

REVIEW - ULTRAVIOLET LIGHT AND ULTRASOUND

REVIEW – LUZ ULTRAVIOLETA E ULTRASOM

Part 1 - ULTRAVIOLET LIGHT

Parte 1 - LUZ ULTRAVIOLETA

1- Introduction

1- Introdução

2- UV light leaves no residue

2- A luz UV não deixa residual

3- The consumption of CRL (Free Residual Chlorine) by UV light

3- O consumo de CRL (Cloro Residual Livre) pela luz UV

4- The energy required of UV light for inactivation of some organisms

4- A energia necessária de luz UV para inativação de alguns organismos

5- The contact time required for exposure to UV light to eliminate some organisms

5- O tempo de contato necessário de exposição a luz uv para eliminação de alguns organismos

6- Conclusion based on scientific publications on UV for use in swimming pool water

6- Conclusão baseada nas publicações científicas sobre UV para utilização em águas de piscinas

Part 2 – ULTRASOUND

Parte 2 – ULTRASSOM

I- Introduction

I- Introdução

II- Disinfection

II- A Desinfecção

III- Ultrasound and disinfection capacity

III- O ultrassom e a capacidade de desinfecção

REVIEW – LUZ ULTRAVIOLETA E ULTRASOM

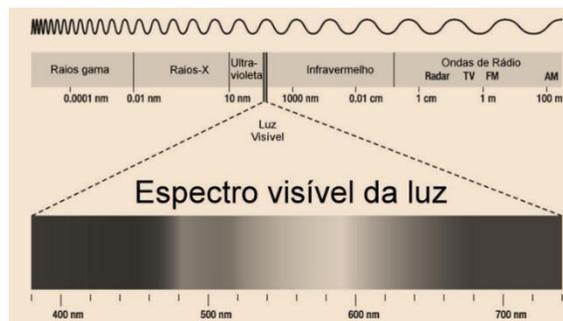
Parte 1 - LUZ ULTRAVIOLETA

1- Introdução

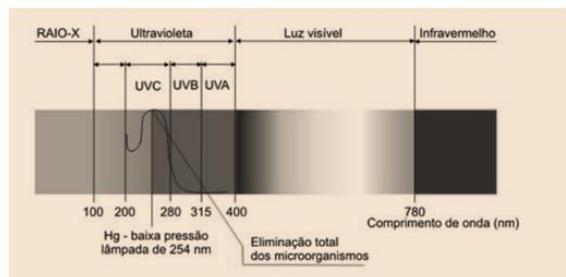
A luz ultravioleta (UV) é a radiação eletromagnética ou os raios ultravioleta com um comprimento de onda menor que a da luz visível e maior que a dos raios X, de 380 nm a 1 nm. O nome significa *mais alta que* (além do) *violeta* (do latim *ultra*), pelo fato de que o violeta é a cor visível com comprimento de onda mais curto e maior frequência (OKUNO, VILELA, 2005).

Maxwell mostrou que a luz é uma componente do chamado **espectro eletromagnético**, dentro desse espectro existe a faixa da luz ultravioleta (UV).

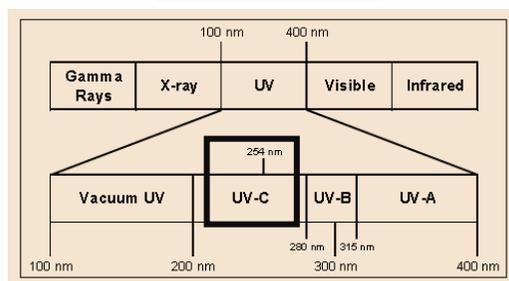
Unidade de Comprimento de Luz → nanômetro - nm



Fonte: CARVALHO, 2022.



Fonte: LANZA, 2016.



Fonte: USEPA, 2006.

O espectro UV é dividido em quatro regiões:

UV vácuo (100 a 200 nanômetros - nm)

UV-C (100 a 280 nm)

UV-B (280 a 315 nm)

UV-A (315 a 400 nm)

Fonte: MEULEMANS (1986) apud USEP, 2006.

Existe outra proposta de subdivisão em regiões, a radiação UV pode ser subdividida em UV próximo (comprimento de onda de 380 até 200 nm - mais próximo da luz visível), UV distante (de 200 até 10 nm) e UV extremo (de 1 a 31 nm). No que se refere aos efeitos à saúde humana e ao meio ambiente, classifica-se como UVA (400 – 320 nm, também chamada de luz negra ou onda longa), UVB (320–280 nm, também chamada de onda média) e UVC (280 – 100 nm, também chamada de UV curta ou "germicida"). A maior parte da radiação UV emitida pelo sol é absorvida pela atmosfera terrestre. A quase totalidade (99%) dos raios ultravioleta que efetivamente chegam a superfície da Terra é do tipo UV-A. A radiação UV-B é parcialmente absorvida pelo ozônio da atmosfera e sua parcela que chega à Terra é responsável por danos à pele. Já a radiação UV-C é totalmente absorvida pelo oxigênio e o ozônio da atmosfera. As faixas de radiação não são exatas. Como exemplo, o UVA começa em torno de 410 nm e termina em 315 nm. O UVB começa em 330 nm e termina em 270 nm aproximadamente. Os picos das faixas estão em suas médias (OKUNO, VILELA, 2005).

O intervalo de comprimento de onda compreendido entre 245 nm e 285 nm foi considerado a faixa germicida ótima para a inativação de microrganismos, estando, portanto, inserido na faixa da radiação UV-C

As lâmpadas de baixa e média pressão estão disponíveis para a desinfecção. As de baixa pressão emitem energia em um comprimento de onda de **253,7 nm (254 nm)**, enquanto as de média pressão variam de 180 a 1370 nm.

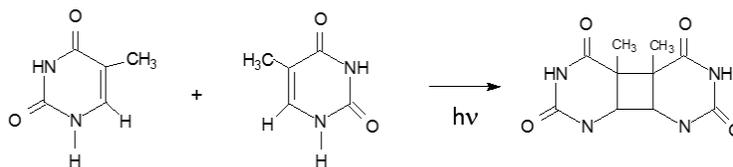
É muito importante ressaltar que ao contrário dos desinfetantes químicos (derivados clorados e bromados), **A RADIAÇÃO UV NÃO DEIXA RESIDUAL que possa ser monitorado para determinar dose de UV e qual a quantidade é necessária para inativação do organismo.**

A dose de UV depende da intensidade UV (medida por sensores UV), da taxa de transmissão luz UV em função do fluxo de água e da transmitância UV (UVT), que é a porcentagem de luz que passa através do meio.

A relação entre o que é requerido para inativação e a dose de UV deve ser estabelecida e **depois monitorada in locu no tratamento de água para garantir uma desinfecção suficiente de agentes patogênicos microbianos** (USEPA, 2006).

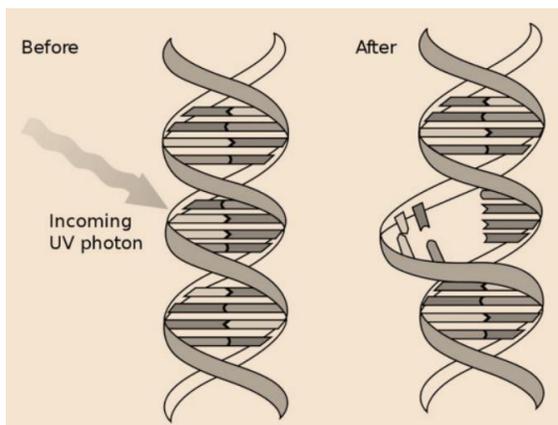
Além da utilização em águas de piscina, a luz ultravioleta também tem sido usada para a redução de microrganismos de áreas de processamento, laboratórios, câmaras de repicagens para microbiologia e em plástico para embalagem de leite. Nesse comprimento de onda, as bases purínicas e pirimidínicas constituintes do DNA celular absorvem a radiação ultravioleta, o que provoca mutações letais ou modificações químicas irreversíveis, tais como a dimerização da timina. Isso impede a replicação do

DNA e provoca a eliminação da célula bacteriana (ANDRADE, MACÊDO, 1996).



Fonte: DANIEL, BRANDÃO, GUIMARÃES, et al., 2001.

Dimerização fotoquímica de duas bases timina.



Fonte: RAY, 2014; CANADA, 2005.

Danos à estrutura helicoidal do DNA causados pela radiação UV.

As lâmpadas UVC promovem uma ação sobre os microrganismos. A radiação dessas lâmpadas é perigosa para os nossos olhos, devendo sempre serem utilizadas em locais vedados e manusear com óculos de proteção de modo que a luz não chegue a nossa vista. A exposição à radiação UV nos organismos como bactérias, vírus, fungos, protozoários, algas e leveduras, não destrói explicitamente os microrganismos, mas inibe sua capacidade de reprodução (LANZA, 2016).

As lâmpadas UV's usadas têm um princípio de funcionamento idêntico ao de uma lâmpada neon. A única diferença é a luminiscência do mercúrio utilizada no lugar da lâmpada neon. Existem dois tipos de lâmpadas UVC classificados em (LANZA, 2016):

- ⇒ **Lâmpada de baixa pressão:** a mistura de vapor de mercúrio e de pó fluorescentes contidos na lâmpada em quartzo é utilizada a baixa pressão, operando a uma temperatura baixa e com baixo consumo. As lâmpadas de baixa pressão emitem essencialmente a um comprimento de onda de 253,7 nm.
- ⇒ **Lâmpada de média a alta pressão (com alta intensidade de UV):** são do tipo de mercúrio a alta pressão, caracterizados principalmente por uma saída muito maior do que as opções UVC de baixa pressão. As lâmpadas de média e alta pressão produzem uma vasta gama de comprimentos de onda, de 100 nm para maior que 700 nm, bem dentro do espectro de luz visível.

UNIDADES DE IRRADIAÇÃO DAS LÂMPADAS UV (energia liberada por cm²)
1 miliJoule/cm² (1 mJ/cm²)= 1 miliwattsegundos/cm² (1 mW.s/cm²)

Como já citado, as lâmpadas de baixa e média pressão estão disponíveis para a desinfecção. As de baixa pressão emitem energia em um **comprimento de onda de 253,7 nm**, enquanto as de média pressão variam de 180 a 1370 nm. As lâmpadas de baixa pressão são indicadas para sistemas pequenos devido a confiabilidade associada com múltiplas lâmpadas [DEMERS, RENNER (1992) apud NUVOLARI, TELLES, RIBEIRO, et al., 2003].

O processo físico de desinfecção por exposição à radiação UV é capaz de inativar quase todos os microrganismos encontrados em água, principalmente bactérias coliformes. Sua utilização é recente, **sendo questionada**, pois **atua somente em nível superficial, mas sua eficiência decresce com o tempo de utilização da lâmpada e pela não manutenção de residual, por isso, permite futuras recontaminações da água**. Outro fator que impede sua maior utilização é o custo, que atualmente está acima, por exemplo, dos derivados clorados. Ressalta-se que, o UV não forma trihalometanos (BLATCHLEY III, 1994; BLATCHLEY III, XIE, 1995; BLATCHLEY III, BASTIAN, DUGIRALA, et. al., 1996; KUO, SMITH, 1996).

QUADRO 1– Características das típicas lâmpadas de vapor de mercúrio de emissão de UV.

Características	Baixa Pressão	Baixa Pressão Alta Intensidade	Média Pressão
Pressão em Vapor de Mercúrio (Pa)	≅ 0,93 (1,35x10 ⁻⁴ psi)	0,18 – 1,6 (2,6x10 ⁻⁵ – 2,3x10 ⁻⁴ psi)	40.000 – 4.000.000 (5,80 – 580 psi)
Temperatura Operacional (°C)	≅40	60 a 100	600 a 900
Espectro Germicida UV Light	Monocromática a 254 nm	Monocromática a 254 nm	Policromática (200 a 300 nm)
Entrada elétrica (W/cm de comprimento da lâmpada)	0,5	1,5-10	50-250
Saída germicida UV (W/cm de comprimento da lâmpada)	0,2	0,5-3,5	5-30
Eficiência de conversão elétrica a atividade germicida UV (%)	35-38	30-35	10-20
Comprimento do arco (cm)	10-150	10-150	5-120
Número relativo de lâmpadas necessárias para uma dada dose	Alto	Intermediário	Baixo
Vida útil avaliada (h)	8.000-10.000	8.000-12.000	4.000-8.000

nm = nanômetro // Pa = pascal 1 pa = 0,000145038 psi = 1,45038 x 10⁻⁴ psi
 UV Light = Diodos emissores de luz (LEDs)

Fonte: USPEPA, 2006.

