



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ – UFOPA
INSTITUTO DE ENGENHARIA E GEOCIÊNCIAS – IEG
BACHARELADO EM ENGENHARIA FÍSICA**

GABRIELE DOS SANTOS BEZERRA

**ANÁLISE HIDRODINÂMICA DE UM SISTEMA DE DESINFECÇÃO DE AR
POR UV-C**

SANTARÉM

2024

GABRIELE DOS SANTOS BEZERRA

**ANÁLISE HIDRODINÂMICA DE UM SISTEMA DE DESINFECÇÃO DE AR
POR UV-C**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Programa de Ciência e Tecnologia para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Física na Universidade Federal do Oeste do Pará, Instituto de Engenharia e Geociências.

Orientador: Nelson de Souza Amorim

SANTARÉM

2024

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBI/UFOPA

- B574a Bezerra, Gabriele dos Santos
Análise hidrodinâmica de um sistema de desinfecção de ar por UV-C./ Gabriele dos Santos Bezerra. - Santarém, 2024.
22 p. : il.
Inclui bibliografias.
- Orientador: Nelson de Souza Amorim.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Oeste do Pará, Instituto de Engenharias e Geociências, Bacharelado em Engenharia Física.
1. Análise Hidrodinâmica. 2. Desinfecção de ar. 3. Covid-19. 4. Radiação UVC. I. Amorim, Nelson de Souza, *orient.* II. Título.

CDD: 23 ed. 532.5



UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ
INSTITUTO DE ENGENHARIA E GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Termo de Autorização para Defesa ou solicitação de crédito para o TCC

IDENTIFICAÇÃO DO (A) ORIENTANDO E TRABALHO

Nome do Discente: Gabriele dos Santos Bezerra

E-mail: bezerragabriele6@gmail.com

Fone: (93) 99177 - 1840

Nome Orientador (a): Nelson de Souza Amorim

Modalidade do trabalho de conclusão de curso:

() Trabalho monográfico (TCC);

(X) Artigos originais, artigos de revisão de literatura, artigos de estudo de caso e produções tecnológicas;

() Patentes e registros de propriedade intelectual e de softwares;

() desenvolvimento de aplicativos, materiais didáticos e instrucionais, cartilhas e de produtos, processos e técnicas;

() relatórios conclusivos de pesquisa aplicada;

() protótipos para desenvolvimento de equipamentos e produtos específicos;

() projetos de inovação tecnológica.

Título do Trabalho: ANÁLISE HIDRODINÂMICA DE UM SISTEMA DE DESINFECÇÃO DE AR POR UV-C.

Título do Projeto ao qual o trabalho é vinculado(exceto dissertações): _____

Data prevista para a defesa em caso de trabalho monográfico: ____/____/____

Horário Agendado: ____ h ____ min.

Local: _____

AUTORIZAÇÃO

Como Orientador(a) acompanhei a elaboração, tenho ciência do conteúdo, concordo e autorizo o encaminhamento do trabalho científico como Trabalho de Conclusão do Curso de () **curso de Bacharelado Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia** (X) **Curso de Bacharelado Profissionalizante**, estando em conformidade com as normas recomendadas pelo guia de normatização da produção científica da UFOPA (resolução N° 187 de 23 de fevereiro de 2017) e o Regimento de TCC do referido curso, atestando a veracidade das informações.

Santarém – PA, 02 de Outubro de 2024.

Assinatura do Orientando (a)

Documento assinado digitalmente

NELSON DE SOUZA AMORIM

Data: 02/10/2024 16:34:12-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Documento assinado digitalmente

JOSECELY FIALHO GOES

Data: 03/10/2024 12:54:28-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Ciente da Coordenação de TCC

RESUMO

Em 11 de março de 2020 foi declarado a pandemia do novo coronavírus (SARS-coV-2), pela Organização Mundial da Saúde (OMS) e assim, ocasionando a paralisação das instituições federais, incluindo a UFOPA. A COVID-19 é uma doença com alta taxa de transmissão, tanto por contato direto entre pessoas, por exemplo, gotículas expelidas ao tossir ou espirrar, ou por contato indireto, como pela circulação do ar em ambientes fechados. Para evitar a propagação do vírus foi recomendado e posteriormente obrigatório, uso de máscara e o distanciamento social. Para reduzir os riscos de contágio e disseminação da COVID-19 na universidade, foi desenvolvido um sistema de desinfecção de ar a partir da tecnologia de irradiação ultravioleta germicida. Portanto, o presente trabalho tem como objetivo apresentar a análise hidrodinâmica de um sistema de desinfecção do ar por radiação UV-C, tendo como parâmetros importantes do escoamento: perfil de velocidade, perda de carga, fator de atrito, dosagem de radiação, tempo de exposição e intensidade de radiação, em função das características geométricas do sistema de desinfecção.

