,%20DE%2012%20DE%20DEZEMBRO%20DE%202011.pdf>>. Acessado em: 7 out. 2016.
- **MIRANDA, E. Água na natureza, na vida e no coração dos homens**. Campinas, 2004. Disponível em: <<http://www.meioambientenews.com.br/conteudo.ler.php?q%5B1%7Cconteudo.idcategoria%5D=27&id=215>>. Acesso em: 15 ago. 2016.
- **MONACO, P. B. Inativação de Indicadores Patogênicos em Sistemas Combinados de Tratamento e Pré-Desinfecção de Esgoto Sanitário**, 2006. Tese (Doutorado em Engenharia Civil na área de Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.
- **MORAES, R. Água poderá ser tratada sem cloro**, São Carlos, SP. 2006. Disponível em: <<http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=010125060524#.WCFdyeErKYU>>. Acesso em: 11 out. 2016.
- **MOUDGAL, C.; LIPSCOMB, J.; BRUCE, R.** Potential health effects of drinking water disinfection by-products using quanapudtitative structure toxicity relationship. *Toxicology*, v. 147, p. 109-131, 2000.
- **NATURALTEC. Desinfecção: Radiação UV e Ozônio**. Disponível em: <<http://www.naturaltec.com.br/Desinfeccao-Ultravioleta-UV-Agua.html>>. Acessado em: 20 ago. 2016.
- **OLIC, B. O.** A questão da água no mundo e no Brasil. **Revista Pangea - Quinzenário de Política, Economia e Cultura**, 2001. Disponível em: <[http://www.clubemundo.com.br/pages/revistapangea/show\\_news.asp?n=71&ed=4](http://www.clubemundo.com.br/pages/revistapangea/show_news.asp?n=71&ed=4)>. Acesso em: 6 out. 2016.
- **PIMENTA, M. Da pele morena ao branco total**, Departamento de Física, Universidade Federal de Minas Gerais. 2009. Disponível em: <<http://www.educacaopublica.rj.gov.br/biblioteca/fisica/0009.html>>. Acessado em: 10 out. 2016.
- **PONTÉN, J.; BRASH, D.; RUDOLPH, J. A.; SIMON, J. A.; LIN, A.; MCKENNA, G. J.; BADEN, H. P.; HALPERIN, A. P.** **A role for sunlight in skin cancer: UV-induced p53 mutations in squamous cell carcinoma**, 1991.
- **PRÁ, I.; SILVA, S. B.; LUVIELMO, M. M.; GEYER, M. C.** **Potencialidades do uso do ozônio no processamento de alimentos**, 2011 - Semina: Ciências Agrárias, Londrina, v.32, p. 659-682, 2011.

- RUBIM, C. Um pré-filtro adequado para cada aplicação. **Revista TAE**, 9. ed., out. 2012. Disponível em < <http://www.revistatae.com.br/artigos.asp?id=111&fase=c>>. Acesso em: 10 out. 2016.
- SILVEIRA, I. C. T. **Cloro e Ozônio Aplicados à Desinfecção de Efluente Hospitalar em Contatores Biológicos Rotatório, com Avaliação de Efeitos Tóxicos em *Daphnis Similis***, 2004. Tese (Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal de Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.
- SNATURAL, **Tratamento da água com ozônio** [1989 - 2011?]. Disponível em: < <http://www.snatural.com.br/Tratamento-Agua-Ozonio.html> >. Acessado em: 11 de out. 2016.
- SOUZA, S. O.; ARAÚJO, T. S. **Protetores solares e os efeitos da radiação ultravioleta**. Scientia plena. Sergipe, v. 4, n. 11, 2008. Disponível em: <[https://www.raaz.com.br/media/academico/artigo/01\\_01\\_08\\_protetoresolar\\_c\\_eosolar.pdf](https://www.raaz.com.br/media/academico/artigo/01_01_08_protetoresolar_c_eosolar.pdf)>. Acessado em: 5 set. 2016.
- TROJAN. **UV DISINFECTION Multi-Barrier Strategy with UV**, 2010. Disponível em: <[http://www.trojanuv.com/resources/trojanuv/casestudies/MDW/Introduction\\_to\\_UV\\_Disinfection\\_for\\_Drinking\\_Water\\_\\_European\\_Focus\\_.pdf](http://www.trojanuv.com/resources/trojanuv/casestudies/MDW/Introduction_to_UV_Disinfection_for_Drinking_Water__European_Focus_.pdf)>. Acessado em: 11 out. 2016.
- TROJAN. **UV Disinfection - NEW YORK CITY Drinking Water Facilities**, [2013?]. Disponível em: <[http://www.trojanuv.com/resources/trojanuv/casestudies/MDW/New\\_York\\_City\\_Case\\_Study\\_\\_Drinking\\_Water.pdf](http://www.trojanuv.com/resources/trojanuv/casestudies/MDW/New_York_City_Case_Study__Drinking_Water.pdf)>. Acessado em: 11 out. 2016.
- USEPA. **Alternative desinfetante and oxidants**. Guidance Manual, EPA 815-R-99-014. cap.8, p.8,1 - 8.25, 1999.
- VIQUA. **Owner's Manual**. Disponível em: <[http://www.purewaterproducts.com/img/docs/manuals/VIQUA\\_SQ\\_Series\\_Manual.pdf](http://www.purewaterproducts.com/img/docs/manuals/VIQUA_SQ_Series_Manual.pdf)>. Acessado em: 4 out. 2016.
- VITAL, P. A. K. **Aplicação de Osmose Reversa na Produção de Águas Envasadas - Uma revisão**, 2007. Tese (Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos) - Centro de Excelência em Turismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2007.
- WOLFF, D. B.; BARROSO, L. B. **Radiação ultravioleta para desinfecção de água** - Ciências Naturais e Tecnológicas, S. Maria, v.10, 2009.
- ZARPELON, A.; RODRIGUES, E. M. Os Trihalometanos na água de consumo humano. **Revista Técnica da Sanepar - Sanare**, [2001?]. Disponível em <<http://www.sanepar.com.br/sanepar/sanare/v17/TRIHALOMETANOS.htm>>. Acesso em: 10 out. 2016.