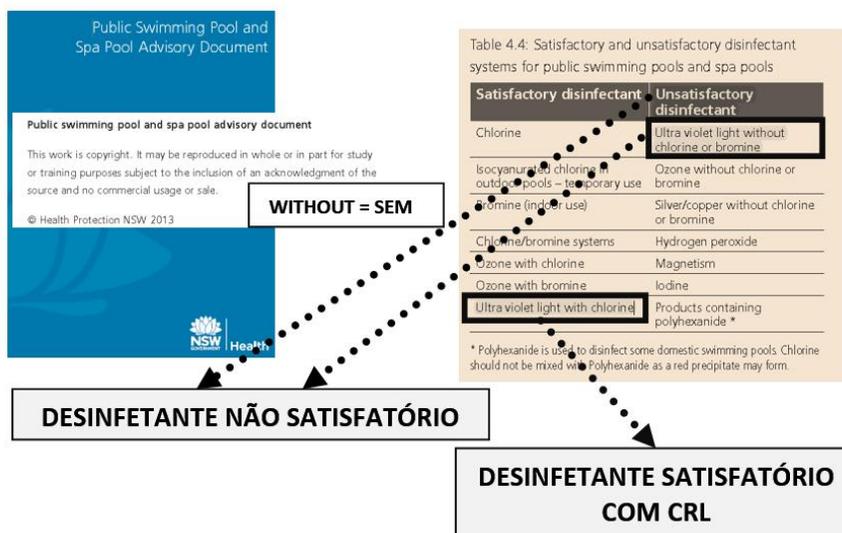
2- A luz UV não deixa residual

A falta de residual no processo de desinfecção com ultravioleta se comprova pela Portaria do Ministério da Saúde n 2.914/2011 (BRASIL, 2011), revogada pela Portaria de Consolidação de nº 5/2017 (BRASIL, 2017) e pela recente legislação do Ministério da Saúde, a **Portaria GM/MS nº 888/2021** que, dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. No Art. 33 indica que, quando no uso da **Radiação UV** é necessário manter residual de cloro ou de dióxido de cloro. No Art. 32, ressalta que, **é obrigatória a manutenção** de no mínimo, 0,2 mg/L de cloro residual livre ou 2 mg/L de cloro residual combinado ou de 0,2 mg/L de dióxido de cloro em toda a extensão do sistema de distribuição (reservatório e rede) e nos pontos de consumo. (BRASIL, 2021).

Art. 32 É obrigatória a manutenção de, no mínimo, 0,2 mg/L de cloro residual livre ou 2 mg/L de cloro residual combinado ou de 0,2 mg/L de dióxido de cloro em toda a extensão do sistema de distribuição (reservatório e rede) e nos pontos de consumo.

Art. 33 No caso do uso de ozônio ou radiação ultravioleta como desinfetante, deverá ser adicionado cloro ou dióxido de cloro, de forma a manter residual mínimo no sistema de distribuição (reservatório e rede) e no ponto de consumo, de acordo com as disposições do Art. 32.

O documento da NSW (2013) com o título **“Public swimming pool and spa pool advisory document”** considera a radiação UV sem o uso de cloro residual um desinfetante não satisfatório.



Fonte: NSW, 2013.

Conforme Informe Técnico ANVISA (2015) indica as legislações que regulamentam/envolvem desinfetantes para águas de piscinas.

	INFORME TÉCNICO				Data da Revisão: 01/12/2015
	Número: INF-018	Localizador: GGSAN-TEC	Revisão: 1	Folha: 1/3	Data para Revalidação: -
Título: Produtos destinados ao tratamento de águas de piscinas					
Descrição da Revisão: Adequação ao Sistema da Qualidade			Palavra(s) Chave: desinfetante; piscinas; tratamento.		

1. OBJETIVO

Ressaltar a necessidade de regularização dos produtos saneantes destinados ao tratamento de águas de piscinas, por meio dos procedimentos de notificação ou registro e esclarecer sobre os assuntos de peticionamento e categorias de produtos que devem ser utilizados.

2. CAMPO DE APLICAÇÃO

Este informe aplica-se às empresas fabricantes de produtos saneantes destinados ao tratamento de águas de piscinas.

Depois de selecionado o assunto de peticionamento, a empresa deve optar por uma das 4 (quatro) categorias relacionadas a seguir, de acordo com a finalidade principal do produto:

- Algicida;
- Desinfetante para Piscinas;
- Limpador de Piscinas;
- Produto para Tratamento de Piscinas.

Os critérios a serem observados para notificação ou registro desses produtos estão definidos nas Resoluções nº 59/2010 (BRASIL, 2019), RDC nº40/2008 (BRASIL, 2008) **revogada pela RDC nº694/2022 (BRASIL, 2022)**, RDC 32/2013 **revogada pela RDC nº697/2022 (BRASIL, 2022a)**, RDC nº14/2007 (BRASIL, 2007) revogada pela Resolução RDC 693/2022 (BRASIL, 2022), revogada pela **RDC 774/2023 (BRASIL, 2023)**. A empresa deve sempre observar a relação de documentos de instrução disponível no sítio eletrônico da ANVISA e apresentada no momento do peticionamento eletrônico da regularização do produto.



Ministério da Saúde - MS
Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA

RESOLUÇÃO DA DIRETORIA COLEGIADA - RDC Nº 774, DE 15 DE FEVEREIRO DE 2023

(Publicada no DOU nº 36, de 22 de fevereiro de 2023)

Dispõe sobre as condições para o registro e a rotulagem de produtos saneantes com ação antimicrobiana.

CAPÍTULO III

REQUISITOS GERAIS

Art. 5º Para fins de registro de produtos saneantes com ação antimicrobiana, devem ser apresentados os dados que constam no Capítulo VIII desta Resolução.

Art. 6º Somente são permitidos como princípios ativos de produtos saneantes com ação antimicrobiana, substâncias comprovadamente aceitas pela Environmental Protection Agency - EPA, Food and Drug Administration - FDA ou Comunidade Europeia.

Fonte: ANVISA, 2023.

Logo, a Resolução RDC 693/2022 (BRASIL, 2022), revogada pela **RDC 774/2023** (BRASIL, 2023), em função da exigência do Art. 6º, com relação a princípios ativos, a presença da palavra **“SOMENTE”**, o princípio ativo **pode ser indicado/utilizado como sanitizante/desinfetante de águas de piscinas, se for reconhecido pela EPA, FDA e Comunidade Européia.**

A referência CDC (2012, 2014, 2016, 2018, 2023) considera a radiação UV como “Sistema de Desinfecção Secundária”, ressalta que, é um sistema **QUE NÃO É REGISTRADO NA EPA.**

Todas as publicações internacionais e nacional indicam a falta de manutenção de residual pela luz UV (Fonte: CDC, 2018; ANSI/APSP/ICC, 2019; NAVMED, 2020; RODRIGUES, MARKS, 2020; PWTAG, 2022). Inclusive já existe proibição de sua utilização no processo de desinfecção na combinação com peróxido de hidrogênio (NAVMED, 2020).



Segundo o **CDC - Centers for Disease Control and Prevention** é vinculado ao DHHS - U.S. Department of Health and Human Services, na publicação específica para a área de águas de piscinas, o **“Annex to the 2018 Model Aquatic Health Code - Scientific Rationale. 3RD Edition (2018)”**, ressalta que, os **SISTEMAS UV / PERÓXIDO NÃO FORAM REGISTRADOS PELA EPA** como sistemas DESINFETANTES primários para água recreativa. Embora o UV seja um DESINFETANTE, **ELE NÃO CONFERE UMA PROPRIEDADE DESINFETANTE RESIDUAL PERSISTENTE À ÁGUA e que é um SISTEMA DE DESINFECÇÃO SECUNDÁRIO.**

2018 MAHC ANNEX	4.0 Facility Design & Construction	87
4.7.3.4.5 Ultraviolet Light / Hydrogen Peroxide Systems		
UV/peroxide systems have not been registered by the EPA as primary DISINFECTANT systems for recreational water. Although UV is a DISINFECTANT, it does not impart a persistent residual DISINFECTING property to water.		
2018 MAHC ANNEX	4.0 Facility Design & Construction	83
4.7.3.3.3 Ultraviolet Light Systems		
UV DISINFECTION is a SECONDARY DISINFECTION SYSTEM and must meet the minimum requirements of all SECONDARY DISINFECTION SYSTEMS as defined in MAHC 4.7.3.3. The minimum requirements must be read in conjunction with the clarifications and additional information as detailed below.		

Fonte: CDC, 2018.

ANSI/APSP/ICC-11 2019
American National Standard for Water Quality in Public Pools and Spas
Approved November 7, 2018




APSP
THE ASSOCIATION OF PUBLIC POOL SUPPLIERS

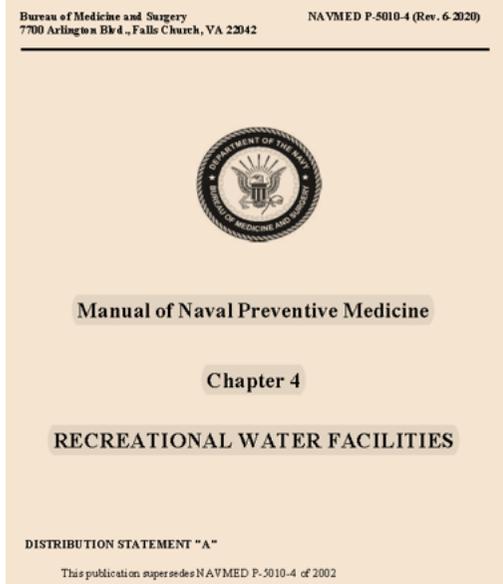
INTERNATIONAL
POOL CODE COUNCIL

A5.5.6 – Ultraviolet light (UV)

UV process equipment may be used for supplemental sanitation in swimming pool and spa water. Although UV light is effective against microorganisms, UV lamps must not be used as stand-alone sanitizers since they do not impart a sanitizer residual to the body of water in the pool or spa. Therefore, UV lamps must always be used in conjunction with an EPA-registered sanitizer to ensure bathers are protected against disease and infection in the pool or spa water.

Portanto, as lâmpadas UV sempre devem ser usadas em conjunto com um desinfetante registrado na EPA para garantir que os banhistas estejam protegidos contra doenças e infecções na água da piscina ou do spa.

Fonte: ANSI/APSP/ICC, 2019.



CHAPTER 4
 RECREATIONAL WATER FACILITIES

4. Periodic testing is necessary to check and maintain the recommended ion concentrations. Copper test kits are normally supplied by the ionizer manufacturer. Silver ion concentrations are usually estimated by applying a conversion factor to measured copper.

4-50. Prohibited Disinfection Practices

1. Ultraviolet light and Hydrogen peroxide combination systems are prohibited for use as a disinfectant.
2. Polyhexamethylene biguanide hydrochloride is prohibited for use as a disinfectant.
3. Chlorine dioxide is not permitted for use while swimmers are in the water.

4-50. Práticas de desinfecção proibidas
1. Os sistemas de combinação de LUZ ULTRAVIOLETA e PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO são proibidos para uso como um desinfetante

Fonte: NAVMED, 2020.

Encontro Técnico AESABESP
 31º Congresso Nacional de Saneamento e Meio Ambiente

ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DO TRATAMENTO DE ÁGUA UTILIZANDO PROCESSO OXIDATIVO AVANÇADO
 Eric Augusto de Medeiros Rodrigues
 Larbor

1. Introdução e Objetivos
 Para a realização da etapa de desinfecção nos processos de tratamento de água, o cloro é comumente utilizado como oxidante e desinfetante principal nos Estações de Tratamento de Água (ETA). A busca por processos alternativos ao cloro vem crescendo por conta dos subprodutos orgânicos clorados gerados a partir da reação do cloro com a matéria orgânica, como os trihalometanos e ácidos haloacéticos (DI BERNARDO, BARTOS, ZDES, URBAN, 2008). Estudos têm reportado que o tratamento com radiação ultravioleta (UV) pode degradar a matéria orgânica presente em compostos de baixo peso molecular (MAGNUSON et al., 2002; SHIH et al., 2001), além disso, os Processos Oxidativos Avançados (POA) baseados em UV, especialmente ultravioleta conjugado com peróxido de hidrogênio (H₂O₂/UV).

Os objetivos deste trabalho são a criação de um reator fotoeletrolítico (Figura 1) para examinar a eficiência da peroxidação assistida por radiação ultravioleta em comparação ao cloro, para a inativação de águas de piscina.

2. Metodologia
 Foram considerados a variação do oxidante, o cloro (NaClO) e o H₂O₂/UV em dois tempos de reação para avaliar o comportamento do tipo de tratamento ao longo do tempo (0 e 6 horas) (Figura 2). A dosagem hipotética de sódio (NaClO) deu-se a fim de se obter uma concentração de 10 mg/L, comumente utilizada no tratamento de água superficial bruta. Já para a dosagem do peróxido de hidrogênio, usou-se 500 mg/L, com o objetivo de se obter uma concentração de 50 mg/L, como orientado pelo fabricante do produto (Meyers Química do Brasil).