Palavras-chave: Análise Hidrodinâmica; Desinfecção de ar; Covid-19; Radiação UVC.

ANÁLISE HIDRODINÂMICA DE UM SISTEMA DE DESINFECÇÃO DE AR POR UV-C

Gabriele dos Santos Bezerra ⁽¹⁾ (bezerragabriele6@gmail.com)

Nelson de Souza Amorim ⁽²⁾ (nelson.amorim@ufopa.edu.br)

⁽¹⁾ Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA); Programa de Ciência e Tecnologia (PCT)

⁽²⁾ Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA); Programa de Ciência e Tecnologia (PCT)

RESUMO: Em 11 de março de 2020 foi declarado a pandemia do novo coronavírus (SARS-coV-2), pela Organização Mundial da Saúde (OMS) e assim, ocasionando a paralisação das instituições federais, incluindo a UFOPA. A COVID-19 é uma doença com alta taxa de transmissão, tanto por contato direto entre pessoas, por exemplo, gotículas expelidas ao tossir ou espirrar, ou por contato indireto, como pela circulação do ar em ambientes fechados. Para evitar a propagação do vírus foi recomendado e posteriormente obrigatório, uso de máscara e o distanciamento social. Para reduzir os riscos de contágio e disseminação da COVID-19 na universidade, foi desenvolvido um sistema de desinfecção de ar a partir da tecnologia de irradiação ultravioleta germicida. Portanto, o presente trabalho tem como objetivo apresentar a análise hidrodinâmica de um sistema de desinfecção do ar por radiação UV-C, tendo como parâmetros importantes do escoamento: perfil de velocidade, perda de carga, fator de atrito, dosagem de radiação, tempo de exposição e intensidade de radiação, em função das características geométricas do sistema de desinfecção.

PALAVRAS-CHAVE: ANÁLISE HIDRODINÂMICA; DESINFECÇÃO DE AR; COVID-19; RADIAÇÃO UVC.

HYDRODYNAMIC ANALYSIS OF AN AIR DISINFECTION SYSTEM BASED ON ULTRAVIOLET RADIATION TECHNOLOGY

ABSTRACT: On March 11, 2020, the new coronavirus pandemic (SARS-coV-2) was declared by the World Health Organization (WHO) and thus, causing the paralysis of federal institutions, including UFOPA. COVID-19 is a disease with a high transmission rate, both through direct contact between people, for example, droplets

expelled when coughing or sneezing, or through indirect contact, such as through air circulation in closed environments. To prevent the spread of the virus, it was recommended and later mandatory, to wear a mask and social distance. To reduce the risks of contagion and spread of COVID-19 at the university, an air disinfection system was developed using germicidal ultraviolet irradiation technology. Therefore, the present work aims to present the hydrodynamic analysis of an air disinfection system using UV-C radiation, having as important flow parameters: speed profile, pressure loss, friction factor, radiation dosage, time of radiation exposure and intensity, depending on the geometric characteristics of the disinfection system.

KEYWORDS: HYDRODYNAMIC ANALYSIS; AIR DISINFECTION; COVID-19; UVC RADIATION.

1. INTRODUÇÃO

A pandemia do novo coronavírus foi declarada em 2020 pela Organização Mundial da Saúde (OMS). A SARS-coV-2 é definida como uma infecção respiratória aguda de alta taxa de transmissão, e assim como outros vírus respiratórios, sua transmissão pode ocorrer por três formas: contato, gotículas e partículas (aerossóis). A transmissão por contato ocorre quando existe contato direto com uma pessoa infectada, como por exemplo em um aperto de mão. A transmissão por gotículas é a transmissão da infecção, por exemplo, mediante uma pessoa infectada quando esta tosse ou espirra. A transmissão por partículas menores que são aerossóis, estas são capazes de sobreviver suspensas no ar por um tempo que pode durar horas. (BRASIL. Ministério da Saúde, 2021).

A propagação da COVID-19 por via área pode acontecer em situações especiais, como em um ambiente fechado, a pessoa contaminada gera gotículas respiratórias por um longo período, superior a 15 minutos. Neste caso, uma quantidade significativa de vírus pode sobreviver no ambiente de modo que, causará contaminações em pessoas que circulam naquele ambiente ou que passaram naquele ambiente, posteriormente a saída da pessoa contaminada (BRASIL. Ministério da Saúde, 2021).

A irradiação ultravioleta germicida (UVGI), possui diversas aplicações, tais como: descontaminação e purificação de água, ar e superfícies, através da inativação de microrganismos pelas modificações nos ácidos nucleicos, comprometendo assim o desempenho nas suas funções metabólicas (KOWALSKI, 2009).

A sensibilidade microbiana à luz ultravioleta é afetada amplamente de acordo com as espécies microbianas. As bactérias, vírus e fungos reagem a exposição aos raios ultravioletas em taxas (KOWALSKI, 2009). A faixa UV-C são especificamente prejudiciais às células porque são absorvidos por proteínas RNA e DNA (BOLTON; COTTON, 2008)

A análise hidrodinâmica é o estudo do comportamento dos movimentos fluidos, este é definido como uma substância que se deforma sempre que submetido a uma determinada tensão de cisalhamento, esta é desenvolvida quando uma força atua tangencialmente em uma superfície. O fluido apresenta liberdade de movimento, desta forma os fluidos possuem a facilidade de serem deformados, ou seja, podendo ser alterado de sua forma original (MUNSON, 2004).

Os escoamentos dos fluidos podem ser de três formas: laminar, que são definidos por terem camadas muito estreitas, escoamento transitório onde o fluido passa por mudanças na velocidade

e o escoamento turbulento que é um movimento mais desordenado de partículas (ARMANDO, 2000).

Há fatores importantes para o escoamento como o fluxo que representa a quantidade que cruza uma determinada área e com um determinado tempo. A pressão é um dos fatores que influenciam o fluido, esta é definida como a força aplicada sobre uma superfície. O fluido pode escoar em diferentes pressões e regiões, por exemplo, de alta para baixa pressão (MUNSON, 2004).

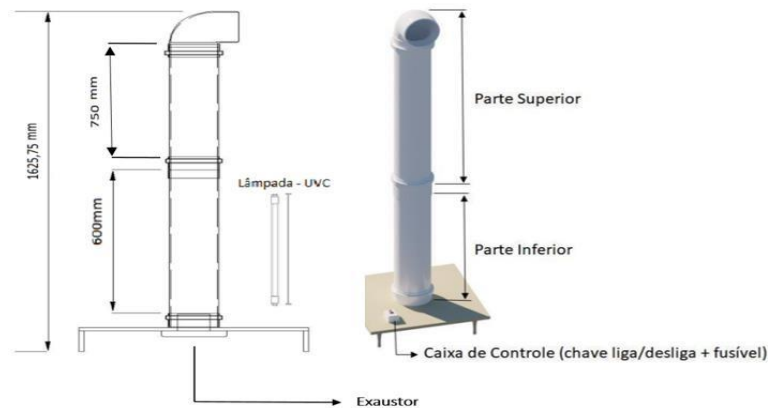
A importância do escoamento em tubos é exemplificada pela condução do sangue através do corpo do ser humano e também sistema de distribuição de água, os exemplos foram de sistemas que se diferem, porém, com os mesmos princípios da mecânica dos fluidos que descrevem os escoamentos. Um fator importante no escoamento em condutos é o número de Reynolds. Desta forma, não é só a velocidade do fluido que define a caracterização do escoamento, existem outros parâmetros sendo estes: massa específica, viscosidade e as dimensões do tubo (MUNSON, 2004).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Foi desenvolvido um sistema de desinfecção de ar por radiação UV-C, onde no centro no tubo de 600mm é instalado a lâmpada germicida que é revestido por um material refletivo que tem por finalidade manter a irradiância, desta forma o ar será esterilizado e retornará ao ambiente de forma mais limpa (BEZERRA, 2022).

A estrutura base do sistema são tubos de PVC com diâmetro de 150mm com comprimento para o tubo inferior 600mm e 750mm para o tubo superior e na base do sistema de desinfecção localiza-se o exaustor da marca Ventisol, modelo EXB 150, conforme a figura 1:

FIGURA 1. Estrutura do sistema de desinfecção.



Fonte: AUTOR (2022).

2.1 Zona de irradiação

A luz ultravioleta existe dentro de uma faixa, entre 100nm e 400nm, esta é dividida no espectro eletromagnético: UV-A com comprimento de onda UV de 315nm a 400nm, UV-B, de 280nm a 315nm e UV-C de 100nm a 280 nm (TRINDADE et al, 2020). As lâmpadas UV-C promovem ação germicida e tem seu funcionamento semelhante as lâmpadas fluorescentes comuns, tendo diferença por não conter revestimento fosfórico (MATHEUS; CANESIN, 2013).

Existe a possibilidade de ampliar a eficácia da zona de irradiação utilizando materiais refletivos. O material mais comum utilizado é o alumínio. O processo de reverti as superfícies internas de uma unidade de tratamento de ar, tem a capacidade de ampliar o campo de irradiância UV (KOWALSKI, 2009), como pode ser visto na figura 2 abaixo:

FIGURA 2. Zona de irradiação.



Fonte: AUTOR (2022).