3. Resultados e Discussão
 Como reação ao cloro residual no teste em concentração apenas no ensaio com cloro e que a dosagem dos 10 mg/L inicial foi suficiente para manter um residual, não ocorreu uma sobreprodução de cloro. O pH manteve-se quase inalterado para os dois tipos de tratamento após 6 horas. Já nos 3 primeiros horas perceberam que a dosagem do H₂O₂ baixa um pouco o pH, o que ocorreu com a literatura. Para a turbidez, notamos que no barrico a turbidez é menor do que na água tratada. Acertamos que se a turbidez é menor a água apresenta uma menor turbidez, a água bruta apresenta STD menos do que a água tratada. Porém, neste caso, os resultados comparados os dois tipos de tratamento entre si, notamos que o POA demonstrou ser mais eficiente que o cloro na oxidação da matéria orgânica. Como a alcalinidade relacionada com o pH, também notamos uma diminuição da alcalinidade com a utilização de peróxido de hidrogênio. Na análise microbiológica, na contagem de bactérias heterotóficas, os dois tipos de tratamentos foram bastante eficientes. A desinfecção ao cloro mostrou uma tendência mais eficiente que o tratamento do H₂O₂/UV ao longo do tempo. No gráfico de Figura 3 podemos observar melhor este fato. Após 3h os dois estão bem abaixo do valor de referência de 200 UFC/mL, porém o tratamento com H₂O₂/UV partiu de apenas 6 para 17 UFC/mL no tratamento com cloro, enquanto o ensaio de 2h partiu de 24 mostrando seu potencial residual. Por fim, perceberamos que mesmo com uma dosagem eficiente de cloro, há formação de subprodutos, que mesmo voltando zero em 6 horas de reação há água.

Parâmetro	Cloro	H ₂ O ₂	H ₂ O ₂ /UV	POA	H ₂ O ₂ /UV
Cloro residual (mg/L)	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0
pH	7,9	7,0	6,6	7,2	7,2
Turbidez (NTU)	0,7	0,6	0,5	0,4	0,4
Alcalinidade (mg/L)	22	24	24	24	24
Bactérias heterotóficas (UFC/mL)	22	24	24	24	24
Conductividade (µS/cm)	22	24	24	24	24
Resíduo de Cloro em 3h (ppm)	Presente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Resíduo de H ₂ O ₂ em 3h (ppm)	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Turbidez em 3h (NTU)	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3

4. Conclusões
 A partir dos resultados obtidos após o tratamento de água foi possível concluir que o reator fotoeletrolítico, que utiliza a peroxidação assistida por radiação ultravioleta como agente oxidante principal apresenta boa eficiência no tratamento de água, em comparação ao tratamento com cloro. Resalta-se alguns pontos importantes observados a partir dos resultados físico-químicos e microbiológicos: (i) O tratamento com H₂O₂/UV é livre de cloro e não gera THM como subproduto; (ii) A partir dos resultados de turbidez e STD, o cloro e a água bruta apresentaram resultados menos do que a da água tratada, isso mencionado para trabalhos futuros a concepção uma etapa de filtração dentro do sistema de tratamento; (iii) H₂O₂/UV foi 74% mais eficiente em comparação com o cloro na inativação de bactérias heterotóficas em 3 horas de tratamento e 20% mais eficiente em 6 horas; e (iv) O H₂O₂/UV não possui efeito residual na inativação de bactérias heterotóficas, fazendo com que, em longos tempos de tratamento, seja necessário dosar mais H₂O₂ para que não ocorra a recontaminação por microrganismos.

5. Referências
 DI BERNARDO, J. R.; BARTOS, J. M. Métodos e técnicas de tratamento de Água. São Carlos: UFSCar, 2008.
 URBAN, M. Qualidade da Qualidade de Tratamento de Água. São Carlos: UFSCar, 2008.
 MAGNUSON, M. et al. Effect of UV-radiation on organic matter degradation from natural organic matter studied through the use of biological assay technology. Proceedings of the 1999 International Conference on UV Radiation in Water Treatment, 1999, p. 22-24.
 SHIH, S. et al. Impact of UV Radiation on Chlorination by-Products Formation in Drinking Water. Environmental Health Perspectives, v. 109, n. 1, p. 23-27, 2001.
 ZDES, J.; URBAN, M. et al. Tratamento de Água. São Carlos: UFSCar, 2008.



Veja a publicação de RODRIGUES, MARKS (2020) cuja **CONCLUSÃO** é:

“O único inconveniente deste POA É NÃO PROVER RESIDUAL DE DESINFETANTE, o que pode ser desfavorável em longos períodos sem tratamento”. Em resumo, a LUZ UV e o peróxido de hidrogênio não mantém residual.

Fonte: RODRIGUES, MARKS, 2020.



Code of Practice

THE MANAGEMENT AND TREATMENT OF
SWIMMING POOL WATER

Pool Water Treatment Advisory Group

July 2021

Update

► **JANEIRO 2022**

Update January 2022: The Code of Practice requirements should be introduced when implementing or considering the guidance contained in the Technical Notes.

Fonte: PWTAG, 2022.

Dosing disinfectant before the filter prevents inadvertent mixing of disinfectants and acids (which are added post-filter). However, there are arguments for dosing disinfectant post-filter; (this issue is dealt with in *Swimming Pool Water*). Secondary disinfection by ultraviolet (UV) radiation or ozone (both of which remove or reduce primary disinfectants), demands dosing disinfectant after the secondary treatment.

Fonte: PWTAG, 2022.

(PÁG.15) **A DESINFECÇÃO SECUNDÁRIA POR RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA (UV) OU OZÔNIO** (ambas removem ou reduzem os desinfetantes primários), exige a dosagem do desinfetante após o tratamento secundário.

6.7) Ultraviolet radiation

Ultraviolet radiation is a secondary disinfection process (used alongside a primary disinfectant, usually chlorine).

29

Fonte: PWTAG, 2022.

A RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA É UM PROCESSO DE DESINFECÇÃO SECUNDÁRIO
(usado juntamente com um desinfetante primário, geralmente cloro).

3.5) Secondary disinfection

Secondary disinfection of pool water (UV or ozone) increases the kill of infectious organisms, especially the chlorine-resistant protozoan *Cryptosporidium*. Due to the risk of cryptosporidiosis it is recommended that swimming pools include secondary disinfection systems to minimise the risk to bathers associated with such outbreaks. This is particularly important with pools used by young children. There are other benefits in water quality, including the reduction of troublesome, irritant chloramines and being able to have lower disinfectant residuals in the pool water. UV and ozone systems should be designed to provide an effect equivalent to achieving a 99% reduction in the number of *Cryptosporidium* oocysts per pass through the secondary disinfection system.

Fonte: PWTAG, 2022.

3.5) Desinfecção secundária

A desinfecção secundária da água da piscina (UV ou ozônio) aumenta a morte de organismos infecciosos, especialmente o protozoário resistente ao cloro *Cryptosporidium*. Devido ao risco de criptosporidiose recomenda-se que as piscinas incluam sistemas de desinfecção secundária para minimizar o risco para os banhistas associados a tais surtos. Isto é particularmente importante com piscinas usadas por crianças pequenas.

Devem ser ressaltados dois fenômenos importantes, quando a radiação UV é utilizada: **i)** o mecanismo de reparação; e **ii)** a capacidade de fotorreativação de alguns microrganismos expostos à radiação. Sob certas condições, alguns organismos são capazes de reparar o DNA danificado e tornarem-se novamente ativos. A fotorreativação acontece como consequência do efeito catalítico em comprimentos de onda da luz solar visível, fora da faixa de desinfecção efetiva. O método indicado para prevenir a fotorreativação é o contador de radiação, que é projetado para proteger o fluxo solar imediatamente após a desinfecção. Os indicadores de coliformes e alguns patogênicos como *Shigella* exibem mecanismo de fotorreativação, vírus, exceto, quando eles infectaram uma célula do anfitrião, que é fotorreativo, e outros tipos de bactérias não podem fotorreativar [USEPA (1980); USEPA (1996); HAZEN, SAWYER (1992) apud NUVOLARI, TELLES, RIBEIRO, et al., 2003].

Os protozoários **são considerados resistentes à UV**. Alguns estudos mostraram que a UV tem capacidade de inativá-los, exigindo uma dose muito mais alta que outros organismos patogênicos, veja algumas pesquisas **citadas por** NUVOLARI, TELLES, RIBEIRO, et al (2003):

- RICE e HOFF (1981): menos de 80% dos cistos de *Giardia lamblia*, foram inativados por dosagens de UV de 63 mW.s/cm².

- CARLSON et al (1982): 90% dos cistos de *Giardia muris* foi inativado com dose de UV de 82 mW.s/cm².

- KARANIS et al (1992): 99% dos cistos de *Giardia muris* foram inativados com doses de 180 mW.s/cm²; 99% dos cistos de *Giardia lamblia* foram inativados com doses de 180mW.s/cm².

- CAMPBELL et al (1995): 99 a 99,9% de oocistos de *Cryptosporidium parvum* foram inativados, utilizando lâmpada UV de baixa pressão, com intensidade mínima teórica de 14,58 mW/cm² em um tempo de 10 minutos (corresponde à dose de 8748 mW.s/cm²).

- CLANCY et al (1997): utilizando UV pulsante, com dose mínima de 1900 mW.s/cm², alcançou a inativação de 99,9% de oocistos de *Cryptosporidium* com tempo de residência no reator de 4,7 segundos.

A pesquisa de BARROSO, WOLFF (2009) chega às seguintes conclusões quanto a radiação UV:

i) 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.

ii) 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 interesse por sua ação germicida.

iii) A eficácia do sistema de desinfecção por radiação UV depende das características do afluente, da dose de radiação, do tempo de exposição dos microrganismos 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.

iv) O custo do sistema de desinfecção com radiação UV é uma barreira à utilização e depende do fabricante, da capacidade de utilização da estação de tratamento e das características da água a ser desinfetada.

As referências bibliográficas ASSETS (2021) e RATHNASINGHE, JANGRA, MIORIN, SCHOTSAERT, et al. (2021), comprovam que **comprimentos de onda mais longos têm uma capacidade reduzida de inativar vírus e matar bactérias**, mostram resultados que a radiação UV **acima de 320 nm, a inativação viral é considerada improvável**.

Na faixa de 400 nm a 420 nm, para quantificar o efeito desinfetante dessa luz, foram realizadas irradiações **por 4 horas, 8 horas, 12 horas e 24 horas**. **A redução de 0,7 Log foi observada em 4 h** em comparação aos controles e somente 24 horas depois, foi observado um total de 1,7 log.

O Centro Colaborador da Organização Mundial da Saúde (OMS) (Collaborating Centre of the World Health Organization – WHO), o Centro de Saúde Pública da Inglaterra para Riscos de Radiação (Public Health England – PHE - Centre for Radiation), Químicos e Ambientais (Chemical and Environmental Hazards - CRCE) prestou apoio à OMS em março de 2020 no documento público relativo ao uso da desinfecção UV-C produtos (ASSETS , 2021).



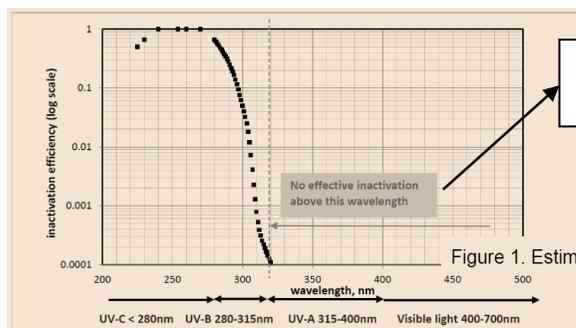
https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/978581/home-use-of-ultraviolet-radiation-disinfection-products.pdf

Theoretically, the peak effectiveness is at about 260-270 nm, the peak wavelength for RNA/DNA absorption; longer wavelengths have a reduced capability to inactivate viruses and kill bacteria. There is evidence that SARS-CoV-2 may be inactivated using UV-C, but the exact quantity of UV-C to achieve a given level of viral inactivation is still subject to investigation⁸. However, comparison with the effectiveness on similar coronaviruses suggests that a radiant exposure of about 7 J m⁻² at 254 nm would be expected to inactivate 90% of SARS-CoV-2.⁹ It is estimated that about 28 J m⁻² at the same wavelength is needed to inactivate 99% of this virus and that 99% inactivation will require 280 J m⁻² at 295 nm; 2,800 J m⁻² at 305 nm; 28,000 J m⁻² at 309 nm; and 280,000 J m⁻² at 320 nm.⁹ **Above 320 nm, viral inactivation is considered unlikely.**⁹

Fonte: SAGE-EMG (2020), SAGRIPANTI, LYTLE (202) apud ASSETS , 2021.

Teoricamente, o pico de eficácia está em cerca de 260-270 nm, o comprimento de onda máximo para absorção de RNA/DNA; comprimentos de onda mais longos têm uma capacidade reduzida de inativar vírus e matar bactérias. Há evidências de que o SARS-CoV-2 pode ser inativado utilizando UV-C, mas a quantidade exata de UV-C para atingir um determinado nível de inativação viral ainda está sujeita a investigação⁸ (SAGE-EMG, 2020). No entanto, a comparação com a eficácia em coronavírus semelhantes sugere que seria esperado que uma exposição radiante de cerca de 7 J.m⁻² a 254 nm inativasse 90% do SARS-CoV-2.⁹ (SAGRIPANTI, LYTLE, 2020). Estima-se que cerca de 28 J.m⁻² ao mesmo tempo comprimento de onda é necessário para inativar 99% deste vírus e essa inativação de 99% exigirá 280 J.m⁻² a 295 nm; 2.800 J.m⁻² a 305 nm; 28.000 J.m⁻² a 309 nm; e 280.000 Jm⁻² a 320 nm.⁹ (SAGRIPANTI, LYTLE, 2020). **Acima de 320 nm, a inativação viral é considerada improvável.**

Fonte: SAGE-EMG (2020), SAGRIPANTI, LYTLE (202) apud ASSETS , 2021.