A quantificação da atividade germicida da lâmpada UV, é baseada pela dose de radiação, no qual D é a dose de radiação UV (J/m^2), I a intensidade da radiação (W/m^2) e t o tempo de exposição (s), este depende da vazão (m^3/s) e da área (m^2) (KOWALSKI, 2009). Para determinar a dose de radiação:

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

O tempo de exposição:

$$t = \frac{A}{Q} \quad (2)$$

A intensidade de radiação UVC é dada pela lei de Gauss, onde β é a fração de radiação UVC emitida pela lâmpada, ρ é o coeficiente que depende da refletividade interna, sendo: $\rho = \frac{1}{1-Res}$, onde Res é a refletividade, P é a potência (W), r a distância radial a partir do eixo da lâmpada até a parede do tubo e L o comprimento da lâmpada (m^2) (NICOLAS, 2020). A intensidade é dada pela equação:

$$I = \beta \cdot \frac{1}{1-Res} \cdot \frac{P}{2 \cdot \pi \cdot r \cdot L} \quad (3)$$

Na dosagem de inativação para SARS-coV-2, onde com a exposição dos raios ultravioletas, as populações microbianas decaem de forma exponencial, na forma de dose de 90% e 99% de inativação, sendo D_{90} e D_{99} . Podem ser calculadas da seguinte forma: $D_{90} = 2,3026/k$ e $D_{99} =$

4,60517/k, onde o valor $k = 0,1867 \text{ (m}^2/\text{J)}$, este sendo a constante de suscetibilidade aos raios UV (BIANCO, 2020). Para D_{90} e D_{99} :

$$D_{90} = \frac{4,3046}{0,1867} = 12,33 \text{ J/m}^2 \quad (4)$$

$$D_{99} = \frac{4,60517}{0,1867} = 24,66 \text{ J/m}^2 \quad (5)$$

2.2 Análise hidrodinâmica

O estudo relacionado ao movimento dos fluidos, como líquidos e ar que são considerados incompressíveis, em especial água e gases com baixa velocidade, são denominados comumente de hidrodinâmica. A análise hidrodinâmica é o estudo do comportamento de um fluido em movimento, tendo como princípios suas propriedades físicas, por exemplo, pressão, viscosidade e densidade.

Outras propriedades que vão depender do tipo de escoamento são: velocidade do fluido e perdas de cargas, além disso, é necessário considerar as condições de contorno do fluido, permitindo a compreensão e prevendo o comportamento do fluido em condições diversas (CENGEL; CIMBALA, 2015).

O escoamento de um fluido pode ser de forma laminar ou turbulento, as diferenças entre os escoamentos podem ser observadas a partir da admissão do fluido escoando em um tubo, este apresenta um diâmetro d e com uma velocidade média V (MUNSON, 2004).

$$Q = V \cdot A \quad (6)$$

Onde:

Q = vazão volumétrica, m^3/s

V = velocidade do fluido, m/s

A = área da seção transversal do tubo, m^2

O número de Reynolds é utilizado na mecânica dos Fluidos para determinar a diferença entre os tipos de escoamentos. As leis que moldam os movimentos dos fluidos têm uma abordagem dos sistemas que considera uma massa fixa de fluido, já a de volume de controle, considerando um volume. Desta forma, o número de Reynolds dá uma relação entre a taxa de variação de uma determinada propriedade para um sistema e posteriormente para um volume de controle (MUNSON, 2004), onde: ρ = massa específica do fluido (kg/m^3), V = velocidade do fluido (m/s), D = Diâmetro do tubo (m) e μ = Viscosidade dinâmica do fluido, $N.s/m^2$.

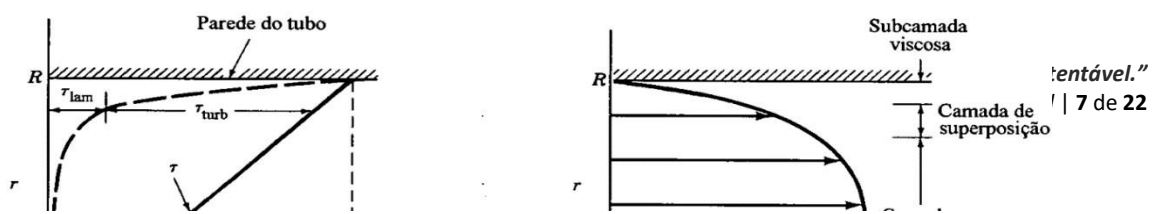
$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} \quad (7)$$

O número de Reynolds possibilita a avaliação do escoamento, determinando se este é laminar, transitório ou turbulento. Assim: $Re < 2000$, escoamento laminar; $2000 < Re < 4000$, Regime transitório; $Re > 4000$, escoamento turbulento. Um fator importante no escoamento em condutos é o número de Reynolds (equação 7). Desta forma, não é só a velocidade do fluido que define a caracterização do escoamento, existem outros parâmetros sendo estes: massa específica, viscosidade e a dimensão do tubo (MUSON, 2004).

2.3 Perfil de velocidade turbulento

O escoamento turbulento plenamente desenvolvido em tubos é dividido em três regiões: sub-camada, muito próxima da parede do tubo, superposição e a região turbulenta externa, centralizada no tubo (MUSON, 2004), conforme a figura 3 abaixo:

FIGURA 3. Estrutura do escoamento em um tubo: (a) tensão de cisalhamento e (b) velocidade média.



Fonte: MUSON (2004).

O perfil de velocidade turbulento é identificado pela presença de fluidos desordenados que resulta em uma distribuição de velocidade irregular ao longo de uma seção transversal, onde as forças viscosas são controladas pela turbulência (WHITE, 2011).

A velocidade na linha do centro pode ser associada ao perfil da lei da potência, este descreve a variação da velocidade do fluido em função do raio do tubo (WHITE, 2011). Porém, o perfil de velocidade da lei da potência perto da parede, pode não ser acertado, pois nessa região o gradiente de pressão é infinito (MUSON, 2004). Para determinar a velocidade na linha do centro, V_c , onde V é velocidade (m/s) e n é uma função do número de Reynolds:

$$V_c = V \frac{(n+1)(2n+1)}{2n^2} \quad (8)$$

Há diversas correlações para o perfil de velocidade em escoamentos turbulentos em tubo, uma dessas correlações é o perfil de velocidade pela lei de potência, onde: $\bar{v}$ = Velocidade (m/s); V_c = Velocidade na linha do centro (m/s); R = Raio do tubo (m^2) e r = Variações do raio (m^2) (MUSON, 2004).

$$\frac{\bar{v}}{V_c} = \left(1 - \frac{r}{R}\right)^{\frac{1}{n}} \quad (9)$$

O valor de n é descrito como uma função do número de Reynolds, logo para $n = 7$, portanto, a lei da potência de um sétimo para o perfil de velocidade é comumente utilizada com uma precisão razoável. O perfil de velocidade da lei da potência próximo a parede, pode não ser válido, como naquela região o gradiente de velocidade é infinito (MUSON, 2004).

2.4 Fator de atrito e perda de carga

Parâmetros importantes na análise de escoamento são o fator de atrito e a perda de carga. Darcy e Weissbach expressa uma equação geral para o fator de atrito $f = 64/Re$, onde o fator de atrito independe da rugosidade e sim do número de Reynolds, essa equação é válida para qualquer líquido e regime de escoamento em tubos (Azevedo Neto et al., 1998). Entre os parâmetros o fator de atrito é o mais difícil de se determinar (ANDRADE, 2001).

O fator de atrito é a resistência do escoamento, constituído por diversos fatores como o tipo de fluido, rugosidade das paredes e velocidade do escoamento. O fator de atrito representa como um fluido resiste em um sistema de tubulação que ainda depende do número de Reynolds (CENGEL; CIMBALA, 2015). A partir da relação de Haaland, onde o valor de ε é a rugosidade absoluta que depende do material, D é o diâmetro do tubo (m^2) e o Re é o número de Reynolds:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -1,8 \log \left[\frac{6,9}{Re} + \frac{\varepsilon/D}{3,7} \right]^{1,11} \quad (10)$$

As perdas de cargas ou perda de pressão são descritas como a diminuição na pressão do fluido, ao longo do sistema (GRANGER, 2014). As perdas de cargas são causadas pela viscosidade e também relacionada com a tensão de cisalhamento na parede do tubo. A equação abaixo é válida para escoamentos laminares e turbulentos. As perdas de pressão em análise em sistemas de tubos, são comumente evidenciadas em termos da altura, denominadas perdas de cargas, h_L , onde f é o fator de atrito, L é o comprimento do tubo (m^2), v a velocidade (m/s), D o diâmetro do tubo (m^2) e g a gravidade (m/s^2) (CENGEL; CIMBALA, 2015).

$$h_L = f \frac{L}{D} \frac{V^4}{2g} \quad (11)$$

Outro parâmetro importante é a perda de carga localizada, considerada uma perda menor que ocorrem em partes específicas da tubulação, como curvas, entradas e saídas. As perdas podem ser determinadas a partir da energia cinética do escoamento, onde a variável k_L é determinada experimentalmente (CENGEL; CIMBALA, 2015).