Nenhuma inativação eficaz acima deste comprimento de onda

Fonte: ASSETS , 2021.

Figure 1. Estimated virus inactivation in relation to emitted wavelength range.

scientific reports

Scientific Reports | (2021) 11:39470 | <https://doi.org/10.1038/s41598-021-97797-0> nature portfolio

OPEN **The virucidal effects of 405 nm visible light on SARS-CoV-2 and influenza A virus**

Fonte: RATHNASINGHE, JANGRA, MIORIN, SCHOTSAERT, et al., 2021.

Disinfection potential of standard LED lighting containing spectral wavelengths from 400 to 420 nm. As shown in Fig. 1D, standard LED lighting (without the specific addition of 405 nm light) has a small but measurable amount of disinfecting light (0.006 mW cm^{-2}) in the 400 nm to 420 nm range.

To quantify the disinfecting effect of this light, irradiations were performed for 4 h, 8 h, 12 h, and 24 h. A reduction of 0.7 Log was observed by 4 h in comparison to the controls. By 24 h, a total of 1.7 log was observed using a standard LED light (Fig. 5).

*Potencial de desinfecção da iluminação LED padrão contendo comprimentos de onda espectrais de 400 a 420 nm. Como mostrado na Fig. 1D, a iluminação LED padrão (sem a adição específica de luz de 405 nm) **tem um quantidade pequena, mas mensurável, de luz desinfetante ($0,006 \text{ mW.cm}^{-2}$) na faixa de 400 nm a 420 nm.***

*Para quantificar o efeito desinfetante dessa luz, foram realizadas irradiações **por 4 horas, 8 horas, 12 horas e 24 horas. A redução de 0,7 Log foi observada em 4 h em comparação aos controles. Às 24 horas, foi observado um total de 1,7 log usando uma luz LED padrão (Fig. 5).***

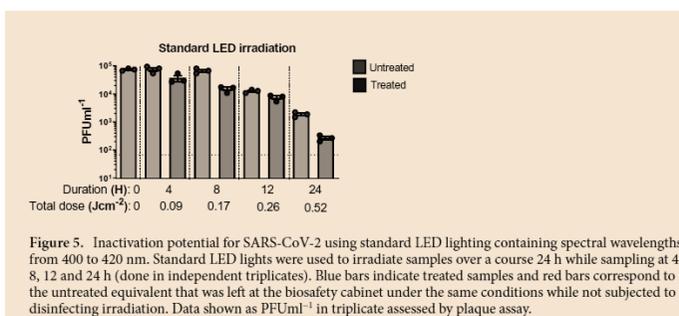


Figure 5. Inactivation potential for SARS-CoV-2 using standard LED lighting containing spectral wavelengths from 400 to 420 nm. Standard LED lights were used to irradiate samples over a course 24 h while sampling at 4, 8, 12 and 24 h (done in independent triplicates). Blue bars indicate treated samples and red bars correspond to the untreated equivalent that was left at the biosafety cabinet under the same conditions while not subjected to disinfecting irradiation. Data shown as PFU ml^{-1} in triplicate assessed by plaque assay.

Fonte: RATHNASINGHE, JANGRA, MIORIN, SCHOTSAERT, et al., 2021.



Fonte: WHO, 2000.

<https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/66218/a68673.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

UV disinfection of water is normally achieved by passing the water through tubes lined with UV lamps. This gives efficient disinfection after a contact time of a few seconds. A typical power requirement would be within the range $10\text{-}20 \text{ W/m}^3\text{h}$. The lamps used disinfect using a wavelength of light around 254nm. The lamps may continue to produce blue light when they are worn out and no longer produce disinfecting irradiation.

Fonte: WHO, 2000.

As lâmpadas utilizadas desinfetam com um comprimento de onda da luz em torno de 254 nm. AS LÂMPADAS PODEM CONTINUAR A PRODUZIR LUZ AZUL QUANDO ESTÃO DESGASTADAS E NÃO PRODUZEM MAIS IRRADIAÇÃO DESINFETANTE.

3- O consumo de CRL (Cloro Residual Livre) pela luz UV

A luz ultravioleta do sol é parcialmente absorvida pela camada de ozônio na atmosfera superior (a estratosfera), isto é, **todos os comprimentos de onda abaixo de 290 nm são absorvidos**.

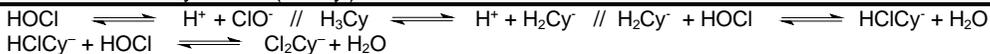
Em contraste, o ÍON DE HIPOCLORITO (ClO^-), cuja absorção máxima ocorre a 290 nm, absorve luz UV até cerca de 350 nm e, portanto, será decomposta pela luz solar.

O **HClO e os clorisocianuratos absorvem principalmente abaixo de 290 nm**, sendo relativamente estáveis para a decomposição, o **ClO^- é o degradado pela radiação UV**.



QUADRO 2- Comprimentos de onda (λ) onde existe o máximo de absorção pelas substâncias geradas na hidrólise de derivados clorados.

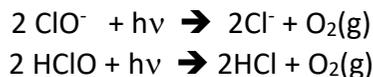
Substância química	Comprimentos de onda (λ) de máxima absorção (nm)
Ácido hipocloroso (HClO)	235
Íon hipoclorito (ClO^-)	290
Íon Dicloroisocianurato (Cl_2Cy^-)	215
Íon Monochlorisocyanurato (HClCy^-)	220



Fonte: WOJTOWICZ, 2004; WAHMAN, 2018.

Logo, o representante do CRL que será consumido pela radiação UV é o íon hipoclorito, como o HClO tenta equilibrar a equação, o deslocamento da equação para o lado do hipoclorito e vai levar uma redução da presença de HClO.

Os raios ultravioletas (UV) do sol reduzirão ClO^- para o íon cloreto que é inativo no processo de desinfecção. Esta reação pode reduzir o cloro ativo em até 90% em um dia ensolarado em duas horas [TAYLOR TECHNOLOGIES (2011) apud ASKINS, 2013; LA MATTER, 2018]. A reação a seguir mostra como a fotólise ocorre quando o hipoclorito é degradado por raios ultravioleta ($h\nu$ simboliza a luz solar) (LA MATTER, 2018).



4- A energia necessária de luz UV para inativação de alguns organismos

Para conhecer a capacidade de desinfecção de um saneante químico da leia sobre o item específico com o título “*O fator Ct e a eficiência de uma substância química e/ou sistema de desinfecção*”.

A inativação de microrganismos por UV está diretamente relacionada à dose de UV; isso é calculado do produto da intensidade da luz, medida em mW/cm^2 e o tempo de exposição, medida em segundos. A dose de UV é basicamente **semelhante ao conceito de Ct usado para outros desinfetantes comuns**, como cloro e ozônio (CANADA, 2005).

Mas, como a luz UV não tem residual e como a relação entre o que é requerido para inativação e a dose de UV deve ser estabelecida e **depois monitorada in locu no tratamento de água para garantir uma desinfecção suficiente de agentes patogênicos microbianos** (USEPA, 2006), vamos considerar que a radiação UV NÃO tenha “Ct”, mas, ressalta-se que é necessário saber o tempo de contato que o organismo deve ficar exposto a radiação.

$$D = I \times t$$

D = UV Dose [$\text{mW} \cdot \text{s}/\text{cm}^2$ (mJ/cm^2)]

I = Intensidade média (mW/cm^2)

t = tempo de exposição (segundos). Fonte: CANADA, 2005.

Como já citado, os fatores que influenciam a desinfecção do meio aquoso por UV:

- ➔ **O COMPRIMENTO DE ONDA DO UV**, PARA EFEITO BACTERICIDA DEVE TER COMPRIMENTO DE ONDA DE 254 ηm .
- ➔ **A DOSE DE RADIAÇÃO INCIDENTE DE UV** – EXPRESSA EM $\text{W} \cdot \text{s}/\text{cm}^2$ (Watt x segundos/centímetro quadrado) ou $\text{mW} \cdot \text{s}/\text{cm}^2$ ou mJ/cm^2 (milijoule por centímetro quadrado).
- ➔ **O TEMPO DE CONTATO NECESSÁRIO DA RADIAÇÃO INCIDENTE DE UV** para inativar o organismo de interesse.
- ➔ **MECANISMO DE REPARO** (fotorreativação) do dano provocado no DNA do organismo se uma dose subletal for aplicada.
- ➔ **CARACTERÍSTICA FÍSICA (EX: TURBIDEZ) e QUÍMICA DO MEIO AQUOSO** (ALGUNS SÓLIDOS DISSOLVIDOS interferem na ação da UV (por exemplo, dureza, alcalinidade, ferro, manganês, cobre).

A Resolução RDC da ANVISA/MS 14/2007 (BRASIL, 2007), atualmente, Resolução RDC da ANVISA nº 693/2022 (BRASIL, 2022), revogada pela **Resolução RDC 774/2023** (BRASIL, 2023) no ANEXO II indica os microrganismos de referência para avaliação de atividade de sanitizantes em águas de piscinas, que, são ***Enterococcus faecium* e *Escherichia coli***.

A pesquisa de FIJAN, TURK (2014) utilizou luz ultravioleta germicida calibrada de 30 W, comprimento de onda da lâmpada UV foi de 253,7 nm estando assim na região UV-C. A radiação UV foi aplicada em uma área de $63,61 \text{ cm}^2$, correspondente a $30.000 \text{ mW}/63,61 \text{ cm}^2 = 471,57 \text{ mW}/\text{cm}^2$.

Na publicação de FIJAN, TURK (2014) tendo como referência o ***Enterococcus***

faecium apresenta os dados para experimentos com a radiação ultravioleta apenas com água inoculada com *Enterococcus faecium*, podemos observar que o tempo de radiação ultravioleta (**471,57 mW/cm²**) necessário para atingir uma redução de 5-log10 não é uniforme e, em média, **é cerca de 3 horas**. Isso talvez se deva ao fato que algumas amostras tinham maior concentrações, aumentando assim a turbidez e a dosagem real de UV também foi influenciada pela distância exata e ângulo de amostras expostas a UV luz germicida, que talvez não fosse exatamente uniforme em todos os experimentos. A turbidez das amostras pode influenciar significativamente os efeitos germicidas de UV à medida que a dose de tratamento UV diminui devido a turbidez [WAITE, KAZUMI, LANE, et al., (2003) apud FIJAN, TURK, 2014].

Os Quadros a seguir apresentam as dosagens de energias, por cm², necessárias para redução de ciclos logs de organismos, é importante ressaltar que, **as referências não citam o tempo de contato necessário para a redução em ciclos log com a dose indicada**. Em função dessa questão utiliza-se como referência dados da pesquisa de FIJAN, TURK (2014) com relação ao organismo de referência *Enterococcus faecium*.

QUADRO 3- Dose requerida de UV (mJ/cm²) para alcançar redução logarítmica.

Patógenos	Redução Logarítmica							
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
<i>Cryptosporidium</i>	1,6	2,5	3,9	5,8	8,5	12	15	22
<i>Giárdia</i>	1,5	2,1	3,0	5,2	7,7	11	15	22
<i>Vírus</i>	39	58	79	100	121	143	163	186

Fonte: USEPA, 2006.

QUADRO 4- Valores para inativar 99% dos microrganismos presentes na amostra.

Desinfetante	Organismo	Energia requerida
Radiação Ultravioleta	Bactéria	7 mJ/cm ²
	Vírus	59 mJ/cm ²
	<i>Giárdia</i>	5 mJ/cm ²
	<i>Cryptosporidium</i>	10 mJ/cm ²

Fonte: Adaptado BELEZA, SANTOS, PINTO, 2007.

QUADRO 5- Doses de radiação UV (254 nm), mW.s/cm², necessária para inativar alguns organismos.

Organismo	Energia requerida
<i>Escherichia coli</i>	360 – 2.400
<i>Staphylococcus aureus</i>	210 - 400
<i>B. paratyphi</i>	320
<i>B. subtilis</i>	1.000 – 2.440
Esporos de <i>B. subtilis</i>	2.160 – 12.000
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	2.500
<i>S. typhimurium</i>	3.200
Vírus colifago T3	160
Poliovírus	780
Cistos de <i>Giardia muris</i>	60.000 – 1000.000

1 mJ/cm² = 1 mW.s/cm² Fonte: REIFF, WITT, 1995.

QUADRO 6- Dose de UV (mJ/cm²) necessária para inativar uma população microbiana de veiculação hídrica.