$$h_L = k_L \frac{V^2}{2g} \quad (12)$$

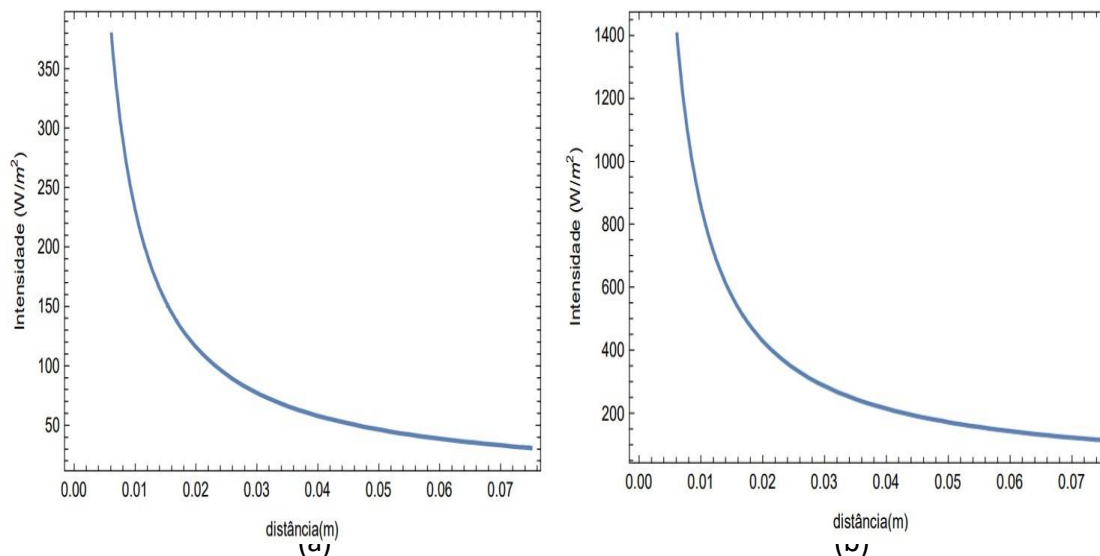
3. RESULTADOS

Para determinar a dosagem de exposição dentro do sistema de desinfecção é necessário calcular o tempo de exposição, a partir da equação 2, onde a área do sistema: $A = \pi \cdot R^2$, sendo $R = 0,075 \text{ m}^2$, raio do sistema e a vazão do exaustor é dada pelo manual do fabricante. Substituindo os valores o tempo de exposição é:

$$t = \frac{\pi(0,075)^2}{0,05} = 0,35 \text{ s} \quad (13)$$

A intensidade da radiação, a partir da equação 3, sendo $\beta = 0,3$ a fração de radiação UV, a potência da lâmpada utilizada no sistema de desinfecção de ar é $P = 20\text{W}$, o comprimento da lâmpada é $L = 0,42122 \text{ m}$. Considerando 2 casos, o primeiro para $R_{es} = 0$, sem reflexão e o segundo caso com reflexão de 73%, $R_{es} = 0,73$ (NICOLAS, 2020). Os valores da intensidade em relação a distância para os dois casos, conforme a figura 4:

FIGURA 4. Intensidade de radiação UV: (a) sem reflexão e (b) com reflexão 73%



Fonte: AUTORES (2024).

Pode se observar que, tanto para o caso sem reflexão, $R_{es} = 0$, e com reflexão 73%, $R_{es} = 0,73$ é observado nas figuras que a intensidade da radiação diminui ao longo da direção radial. No primeiro caso sem reflexão, o maior valor de intensidade próximo da lâmpada foi de aproximadamente 379 W/m^2 e distante da lâmpada 31 W/m^2 . Já no caso com reflexão a intensidade maior próximo da lâmpada foi de 1400 W/m^2 e distante da lâmpada foi de 114 W/m^2 .

Considerando a intensidade próximo a lâmpada, para o caso sem reflexão e a partir da equação 1, a dosagem:

$$D = 379 \cdot 0,35 = 132,6 \text{ J/m}^2 \quad (14)$$

Mesmo considerando o sistema sem reflexão, com base nos valores de dose de desinfecção para 90% e 99% de inativação para o vírus Sars-CoV-2, o sistema de desinfecção de ar apresentou valores de dose acima do necessário para inativação do vírus, conforme os resultados obtidos pelas equações 4 e 5 (BIANCO, 2020).

3.1 Resultados da análise hidrodinâmica

Para determinar a velocidade média, a partir da equação 6, no qual a vazão volumétrica do exaustor é 0,05 (m³/s), para um tubo de diâmetro de 150mm e a área do tubo é determinada a partir do raio. Substituindo os valores a velocidade média:

$$V = \frac{0,05}{\pi(0,075)^2} \cong 2,83 \text{ m/s} \quad (15)$$

Com o valor da velocidade média, foi calculado o número de Reynolds, a partir da equação 7, considerando uma temperatura ambiente dentro do sistema de desinfecção de ar de 25°C e conforme os dados da tabela 1, foi determinado o número de Reynolds.

TABELA 1. Propriedades físicas do ar.

Temperatura (°C)	Massa específica (kg/m³)	μ = Viscosidade dinâmica do fluido, N.s/m²
5	1,269	$1,73 \times 10^{-5}$
10	1,247	$1,76 \times 10^{-5}$
15	1,225	$1,80 \times 10^{-5}$
20	1,204	$1,82 \times 10^{-5}$
25	1,184	$1,85 \times 10^{-5}$
0	1,292	$1,71 \times 10^{-5}$

Fonte: MUSON (2004).

$$Re = \frac{(1,184)(2,83)(0,15)}{1,85 \times 10^{-5}} = 27168 \quad (16)$$

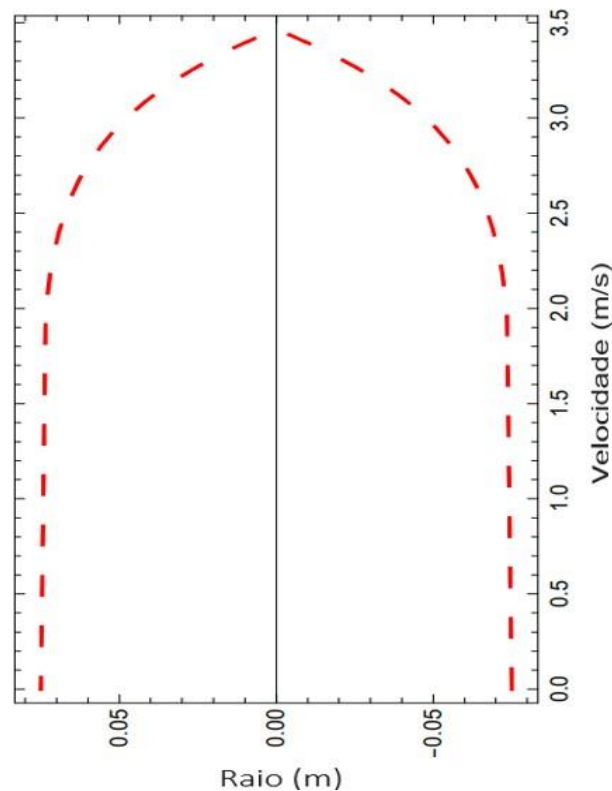
O número de Reynolds do sistema é 27168, assim, o escoamento do sistema de desinfecção de ar se caracteriza como turbulento pois $Re > 4000$.

A velocidade na linha do centro do tubo dado pela equação 8, para $n=7$:

$$V_c = 2,83 \frac{(7+1)(2(7)+1)}{2(7)^2} = 3,46 \text{ m/s} \quad (17)$$

A partir da equação 9, o comportamento do perfil de velocidade é descrito na figura 5:

FIGURA 5. Perfil de velocidade do sistema de desinfecção de ar pela lei da potência.



Fonte: Autores (2024).

Comumente os perfis de velocidade são demonstrados na horizontal, porém, o sistema de desinfecção é na vertical, então o objetivo é demonstrar como seria o comportamento desse perfil de velocidade. Em $r = 0,075\text{m}$ a velocidade é 0 m/s , pois perto da parede existe a condição de não deslizamento. No centro a velocidade é aproximadamente $3,5\text{m/s}$ que condiz com o valor obtido de V_c . Então, pela lei da potência a demonstração do perfil de velocidade do sistema de desinfecção de ar nos fornece uma aproximação para o perfil de velocidade ao longo do tubo e o perfil é achatado, diferente do perfil de escoamento laminar pois o escoamento é turbulento.

Para determinar a queda de pressão no sistema de desinfecção, foi calculado o fator de atrito, como o valor de ε , rugosidade absoluta, depende do material e no sistema de desinfecção são utilizados dois tipos de materiais o PVC (parte superior) e o alumínio (parte inferior, zona de irradiação). Denominando a rugosidade de cada material em $\varepsilon_1 = 0,0015$ para o PVC e $\varepsilon_2 = 0,000004$ para o alumínio (MUSON, 2004). Substituindo os valores na equação 10:

$$f_1 = -1 / (1,8 \log \left[\frac{6,9}{27168} + \frac{0,0015/0,15}{3,7} \right]^{1,11}) \cong 0,034 \quad (18)$$

$$f_2 = -1 / (1,8 \log \left[\frac{6,9}{27168} + \frac{0,000004/0,15}{3,7} \right]^{1,11}) \cong 0,024 \quad (19)$$

A queda de pressão no tubo superior de 750mm do sistema, onde o material é o PVC, a partir da equação 11:

$$h_{L1} = 0,034 \frac{0,75 (2,83)^4}{0,15^2 (9,8)} = 0,024 \text{ m} \quad (20)$$

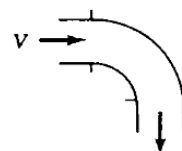
A queda de pressão no tubo inferior de 600mm, onde o material é o alumínio:

$$h_{L2} = 0,024 \frac{0,75 (2,83)^4}{0,15^2 (9,8)} = 0,016 \text{ m} \quad (21)$$

A partir da equação 12, foi calculado a perda de carga localizada, como o sistema de desinfecção possui uma curva de 90°, o valor de k_L é dado na figura 6:

FIGURA 6. Coeficientes de perdas para componentes de tubulação.