Microrganismo	Dose UV (mJ/cm ²) requerida Redução Logarítmica	
	1 ciclo log inativação	3 ciclos log inativação
Bactérias veiculação hídrica		
<i>Campylobacter jejuni</i>	1,1	1,8 a 3,8
<i>Escherichia coli</i>	1,3 a 3,0	3,0 a 7,0
<i>Klebsiella terrigena</i>	3,9	9,1
<i>Legionella pneumophila</i>	0,92 a 2,5	2,8 a 7,4
<i>Salmonella typhi</i>	2,1 a 2,5	6,6 a 7,0
<i>Shigella dysenteriae</i>	0,89 a 2,2	2,1
<i>Vibrio cholerae</i>	0,65 a 3,4	2,2 a 2,9
<i>Yersinia enterocolitica</i>	1,1	2,7 a 3,7
Vírus Entéricos, esporos bacterianos e colifagos veiculação hídrica		
<i>Adenovirus</i>	23,6 a 30,0	80 a 90
<i>Coxsackie vírus</i>	11,9 a 15,6	25 a 46,8
<i>Echovirus</i> Tipo	10,8 a 12,1	32,5 a 36,4
<i>Vírus Hepatitis A</i>	3,7 a 7,3	15 a 21,9
<i>Poliovírus</i> Tipo 1	5,0 a 11,0	23,1 a 33
<i>Poliovírus</i> Tipo 2	10,3 a 12,0	30,9 a 36,1
<i>Reovírus</i>	15,4	45 a 46,3
<i>Rotavírus</i>	8,0 a 9,9	25 a 30
Esporos <i>Bacillus subtilis</i>	14,2	39,9
Colifago MS-2	18,6	55 a 65

Fonte: ROESSLER, SEVERN (1996) apud CANADA, 2005.

QUADRO 7- Dose de UV (mW.s/cm²) necessária para inativar uma população microbiana com redução de 1 ciclo log (90%) e 2 ciclos log (99%).

MICROORGANISMOS	Redução Logarítmica		MICROORGANISMOS	Redução Logarítmica	
	1	2		1	2
BACTERIA			<i>Fecal coliforms</i>	3,4	6,8
<i>Bacillus anthracis</i>	4,5	8,7	<i>Salmonella enteritidis</i>	4	7,6
<i>Bacillus subtilis</i> , esporos	12	22	<i>Salmonella paratyphi</i> ³	3,2	---
<i>Bacillus subtilis</i>	7,1	11	<i>Salmonella typhi</i> ⁵	2,1	---
<i>Campylobacter jejuni</i> ⁵	1,1	---	<i>Salmonella typhimurium</i>	3	---
<i>Clostridium tetani</i> ¹	12	22	<i>Shigella dysenteriae</i>	2,2	4,2
<i>Corynebacterium diphtheriae</i> ¹	3,4	6,5	<i>Shigella flexneri</i> (<i>paradysenteriae</i>)	1,7	3,4
<i>Escherichia coli</i>	3	6,6	<i>Shigella sonnei</i> ⁵	3	5
<i>Klebsiella terrigena</i> ⁵	2,6	---	<i>Staphylococcus aureus</i>	5	6,6
<i>Legionella pneumophila</i> ⁴	0,9	2,8	<i>Streptococcus faecalis</i> ⁵	4,4	---
<i>Sarcina lutea</i>	20	26,4	<i>Streptococcus pyogenes</i>	2,2	---
<i>Mycobacterium tuberculosis</i>	6	10	<i>Vibrio cholerae</i> (<i>V.comma</i>) ⁶	---	6,5
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> ⁶	5,5	10,5	<i>Yersinia enterocolitica</i> ⁵	1,1	---
VÍRUS					
<i>MS-2 Colifago</i> ⁵	18,6	---	<i>Influenza virus</i> ²	3,6	6,6
<i>F-específico bacteriofago</i> ²	6,9	---	<i>Pólio virus</i> ^{5, 6, 9}	5 – 8	14
<i>Hepatíte A</i> ^{5, 6}	7,3	---	<i>Rotavirus</i> ^{5, 6, 9, 10}	6 – 15	15-40
PROTOZOARIOS			ALGAS		
<i>Giardia lamblia</i> ^{6, 7}	82	---	<i>Blue Green</i> ^{1, 3}	300	600
<i>Cryptosporidium parvum</i> ⁸	80	120	<i>Chlorella vulgaris</i> ^{1, 2}	12	22
LEVADURA					
<i>Saccharomyces cerevisiae</i> ¹	7,3	13,2			

1mWs/cm² = 1 mJ/cm²

Fonte: [1.LEGAN (1980); 2.JEVONS (1982); 3.GROOCOCK (1984); 4.ANTOPOL (1979), WILSON, et al (1993); 6.WOLFE (1990); 7.RICE AND HOFF (1981); 8.RANSOME, et al (1993); 9.HARRIS, et al (1987); 10.BATTIGELLI, et al (1993)] apud WRIGHT, CAIRNS, 2000.

5- O TEMPO DE CONTATO NECESSÁRIO DE EXPOSIÇÃO A LUZ UV PARA ELIMINAÇÃO DE ALGUNS ORGANISMOS

Como já citado, em aplicações de água potável, a desinfecção usando luz UV segue o conceito familiar de CT (concentração desinfetante vezes tempo de contato). No entanto, em vez de usar CT para descrever a desinfecção UV, a dose UV é usada (JOHNSON, KUMAR, PONMURUGAN, GANANAMANGAI, 2010).

A dose UV é definida como a medição da energia por unidade de área que incide sobre uma superfície. A dose UV é o produto da intensidade UV (representado por I), e tempo de exposição (T), semelhante ao conceito CT (JOHNSON, KUMAR, PONMURUGAN, GANANAMANGAI, 2010).

A intensidade UV é geralmente expressa como mW/cm^2 e o tempo de exposição é medido em segundos (s). Portanto, a dose UV é relatada como mWs/cm^2 . No entanto, a dose UV é comumente expressa como milijoules por centímetro quadrado (mJ/cm^2), porque $1 \text{ mWs} = 1 \text{ mJ}$ (JOHNSON, KUMAR, PONMURUGAN, GANANAMANGAI, 2010).

As lâmpadas de baixa pressão se destacam em eficiência, convertendo até 40% de sua energia de entrada em saída UV-C utilizável. Isso torna as lâmpadas de baixa pressão uma escolha econômica para operação contínua, pois convertem uma porcentagem maior da entrada elétrica em luz UV germicida (ULTRAAQUA, 2024).

Por outro lado, as lâmpadas de média pressão são geralmente menos eficientes e convertem cerca de 10% de sua energia de entrada em saída UV-C. No entanto, apesar da menor conversão de energia, elas ainda podem ser mais eficazes em certas aplicações devido a uma saída de energia mais alta (ULTRAAQUA, 2024).

Para validação de um sistema de UV em fluxo contínuo é necessário saber a taxa de fluxo, a intensidade UV é medida por um sensor UV e o estado da lâmpada UV (USEPA, 2006).

A administração de dose em um reator UV de fluxo contínuo é consideravelmente mais complexa do que em um reator que os organismos estivessem completamente sem movimento. Alguns microrganismos viajam perto das lâmpadas UV e experimentam uma dose maior, enquanto outros que viajam perto das paredes do reator podem experimentar uma dose menor. Alguns microrganismos se movem pelo reator rapidamente, enquanto outros percorrem um caminho mais tortuoso. O resultado é que cada microrganismo que sai do reator recebe uma dose UV diferente. Consequentemente, a dose UV administrada aos microrganismos que passam pelo reator é melhor descrita usando uma distribuição de dose (CABAJ, SOMMER, SCHOENEN, 1996) em oposição a um valor de dose única. Alternativamente, a distribuição de dose pode ser definida como uma distribuição de probabilidade de que um microrganismo que sai de um reator UV receberá uma determinada dose (USEPA, 2006).

A distribuição de dose que um reator UV fornece pode ser estimada usando modelos matemáticos baseados em dinâmica de fluidos computacional (CFD) e distribuição de intensidade de luz (LID). O CFD é usado para prever as trajetórias de microrganismos conforme eles viajam pelo reator UV. A LID é usado para prever a intensidade em cada ponto dentro do reator UV. A dose UV para cada microrganismo é calculada integrando a intensidade UV sobre a trajetória do microrganismo através do reator. A biodosimetria é frequentemente usada para verificar esses resultados de modelagem (USEPA, 2006).

É fácil de notar que em geral as publicações apresentam a quantidade de radiação necessária para inativação de um organismo, mas não apresentam **o tempo de contato necessário para que ocorra o processo de inativação do organismo**. Os vendedores oferecem o sistema de UV como se os organismos a serem inativados estivessem sem nenhuma movimentação frente a lâmpada UV.

Considerando a NBR 10.339 (ABNT, 2019), a **velocidade máxima** na tubulação de retorno deve ser de 3 m/s. Em resumo, a água passa em frente da lâmpada de UV, com velocidade de 3 m/s, logicamente o organismo também se desloca na água nessa velocidade. A lâmpada de UV deve ter o comprimento necessário para permitir o tempo de contato mínimo para ocorrer a inativação do organismo de interesse, ou ela deve se deslocar acompanhando o fluxo da água.

QUADRO 8- Espaço linear (m) requerido para permitir o tempo necessário de exposição a radiação UV em função da velocidade da água na tubulação de retorno.

Tempo de contato mínimo necessário para inativação do organismo	Espaço linear requerido para o tempo de contato (considerando a velocidade da água em 3 m/s)
0,40 s	1,2 m
0,50 s	1,5 m
1,00 s	3,0 m
10 s	30,0 m
30 s	90,0 m
60 s	180,0 m

A seguir apresenta-se o tempo de contato mínimo para inativação para alguns organismos em função da energia da lâmpada.

- CAMPBELL et al (1995): 99 a 99,9% de **oocistos de *Cryptosporidium parvum*** foram inativados, utilizando lâmpada UV de baixa pressão, com intensidade mínima teórica de **14,58 mW/cm² em um tempo de 10 minutos** (corresponde à dose de **8748 mW.s/cm²**).

- CLANCY et al (1997): utilizando UV pulsante, com dose mínima de **1900 mW.s/cm²**, alcançou a inativação de 99,9% de **oocistos de *Cryptosporidium*** com tempo de residência no reator de **4,7 segundos**.

- Na publicação de FIJAN, TURK (2014) tendo como referência o ***Enterococcus faecium***, apresenta os dados para experimentos com a radiação ultravioleta apenas com água inoculada com ***Enterococcus faecium***, podemos observar que o tempo de radiação ultravioleta (**471,57 mW/cm²**) necessário para atingir uma redução de 5-log₁₀ não é uniforme e, em média, **é cerca de 3 horas**.

- Segundo ORAM (2020) e WATER RESEARCH (2021) o tempo estimado de irradiação para inativar microrganismos com uma dosagem of 30.000 μwatt.s/cm² em UV 254 nm, a ***Escherichia coli*** precisa de **0,36 s** e a ***Pseudomonas Aeruginosa*** de **0,37 s**.

- A irradiância calculada na abertura do dispositivo foi de 15,54 mW/cm, com a distância entre a lâmpada UVC e a superfície de suspensão de 25,4 mm. Após a exposição à UVC, uma taxa de inativação de 99,9% foi obtida em **3–5 s** para as bactérias (*P. aeruginosa* e *Mycobacterium abscessus*) testadas. Em contraste, **15–30 s** de tratamento com UVC foram necessários para obter 99,9% de inativação dos fungos (*Candida albicans*, *Aspergillus fumigatus*) testados (DAI, VRAHAS, MURRAY, HAMBLIN, 2012).

- Em um estudo semelhante, RAO, KUMAR, RAO, GURUNG (2011) apud DAI, VRAHAS, MURRAY, HAMBLIN (2012) relataram uma erradicação completa (100%) dos microrganismos em ágar nas doses de UVC variando de **um mínimo de 5 s** de irradiação (*Staphylococcus* coagulase-negativo e *Streptococcus pyogenes* resistentes à metilicina) a um máximo de 15 s de irradiação (*S. aureus* e espécies de Enterococci suscetíveis à metilicina). A irradiância usada foi de 5 mW/cm calculada na abertura da lâmpada e a distância lâmpada-ágar foi de 10 cm

6- CONCLUSÃO BASEADA NAS PUBLICAÇÕES CIENTÍFICAS sobre UV PARA UTILIZAÇÃO EM ÁGUAS DE PISCINAS

NÃO É SIMPLES UTILIZAR A LUZ UV NO TRATAMENTO DE ÁGUAS DE PISCINAS.

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. Outro fator fundamental para garantir a eficácia do sistema de desinfecção por radiação UV depende das características da água da piscina, da dose de radiação, **do tempo de exposição dos microrganismos à radiação**, pois a água não está parada e o(s) organismo(s) deslocam junto com água, da biodosimetria e finalmente da configuração das lâmpadas e reatores. Para qualquer utilização em águas de piscinas, o êxito das atividades de desinfecção está diretamente relacionado à concentração de componentes coloidais e partículas na água.

6.1- É indicada a **UTILIZAÇÃO em ÁGUAS DE PISCINAS COMO PROCESSO DE DESINFECÇÃO SECUNDÁRIO, desde que, se cumpra as CONDICIONANTES para a utilização e para garantia do processo de desinfecção.**

- Como a luz UV não tem residual e como a relação entre o que é requerido para inativação e a dose de UV deve ser estabelecida e **depois monitorada in locu no tratamento de água para garantir uma desinfecção suficiente de agentes patogênicos microbianos** (USEPA, 2006).

- O COMPRIMENTO DE ONDA DO UV EMITIDO PELA LÂMPADA DEVE SER 254 nm.

- Em função de não manter residual DEVE SER UTILIZADA CONCOMITANTEMENTE COM RESIDUAIS DE DERIVADOS BROMADOS ou CLORADOS, NO CASO DE CLORADOS COM RESIDUAL 3 a 5 mg CRL/L.

- Deve ser respeitada A DOSE DE UV e o TEMPO DE EXPOSIÇÃO A RADIAÇÃO em função

dos organismos a serem eliminados (EVITAR fotorreativação). O TEMPO DE CONTATO é fundamental na utilização da luz UV, ou seja, quanto tempo a lâmpada deve ficar ligada para redução em ciclos log do organismo em referência.

- Tem ação bacteriostática ou bactericida, virucida E CONTRA protozoários, SE A **LÂMPADA DE UV EMITIR NA FAIXA DE 254 nm** e sendo RESPEITADA **a dose de UV e o tempo de exposição.**

- Deve ser levada em consideração a “TURBIDEZ” da água da piscina, pois, é fator preponderante na eficiência da UV, logo, deve ser monitorada constantemente.

- Deve ser levado em consideração **o tempo de exposição dos microrganismos à radiação**, pois a água não está parada e o(s) organismo(s) deslocam junto com água, a **biodosimetria** e finalmente da configuração das lâmpadas e reatores.

- O mercado disponibiliza vários modelos de equipamentos de ultravioleta, sempre devem ser tomadas medidas de segurança aos operadores, pois a radiação ultravioleta **É NOCIVA A PELE e PRINCIPALMENTE A VISÃO**, devendo-se evitar a radiação direta e deve utilizar EPI's.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10339: Piscina - Projeto, execução e manutenção**. Versão corrigida. São Paulo: ABNT. 47p. Outubro 2019.

ANSI/APSP/ICC. ANSI/APSP/ICC-11 2019 Standard for Water Quality in Public Pools and Spas. November 7, 2018. Alexandria: Pool & Hot Tub Alliance (PHTA) (**Association of Pool & Spa Professionals / National Swimming Pool Foundation**). 41p. 2019.

ANVISA. **Informe Técnico – INF-018 – Produtos destinados ao tratamento de águas de piscinas**. Brasília: ANVISA/GGSAN-TEC. 3p. 01 de dezembro de 2015.

ASKINS A. **Cyanuric Acid in Commercial Swimming Pools and its Effects on Chlorine's "Staying Power" And Oxidation Reduction Potentials**. Raleigh/North Carolina . 29p. Dissertation [Master of Environmental Assessment]. North Carolina State University. Raleigh/North Carolina. 2013.

ASSETS. **Home use of ultraviolet radiation disinfection products**. Research Report. London Office for Product Safety & Standards / Department for Business, Energy and Industrial Strategy. 9p. April 2021. Disponível em: <https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/978581/home-use-of-ultraviolet-radiation-disinfection-products.pdf>. Acesso em 13 de setembro de 2023.

BARROSO, L. B.; WOLFF, D. B. Radiação ultravioleta para desinfecção de água. **Revista Disciplinarum Scientia**. v.10. n.1. pp.1-13. 2009.

BELEZA, V. M.; SANTOS, R. P.; PINTO, M. **Piscinas –Tratamento de água e utilização de energia**. Porto: Fundação Instituto Politécnico do Porto / Edições Politema. 270p. 2007.

BLATCHLEY III, E. R. Disinfection and antimicrobial processes. **Water Environment Research**. v.66. n.4. pp.361-368. 1994.

BLATCHLEY III, E. R.; XIE, Y. Disinfection and antimicrobial processes. **Water Environment Research**. v.67. n.4. pp.475-481. 1995.

BLATCHLEY III, E. R.; BASTIAN, C., DUGGIRALA, R. K. et al. Ultraviolet irradiation and chlorination/dechlorination for municipal wastewater disinfection: Assessment of performance limitations. **Water Environment Research**. v.68. n.2. pp.194-204. 1996.

BRASIL. Resolução RDC da ANVISA/MS nº 14, de 28 de fevereiro de 2007. Aprova Regulamento Técnico para Produtos com Ação Antimicrobiana, harmonizado no âmbito do Mercosul, e dá outras providências. **Diário Oficial** [da República Federativa do Brasil], Brasília, n.43, 5 de março de 2007. Seção 1.

BRASIL. Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial** [da República Federativa do Brasil], Brasília. 14 dez. 2011. Seção 1.

BRASIL. Portaria de Consolidação n.5, de 28 de setembro de 2017, Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. **Diário Oficial** [da República Federativa do Brasil], Brasília, 28 de setembro de 2017.

BRASIL. Portaria GM/MS n.888, de 4 de Maio de 2021, Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial** [da República Federativa do Brasil]. Brasília. Edição.85. Seção 1. Página.127. 07/05/2021.

BRASIL. Resolução RDC da ANVISA nº 693, de 13 de maio de 2022. Dispõe sobre as condições para registro de produtos saneantes com ação antimicrobiana. **Diário Oficial** [da República Federativa do Brasil]. Brasília. n.93. 18 de maio de 2022. Seção 1.

BRASIL. Resolução RDC da ANVISA nº 774, de 15 de fevereiro de 2023. Dispõe sobre as condições para o registro e a rotulagem de produtos saneantes com ação antimicrobiana. **Diário Oficial** [da República Federativa do Brasil]. Brasília. n.36. 22 de fevereiro de 2023.

BRASIL. Resolução RDC da ANVISAMS nº 59, de 17 de dezembro de 2010. Dispõe sobre os procedimentos e requisitos técnicos para a notificação e o registro de produtos saneantes e dá outras providências. **Diário Oficial** [da República Federativa do Brasil], Brasília, n.244, de 22 de dezembro de 2010. Seção 1.

BRASIL. Resolução RDC da ANVISA/MS nº 40, de 5 de junho de 2008. Aprova o Regulamento Técnico para Produtos de Limpeza e Afins harmonizado no âmbito do Mercosul através da Resolução GMC nº 47/07. **Diário Oficial** [da República Federativa do Brasil], Brasília, n.107, de 6 de junho de 2008. Seção 1.

BRASIL. Resolução RDC da ANVISA/MS nº 694, de 13 de maio de 2022. Dispõe sobre os critérios para a regularização de produtos de limpeza e afins e sobre a biodegradabilidade de tensoativos aniônicos. **Diário Oficial** [da República Federativa do Brasil], Brasília, n.93, de 18 de maio de 2022. Seção 1.

BRASIL. Resolução RDC da ANVISA/MS nº 32, de 27 de junho de 2013. Dispõe sobre os procedimentos e requisitos técnicos para o registro de produtos saneantes corrosivos à pele ou que causem lesão ocular grave e dá outras providências. **Diário Oficial** [da República Federativa do Brasil], Brasília, n.123, de 28 de junho de 2013. Seção 1.

BRASIL. Resolução RDC da ANVISA/MS nº 697, DE 13 DE MAIO DE 2022. Dispõe sobre os requisitos de embalagem e rotulagem para o registro de produto saneante corrosivo à pele ou que cause lesão ocular grave. **Diário Oficial** [da República Federativa do Brasil], Brasília, n.93, de 18 de maio de 2022a. Seção 1.

CABAJ, A.; R. SOMMER; D. SCHOENEN. Bidosimetry: Model calculations for U.V. water disinfection devices with regard to UV dose distributions. **Water Research**. v.30. pp.1003– 1009. 1996.

CANADA. **Chlorine and Alternative Disinfectants Guidance Manual**. Manitoba: Water Stewardship – Office of Drinking Water. 117p. March 2005.

CDC. **Model Aquatic Health Code (MAHC) Disinfection and Water Quality Module CODE Draft Sections for the First 60-day Review**. Washington, D.C.: Department of Health and Human Services / CDC - Centers for Disease Control and Prevention. 27p. February 27, 2012.

CDC. **2016 Annex to the Model Aquatic Health Code - Scientific Rationale**. 2nd Edition. Atlanta: DHHS - U.S. Department of Health and Human Services / CDC -Centers for Disease Control and Prevention. July 2016a.

CDC. **Annex to the 2018 Model Aquatic Health Code, 3RD Edition**. Atlanta: CDC - Centers for Disease Control and Prevention / Department of Health and Human Services / U.S. Department of Housing and Urban Development. 256p. 2018.

CDC. **Annex to the 2023 Model Aquatic Health Code, 4th Edition SCIENTIFIC AND BEST PRACTICES RATIONAL**. Atlanta: CDC - Centers for Disease Control and Prevention / Department of Health and Human Services / U.S. Department of Housing and Urban Development. 249p. February 2023.

CDC. **The Model Aquatic Health Code (MAHC) Annex**. Washington, D.C.: DHHS - U.S. Department of Health and Human Services / CDC -Centers for Disease Control and Prevention. 366p. March 2014.

CARVALHO, T. **Espectro Eletromagnético**. Sd. Disponível em: <<https://www.infoescola.com/fisica/espectro-eletromagnetico/>>. Acesso em 01 de dezembro de 2022.

DAI, T.; VRAHAS, M. S.; MURRAY, C. K.; HAMBLIN, M. R. Ultraviolet C irradiation: an alternative antimicrobial approach to localized infections? **Expert Review of Anti-infective Therapy**. 22p. December 1, 2012.

DANIEL, L. A.; BRANDÃO, C. C. S.; GUIMARÃES, J. R.; et al. **Processos de desinfecção e desinfetantes alternativos na produção de água potável**. São Carlos: ABES-RJ/PROSAB2 – Programa de Pesquisa em Saneamento Básico 2. 139p. 2001.

FIJAN S.; TURK, S. S. Inactivation of *Enterococcus faecium* in Water and Hospital Laundry Wastewater by Disinfection Processes Utilizing Peroxyacetic Acid or Ultraviolet Radiation. **Journal of Pure and Applied Microbiology**. v.8. n.1, pp. 531-538. February, 2014.

JOHNSON, K. M.; KUMAR, M. R. A.; PONMURUGAN, P.; GANANAMANGAI, B. M. Ultraviolet radiation and its germicidal effect in drinking water purification. **Journal of Phytotherapy Biotechnology**. V.2. n.5. pp.12–19. 2010.

KUO, J.; SMITH, S. O. Disinfection. **Water Environment Research**. v.68. n.4. pp.503-510. 1996.

LA MATTER, D. **Swimming Pool Chemistry**. Disponível em: <<http://www.dougdellamatter.com/website1/science/chemistry/pool/pool1.pdf>>. Acesso em 20 de fevereiro de 2018.

LANZA, J. . **Desinfecção de embalagem utilizando radiação ultravioleta – Parte 1**. 13 de novembro de 2016. Disponível em: <<https://foodsafetybrazil.org/desinfeccao-de-embalagem-utilizando-radiacao-ultravioleta-parte-1/>>. Acesso em 01 de dezembro de 2022.

NAVMEC. **Manual of Naval Preventive Medicine Chapter 4 RECREATIONAL WATER FACILITIES**. NAVMED P-5010-4 (Rev. 6-2020). Washington, DC: Bureau of Medicine and Surgery. 142p. 30 June 2020.

NUVOLARI, A.; TELLES, D. D.; RIBEIRO, J. T.; et al. **Esgoto Sanitário – Coleta, transporte, tratamento e reúso agrícola**. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda. 520p., 2003.

NSW. **Public swimming pool and spa pool advisory document**. Sydney: Health Protection NSW (New South Wales) / NSW Government. 92p. 2013.

OKUNO, E.; VILELA, M. A. C. **Radiação Ultravioleta: Características e efeitos**. 1a. Edição. São Paulo: Livraria da física. 78p. 2005.

ORAM, B. **UV Disinfection Drinking Water Treatment**. 2020. Disponível em: <<https://www.archive-water-research.net/index.php/water-treatment/water-disinfection/uv-disinfection>>. Acesso em 29 de agosto de 2024.

PWTAG. **Code of Practice - The Management and Treatment of Swimming Pool Water**. Pool Water Treatment Advisory Group. July 2021/Update January 2022. Disponível em: <<https://www.pwtag.org/download/pwtag-code-of-practice/?wpdmdl=2378&refresh=61483edc46a791632124636>>. Acesso em 23 de março de 2022.

RAO, B. K.; KUMAR, P.; RAO, S; GURUNG, B. Bactericidal effect of ultraviolet C (UVC), direct and filtered through transparent plastic, on Gram-positive cocci: an in vitro study. **Ostomy Wound Manage**. v.57. n.7. pp.46–52. 2011.

RATHNASINGHE, R.; JANGRA, S.; MIORIN, L.; SCHOTSAERT, M.; et al. The virucidal effects of 405 nm visible light on SARS-CoV-2 and influenza A vírus. **Scientific Reports**. v.11. 10p. 2021.

RAY, C. **Low Cost Emergency Water Purification Technologies. Chapter 4 Disinfection. Systems.** Integrated Water Security Series. pp.55-86. 2014.

REIFF, F. M.; WITT, V. M. **Manual de desinfección - Guías para la selección y aplicación de tecnologías de desinfección del agua para consumo humano en pueblos pequeños y comunidades rurales en América Latina y el Caribe.** Serie Técnica nº 30. Washington, D.C.: OPA/DSA – Organización Panamericana de La Salud/División de Salud y Ambiente. 227p. Septiembre 1995.