Componente	K_L
a. Curvas	
90° (raio normal), flangeada	0,3
90° (raio normal), rosqueada	1,5
90° (raio longo), flangeada	0,2
90° (raio longo), rosqueada	0,7



Fonte: MUSON (2004).

$$h_L = 1,5 \frac{(2,83)^2}{2 (9,8)} = 0,6 \text{ m} \quad (22)$$

A perda de carga total é a soma das perdas ao longo do sistema, seja por atrito e pela curva. Assim, a perda de carga total:

$$H_{\text{TOTAL}} = h_{L1} + h_{L2} + h_L = 0,024 + 0,016 + 0,6 = 0,64 \text{ m} \quad (23)$$

4. CONCLUSÃO

O presente trabalho descreve o comportamento hidrodinâmico e o campo de irradiação do sistema de desinfecção de ar por UVC, a partir de parâmetros conhecidos, foi observado como diferentes fatores podem afetar de maneiras distintas a capacidade de inativação do vírus. O uso de material refletivo torna a desinfecção mais eficiente e aumenta a eficiência do processo de desinfecção do ar, logo os resultados teóricos sugerem que há uma redução de riscos biológicos que são transportados pelo ar.

Em relação ao comportamento hidrodinâmico, conclui-se que a velocidade média do sistema é aproximadamente 2,83 m/s, o que permite o cálculo do número de Reynolds que para o sistema de desinfecção de ar é caracterizado como turbulento, como o número de Reynolds calculado é maior que 4000. Além disso, o comportamento do fluido em diferentes posições radiais do tubo é determinado a partir do perfil de velocidade, pela lei da potência.

A queda de pressão ao longo do sistema de desinfecção de ar, foi determinada considerando a rugosidade dos materiais que foram utilizados e também foram determinadas as perdas ao longo do sistema, onde a perda de carga maior é na curva do sistema, resultando em uma perda de carga de aproximadamente 0,64 m, como o sistema de desinfecção possui dimensões, consideradas pequenas, o valor da perda de carga é considerado pequeno. A partir dos resultados, foi possível analisar o desempenho do sistema de desinfecção de ar por UV-C, verificando a eficiência do mesmo na circulação e tratamento do ar. Estes dados podem contribuir para possíveis ajustes e melhorias no sistema, visando otimizar sua operação e garantir um ambiente mais saudável e seguro.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, Leandro; CARVALHO, Jacinto de A. Análise da equação de Swamee-Jain para cálculo do fator de atrito. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 5, p. 554-557, 2001.

Azevedo Netto, J.M.; Fernandez Y Fernandez, M.; Araujo, R. de; Ito, A.E. Manual de hidráulica. 8.ed. São Paulo: Blücher, 1998. 669p.

BEZERRA, Gabriele dos Santos. Desenvolvimento de um purificador de ar baseado na tecnologia de irradiação ultravioleta germicida, 2022.

Bianco A, M Biasin, G Pareschi et al. UV-C irradiation is highly effective in inactivating and inhibiting SARS-CoV-2 replication. medRxiv, 2020.

BOLTON, James R; COTTON, Christine A. The Ultraviolet Disinfection Handbook. 2008. 1 ed. American Water Works Association.

Brasil. Ministério da Saúde. Gabinete do Ministro. Guia Orientador para o enfrentamento da pandemia na Rede de Atenção à Saúde. Brasília, 2021.

CENGEL, Yunus A.; CIMBALA, John M. Mecânica dos fluidos-3. Amgh Editora, 2015.

DE OLIVEIRA FORTUNA, Armando. Técnicas Computacionais para Dinâmica dos Fluidos Vol. 30. Edusp, 2000.

Granger, J.; Granger, J. Introdução à mecânica dos fluidos. Editora Edgard Blücher, 2014.

KOWALSKI, W. Ultraviolet Germicidal Irradiation Handbook. New York: Springer, 2009

MATHEUS, Bruno P.; DE BRITO, Moacyr AG; CANESIN, Carlos A. Modelagem de lâmpada fluorescente UV em uma aplicação para fins de purificação de água. Power Electronic-SOBRAEP, v. 18, n. 2, p. 946-953, 2013.

Munson, B. R., Young, D. F., Okiishi, T. H. Fundamentos da Mecânica dos Fluidos. Edgard Blücher, 2004.

NICOLAS BOURI, VLADIMIR SHATALOV. UVGI Scientific Calculator. Minneapolis, Minnesota, U.S.: Covid Clean, 2020.

TRINDADE, Neilo Marcos et al. Thermoluminescence of UV-irradiated α -Al₂O₃: C, Mg. Journal of Luminescence, p. 117195, 2020.

VENTISOL. Manual do Consumidor - Microventilador/Exaustor para Banheiro, modelos EXB 100 e EXB 150.

White, F.M. (2011). Fluid Mechanics (7th Edition). New York: McGraw-Hill.