RODRIGUES, E. A. M.; MARKS, R. H. Análise da eficiência do tratamento de água utilizando processo oxidativo avançado. **IN:** 31º Encontro Técnico AESabesp. São Paulo: Associação dos Engenheiros da SABESP/ Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. 24 a 26 de novembro 2020.

ROSSLER, P.; SEVERIN, B. **Modeling Disease Transmission and its Prevention by Disinfection.** Cambridge University Press. 1996.

SAGE-EMG. **Application of UV disinfection, visible light, local air filtration and fumigation technologies to microbial control.** 11p. London: Scientific Advisory Group for Emergencies. 2020. Disponível em: <<https://www.cibse.org/media/2pykq52m/s0744-4a-mhclg-housing-impacts-summary-paper.pdf>>. Acesso em 13 de setembro de 2023.

SAGRIPANTI, J. L.; LYTLE, C. D. Estimated Inactivation of Coronaviruses by Solar Radiation With Special Reference to COVID-19. **Photochemistry and Photobiology.** v.96. pp.731–737.2020.

ULTRAAQUA. **Escolhendo as Lâmpadas UV Certas para um Sistema UV.** 03 abril 2024. Disponível em: <<https://ultraaqua.com/pt-br/blog/lampadas-uv-para-sistemas-uv/>>. Acesso em 25 de agosto de 2024.

USPEPA. **Ultraviolet disinfection guidance manual for the final long term 2 enhanced surface water treatment rule.** Office of Water (4601) EPA 815-R-06-007. Washington, DC: USEPA - United States Environmental Protection Agency/Office of Water. 436p. November 2006.

WAHMAN, D. G. **Chlorinated Cyanurates (Dichlor & Trichlor) Water Chemistry Implications.** USEPA: EPA Small Systems Webinar Series. 31p. January 30, 2018.

WAITE, T. D.; KAZUMI, J.; LANE, P. V. Z.; FARMER, L. L.; SMITH, S. G.; SMITH, S. L.; HITCHCOCK, G.; CAPO, T. R. Removal of natural populations of marine plankton by a large-scale ballast water treatment system. **Marine ecology progress series.** v.258. pp.51-63. 2003;

WATER RESEARCH. **Ultraviolet Disinfection Process for Water Treatment.** 2021. Disponível em: <<https://www.knowyourh2o.com/indoor-4/uv-disinfection>>. Acesso em 25 de agosto de 2024.

WHO. **WHO guidelines for drinking water quality: training pack. Water, Sanitation and Health Series. Technical aspects (disinfection).** Geneva: WHO - World Health Organization. 391p. 2000. Disponível em: <<https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/66218/a68673.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em 24 de junho de 2023.

WOJTOWICZ, J. A. Effect of Cyanuric Acid on Swimming Pool Maintenance. **Journal of the Swimming Pool and Spa Industry.** v.5. n.1. pp.15-19. 2004.

WRIGHT, H. B.; CAIRNS, W. L. **Desinfección de agua por medio de luz ultravioleta.** Disponível em: <<https://www.contraplagas.com/images/archivos/conductos.pdf>>. Acesso em 25 fevereiro de 2000.

Parte 2 – ULTRASSOM

I- Introdução

O princípio desse método é a emissão de ondas sonoras na água com objetivo de eliminar os organismos presentes no meio aquoso (TSOLAKI, DIAMADOPOULOS, 2010). De acordo com NRC (1996) apud PEREIRA, BRINATI (2018b), o ultrassom, em frequências e escalas de potência apropriadas, destrói microrganismos nos líquidos por meio de esforços mecânicos localizados, resultantes da **cavitação**.

O efeito do ultrassom baseia-se em alterações físicas e químicas na destruição de organismos e na ruptura das membranas celulares, resultante da cavitação, cuja intensidade é influenciada pela frequência, densidade de potência, tempo de exposição e propriedades do sistema (SASSI, VIITASALO, RYTKÖNEN, LEPPÄKOSKI, 2005).

Quando sonicando líquidos em altas intensidades, as ondas sonoras que se propagam para o meio líquido resultam em áreas alternadas de alta pressão (compressão) e ciclos de baixa pressão (rarefeitos), com taxas dependendo da frequência. Durante o ciclo de baixa pressão, ondas **ultrassônicas** de alta intensidade criam bolhas de vácuo pequenas ou espaços vazios no líquido. Quando as bolhas atingem um volume em que ela não pode mais absorver a energia, ocorre um colapso violento durante um ciclo de alta pressão. Esse fenômeno é denominado **cavitação**. Durante a implosão temperaturas muito elevadas ($\cong 5.000$ K) e pressões ($\cong 2.000$ atm) são alcançadas localmente. A implosão da bolha de cavitação também resulta em jatos de líquido com velocidade de até 280 m/s velocidade (HIELSCHER, 2022).

A onda mecânica longitudinal se propaga através do meio físico, a propagação da onda no meio provoca compressão (pressão positiva) e rarefação (pressão negativa), formando bolhas, o principal mecanismo de atuação do ultrassom é pela cavitação (DITCHFIELD, 2020).

Nas baixas intensidades de ultrassom ocorre a cavitação estável formam-se bolhas que duram muitos ciclos, as altas intensidades de ultrassom ocorre a cavitação transitória a bolha cresce e arrebenta (DITCHFIELD, 2020).

O rompimento da bolha provoca a formação de uma corrente de fluxo, com alta tensão de cisalhamento, aumento de temperatura local e pressão, formação de onda de choque e próximo a superfícies sólidas jatos impingentes em alta velocidade. A cavitação é determinada pela frequência da vibração, intensidade da vibração, viscosidade do meio, tensão superficial, pressão de vapor, atenuação da vibração pelo meio, presença de bolhas de gás, temperatura e pressão (DITCHFIELD, 2020).

Existe uma intensidade mínima requerida para induzir a cavitação. A cavitação rompe células microbianas causando a sua inativação. Podem citar fatores que afetam a inativação: tamanho da célula, formato, organismos gram-negativos ou positivos, anaeróbios ou aeróbios, idade das células, células vegetativas ou esporos (DITCHFIELD, 2020).

O princípio desse método é a emissão de ondas sonoras na água com objetivo de eliminar os organismos e foi aplicado na água de lastro de navios (TSOLAKI, DIAMADOPOULOS, 2010). De acordo com NRC (1996) apud PEREIRA, BRINATI (2018b). O ultrassom, em frequências e escalas de potência apropriadas, destrói microrganismos nos líquidos por meio de esforços mecânicos localizados, resultantes da cavitação. Como já

citado, sistemas de tratamento ultrassônicos usam transdutores para gerar compressões e rarefações alternadas no líquido a ser tratado. A cavitação resultante é influenciada pela frequência, densidade da potência, tempo de exposição, e pelas propriedades físicas e químicas do líquido. As melhores frequências para destruição dos microrganismos situam-se na escala mais baixa de frequências ultrassônicas, de 15 a 100 quilohertz. A aplicação do tratamento de ultrassom em grandes volumes de líquido apresentou resultados variados.

A tecnologia tradicional de ultrassom tem sido aplicada a baixas taxas de fluxo, tipicamente 225-375 L/min. **Os sistemas experimentais de ultrassom têm sido aplicados no controle de parasitas como *Giardia* e *Cryptosporidium*, mas não foram encontrados dados de eficiência na literatura científica.** Nenhum resultado foi relatado em plantas piloto de larga escala usando desinfecção por ultrassom (SASSI, VIITASALO, RYTKÖNEN, LEPPÄKOSKI, 2005).

II- A Desinfecção

Para que ocorra **Desinfecção**, são necessários algumas condições dentre elas, **o tempo de contato do princípio ativo com o organismo, a concentração do princípio ativo em função do organismo que se deseja inativar.**

A **Redução Logarítmica de Microrganismos** é o termo utilizado para descrever a metodologia quantitativa de redução na contagem microbiana (Time Kill Decimal Reduction). Para determinar a redução logo temos que preparar uma suspensão de microrganismos (inóculo) e sabe-se quantos microrganismos nela existem. Por exemplo, nessa suspensão inoculamos uma solução antibacteriana (sanificante/sanificante), por um determinado tempo em uma temperatura, retiramos alíquotas, nas quais prontamente neutralizamos o princípio ativo da solução antibacteriana e novamente em meio de um cultivo fazemos a contagem dos microrganismos sobreviventes (Adaptado GRADIM, ANJOS, 2015).

Os organismos (por exemplo, vírus, bactérias, protozoários) no meio aquoso não crescem de 1 em 1. Em resumo, não aparecem na água 1, 2, 3, 4, 5, 6, ... organismos, etc... Os organismos crescem em **“ciclos logarítmicos na base 10”**, denominamos de **“ciclos log”**.

Por exemplo, existe na água **1 organismo (10^0)**, logo aparecem **10 organismos (10^1)**, depois aparecem **100 organismos (10^2)**, depois **1000 organismos (10^3)**, depois **10.000 organismos (10^4)**, depois **100.000 organismos (10^5)**; e simplesmente aparecem **1.000.000 organismos (10^6)** e assim por diante.

$$10^0 \rightarrow 10^1 \rightarrow 10^2 \rightarrow 10^3 \rightarrow 10^4 \rightarrow 10^5 \rightarrow 10^6 \dots$$

Na hora de eliminá-los não adianta inativar/matar 1 ou 2 ou 3, devem ser eliminados em **ciclos log**, ou seja, por exemplo, existe na água **10^6 organismos** (1 milhão de organismos) tem que passar pelo menos para **10^2 organismos** (100 organismos), ou seja, **reduziu 4 ciclos log ($6 - 2 = 4$)**.

Todo substância química e/ou sistema **que é capaz** de fazer a desinfecção com redução de “ciclos log” é **“BACTERICIDA”**!!

Toda a substância química e/ou sistema **QUE NÃO ATUA** reduzindo os organismos

em ciclos log é “**BACTERIOSTÁTICA**”.

Logo, quando cita “**DESINFECÇÃO**” significa que a atuação da substância química e/ou sistema deve ser com capacidade de redução em “**ciclos log**” na inativação de organismos.

O resultado do teste de desinfecção é expresso através da redução decimal da população microbiana ocorrida ao longo do tempo de contato do inóculo (água da piscina) com a substância química ou sistema de desinfecção. A redução Decimal da população microbiana é calculada através da seguinte fórmula (Adaptado GRADIM, ANJOS, 2015):

$$RD = \text{Log} \frac{N^0}{N^T}$$

RD = redução decimal
 N⁰ = n° de microrganismos inicial
 N^T = n° de microrganismos após tempo de contato T com o processo de desinfecção

$$PR = \left(1 - \frac{1}{10^{RD}}\right) \times 100$$

PR = porcentagem de redução da população microbiana.
 RD = Redução decimal

Com base nos cálculos apresentados na **Tabela 1** se comprova que reduzir **90% dos organismos (microrganismos) viáveis é uma redução muito baixa para qualquer proposta de controle da contaminação**, e que a exigência mínima na área de tratamentos de águas de piscinas é de 3 ciclos log (99,9%) a 4 ciclos log (99,99%).

TABELA 1– Eficiência de um processo de tratamento com relação a redução de porcentagem de organismos.

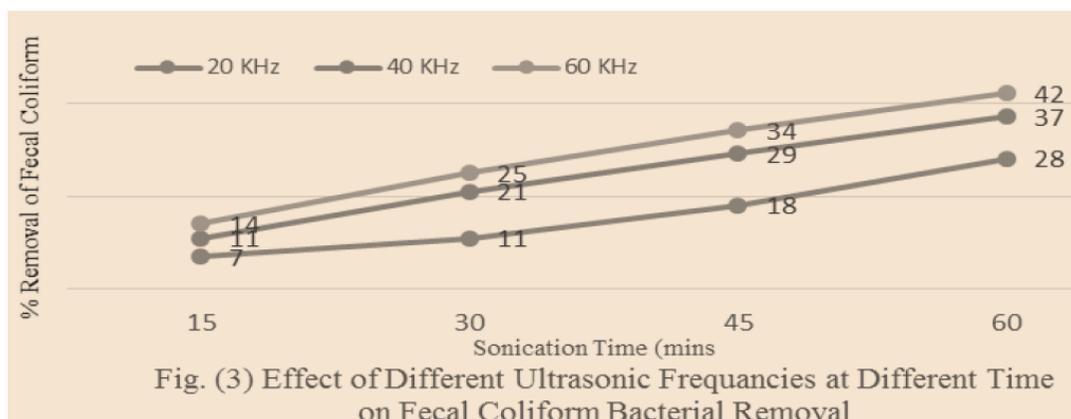
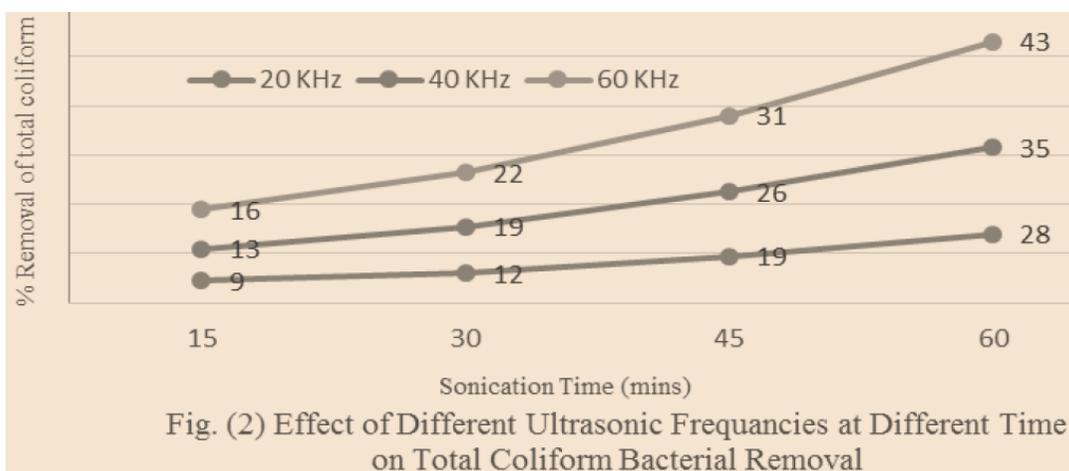
N° de organismo/m ³	Eficiência do tratamento	Quantidade de redução em potência de 10	Redução de ciclos logs	Quantidade de organismos existentes após o processo de desinfecção
1.000.000 (10 ⁶)	90%	10 ¹	1 ciclo log	100.000 (10 ⁵)
1.000.000 (10 ⁶)	99%	10 ²	2 ciclos log	10.000 (10 ⁴)
1.000.000 (10 ⁶)	99,9%	10 ³	3 ciclos log	1.000 (10 ³)
1.000.000 (10 ⁶)	99,99%	10 ⁴	4 ciclos log	100 (10 ²)
1.000.000 (10 ⁶)	99,999%	10 ⁵	5 ciclos log	10 (10 ¹)
1.000.000 (10 ⁶)	99,9999%	10 ⁶	6 ciclos log	1 (10 ⁰)
1.000.000 (10 ⁶)	20,567%	10 ^{0,1}	0,1 ciclos log	794.328,234 (10 ^{5,9})
1.000.000 (10 ⁶)	49,881%	10 ^{0,3}	0,3 ciclos log	501.187,233 (10 ^{5,7})
1.000.000 (10 ⁶)	74,881%	10 ^{0,6}	0,6 ciclos log	251.188,643 (10 ^{5,4})
1.000.000 (10 ⁶)	84,151%	10 ^{0,8}	0,8 ciclos log	158.489,319 (10 ^{5,2})
1.000.000 (10 ⁶)	99,949%	10 ^{3,3}	3,3 ciclos log	501,187 (10 ^{2,7})
1.000.000 (10 ⁶)	99,800%	10 ^{2,7}	2,7 ciclos log	1.995,262 (10 ^{3,3})
1.000.000 (10 ⁶)	96,018%	10 ^{1,4}	1,4 ciclos log	39.810,717 (10 ^{4,6})

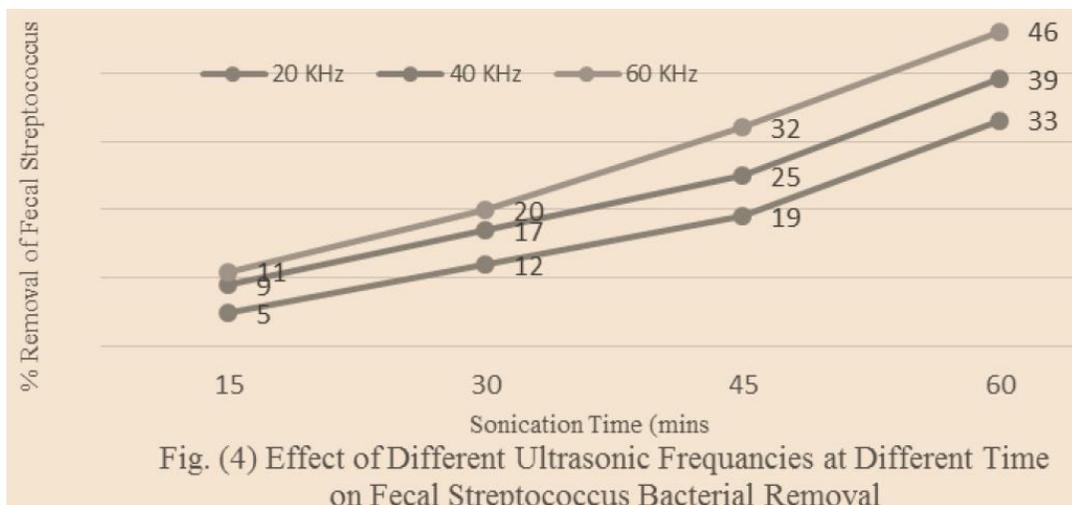
Fonte: Adaptado MACEDO, 2020.

III- O ultrassom e a capacidade de desinfecção

A pesquisa de ALI, KAMEL, WAHBA (2020) estudou os efeitos aprimorados do ultrassom como oxidante não químico na coagulação tradicional de matérias-primas da água com alumínio para remoção de microrganismos. Os processos de tratamento foram estudados usando ultrassom com frequências; 20, 40 e 60 KHz em diferentes intervalos de tempo, ou seja, 15, 30, 45 e 60 minutos. O estudo revelou que a porcentagem de remoção de coliformes totais, coliformes fecais e *Streptococcus fecalis* variou entre 5% - 46%, no intervalo de 15 a 60 minutos. Ocorreu uma correlação positiva entre intensidade ultrassônica, tempo de sonicação e remoção bacteriana. Há mudanças morfológicas claras nos organismos de algas sem ruptura celular, especialmente algas verdes devido ao liberação de pigmentos fotossintéticos "Clorofila". Não foram detectadas alterações no teor de clorofila A, em amostras pré-tratada com frequências ultrassônicas de 20, 40 e 60 KHz por 60 min, diminuíram a dose de alumínio em 6,7%, 13,3% e 20%, respectivamente.

Os gráficos a seguir apresentam as porcentagens de redução obtidos para efeitos de diferentes frequência e tempos de contato para redução de coliformes totais, coliformes fecais e *Streptococcus fecalis* (que não organismos de referência) (ALI, KAMEL, WAHBA, 2020).





QUADRO 1- Características de desempenho exigidas de sanitizadores eficazes contra os organismos teste recomendados para águas de piscinas de natação e spa.

Organismo teste	Número de reduções em ciclo log10 a ser alcançado	Tempo de exposição a substância/sistema para levar a redução em ciclos log10
Bactérias		
<i>Escherichia coli</i>	4	30 segundos
<i>Enterococcus faecium</i>	4	2 minutos
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> (para piscinas spa)	4	2 minutos
<i>Legionella pneumophila</i> (para piscinas spa)	4	2 minutos
Vírus		
Adenovírus (desagregados) ¹	3	10 minutos
Rotavírus (desagregados) ¹	3	2 minutos
Protozoários		
<i>Neogleria fowleri</i> (cistos)	4	30 minutos
<i>Giardia duodenalis</i> ² (cistos) ou <i>G. muris</i> ³ (cistos)	4	45 minutos

Entre os vírus, o *Enterovírus* pode ser adicionado à lista acima, mas as características de desempenho contra o cloro livre não são conhecidas.

Entre os protozoários, o *Cryptosporidium* pode ser adicionado à lista acima, mas as características de desempenho em relação à cloro livre não são conhecidas.

1 Antes da exposição ao teste, as suspensões de vírus precisam ser tratadas para desacoplar agrupamentos agregados de partículas de vírus.

2 Os sinônimos mais antigos na literatura para essa espécie são *G. lamblia* e *G. intestinalis*.

3 O patógeno animal *G. muris* pode ser usado como substituto do patógeno humano.

Fonte: OECD, 2012; AUSTRALIAN GOVERNMENT, 2007, 2014; SOUTH AFRICA, 2016.

A Resolução RDC da ANVISA/MS 14/2007 (BRASIL, 2007), atualmente, Resolução RDC da ANVISA nº 693/2022 (BRASIL, 2022), revogada pela **RDC 774/2023** (BRASIL, 2023) no ANEXO II indica os microrganismos de referência para avaliação de atividade de sanitizantes em águas de piscinas, que, são *Enterococcus faecium* e *Escherichia coli*. Logo, testes de eficiência para sistemas que se propõe ao processo de desinfecção de águas de piscinas têm que mostrar eficiência frente ao *Enterococcus faecium* e *Escherichia coli*.

IV- Conclusão

O sistema de ULTRASSOM pelos resultados apresentados **NÃO CONSEGUE FAZER O PROCESSO DE DESINFECÇÃO NA ÁGUA DE UMA PISCINA**, o máximo de redução (inativação) que alcança o sistema é **46% dos organismos presentes**, quando **a exigência de eficiência é de 99,9% a 99,99% de inativação dos microrganismos de referência presentes na água da piscina**. Logo, **NÃO SE INDICA A UTILIZAÇÃO DE ULTRASSOM NO TRATAMENTO DE ÁGUAS DE PISCINAS**.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALI, N. F.; KAMEL, Z. M.; WAHBA, S. Z. Ultrasonic as Green Chemistry for Bacterial and Algal Control in Drinking Water Treatment Source. **Egyptian Journal of Chemistry**. v.63. n.10. pp.4055-4062. 2020.

AUSTRALIAN GOVERNMENT. **Demonstrating efficacy of pool and spa sanitisers**. Disponível em: <<https://apvma.gov.au/node/1039>>. Acesso em 30 de agosto de 2014.

AUSTRALIAN GOVERNMENT. **APVMA Guide for demonstrating efficacy of pool and spa sanitisers**. Kingston: Australian Pesticides and Veterinary Medicines Authority. 10p. 2007.

BRASIL. Resolução RDC da ANVISA nº 693, de 13 de maio de 2022. Dispõe sobre as condições para registro de produtos saneantes com ação antimicrobiana. **Diário Oficial** [da República Federativa do Brasil]. Brasília. n.93. 18 de maio de 2022. Seção 1.

BRASIL. Resolução RDC da ANVISA nº 774, de 15 de fevereiro de 2023. Dispõe sobre as condições para o registro e a rotulagem de produtos saneantes com ação antimicrobiana. **Diário Oficial** [da República Federativa do Brasil]. Brasília. n.36. 22 de fevereiro de 2023.

BRASIL. Resolução RDC da ANVISA nº 774, de 15 de fevereiro de 2023. Dispõe sobre as condições para o registro e a rotulagem de produtos saneantes com ação antimicrobiana. **Diário Oficial** [da República Federativa do Brasil]. Brasília. n.36. 22 de fevereiro de 2023.

DITCHFIELD, C. **Processamento por Ultrassom**. 21/11/2020. Disponível em: <https://edisiplinas.usp.br/pluginfile.php/5609732/mod_resource/content/2/Slides%20Processamento%20por%20Ultrassom.pdf>. Acesso 03 de dezembro de 2022.

GRADIN, A. J.; ANJOS, M. **Guia de Microbiologia – 1a. edição**. São Paulo: ABDI/ABIHPEC/SEBRAE. 109p. 2015.

HIELSCHER. **Cavitação ultra-sônica em líquidos**. Disponível em: <<https://www.hielscher.com/pt/ultrasonic-cavitation-in-liquids-2.htm>>. Acesso em 04 de dezembro de 2022.

MACEDO, J. A. B. **Água de Lastro & Mexilhão dourado & Inscrustações X Hidrelétricas (A História)**. Belo Horizonte: CRQ-MG. 323p. 2020.

NRC. **Stemming the Tide: Controlling Introductions of Nonindigenous Species by Ship's Ballast Water**. Washington, D. C.: NRC - National Research Council / Committee on Ship's Ballast Operations, Marine Board / Commission on Engineering and Technical Systems / National Academy Press. 141p. 1996.

OECD. **Guidance document for demonstrating efficacy of pool and spa disinfectants in laboratory and field testing**. Paris: OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) Publications Environment, Health and Safety. 30p. 08 Oct 2012.

PEREIRA, N. N; BRINATI, H. L. Uso da água de lastro pelos navios. Cap.1. **IN: PEREIRA, N. N (org). Água de lastro: gestão e controle.** São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda. p.23-32. 2018.

SASSI, J.; VIITASALO, S.; RYTKÖNEN, J.; LEPPÄKOSKI, E. **Experiments with ultraviolet light, ultrasound and ozone technologies for onboard ballast water treatment.** Espoo 2005. Valopaino Oy / Helsinki: VTT Industrial Systems / JULKAISIJA ñ UTGIVARE ñ PUBLISHER. 80p. 2005.

SOUTH AFRICA. **Guidelines for registration of swimming pool and spa pool remedies.** Pretoria: Department Agriculture, Forestry & fisheries / Republic of South Africa. 11p. 2016.

TSOLAKI, E.; DIAMADOPOULOS, E. Technologies for ballast water treatment: a review. **Journal of Chemical Technology and Biotechnology.** v.85. n.1. pp.19-32. January 2010.