



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ
INSTITUTO DE ENGENHARIA E GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
BACHARELADO INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA**

GABRIELE DOS SANTOS BEZERRA

**DESENVOLVIMENTO DE UM PURIFICADOR DE AR BASEADO NA
TECNOLOGIA DE IRRADIAÇÃO ULTRAVIOLETA GERMICIDA**

Santarém-Pará

2022

GABRIELE DOS SANTOS BEZERRA

**DESENVOLVIMENTO DE UM PURIFICADOR DE AR BASEADO NA
TECNOLOGIA DE IRRADIAÇÃO ULTRAVIOLETA GERMICIDA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Programa de Ciência e Tecnologia, para obtenção
do grau de Bacharela Interdisciplinar em Ciência e
Tecnologia da Universidade Federal do Oeste do
Pará.

Santarém-Pará

2022

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

B574d Bezerra, Gabriele dos Santos
Desenvolvimento de um purificador de ar baseado na tecnologia de irradiação ultravioleta germicida / Gabriele dos Santos Bezerra – Santarém, 2022.
79 p. : il.
Inclui bibliografias.

Orientadora: Paula Renatha Nunes da Silva
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Oeste do Pará, Instituto de Engenharia e Geociências, Programa de Ciência e Tecnologia, Bacharelado Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia.

1. COVID-19. 2. engenharia biomédica. 3. prototipagem. 4. purificação de ar. 5. radiação ultravioleta. I. Silva, Paula Renatha Nunes da, *orient.* II. Título.

CDD: 23 ed. 610.28

Dedico este trabalho a
minha família e amigos e em
especial ao meu avô, sei que
ficaria feliz pela minha
realização.

AGRADECIMENTO

Agradeço primeiramente aos meus pais, Celiana Vieira e Floriano da Silva, por todo apoio e incentivo, assim como, minhas irmãs, Géssica, Geciane, Ana Flávia e o mais novo membro da Família, Gabriel, que nos dias difíceis com um simples sorriso ou com um “mama” me fazia esquecer de tudo e me dando forças para continuar. Ao meu sobrinho, John Wesley, por cada abraço, cada momento e que fica chateado com a titia por estudar tanto e não entende porque não tenho tanto tempo para ele.

Sou grata a todos os meus amigos que fizeram e fazem parte dessa trajetória acadêmica, em especial, a Duda, Rugiere e Claudiana, não sei o que seria de mim sem vocês. A Ryssia Maria, minha alma gêmea, trocou de curso e me abandonou, mas tudo bem. Kelvin e Luís, por toda paciência, por todo ensinamento, foi muito bom mandar em vocês. As minhas mais novas gatinhas, Kathleen e Maria Eduarda, grata por toda parceria, paciência, saibam que eu aprendi mais com vocês do que imaginam, foi muito bom mandar em vocês também.

Aos meus anjos de luz, Profa. Paula Renatha e Prof. Neto, por me guiarem nessa jornada. Grata ao PAEM e o LAE pela oportunidade. A Prof. Dra. Katrine Rabelo e ao ISCO, pela colaboração na realização dos testes biológicos e aos demais professores que tornaram este trabalho possível.

RESUMO

A pandemia causada pela COVID-19, ocasionou a paralisação das instituições de ensino, inclusive a UFOPA. A COVID-19 é uma doença com alta taxa de transmissão, tanto por contato direto entre pessoas, como por exemplo, por gotículas expelidas ao tossir ou espirrar, ou por contato indireto, como pela circulação do ar em ambientes fechados. Para prevenir a propagação do vírus é recomendado o distanciamento social, uso máscaras e a lavagem das mãos. O distanciamento social, busca evitar que as pessoas estejam em ambientes aglomerados visto que, ambientes fechados são vetores de contaminação. Contudo com a possibilidade de retorno as atividades presenciais nas instituições de ensino especialmente na região amazônica, cujas as temperaturas e umidade relativa são elevadas, manter janelas abertas para circulação do ar não é adequado devido ao desconforto causado pelo calor excessivo. Portanto, para manter o conforto térmico dispositivos de descontaminação do ar, devem ser implementados afim de garantir a saúde dos usuários na UFOPA. Desta forma, o objetivo do trabalho é desenvolver um purificador de ar para ambientes fechados, a partir da tecnologia ultravioleta germicida (UVGI) para reduzir os riscos de contágio e disseminação da COVID-19, visando o retorno gradual/total das atividades presenciais na UFOPA.

Para tanto foi realizada uma revisão bibliográfica especificamente sobre radiação UV e sistemas de purificação de ar, que conduziram para a construção de dois protótipos, submetidos a realização de testes biológicos, para validação de qual dimensão adequada o dispositivo deveria ter, bem como os materiais construtivos a serem utilizados. Além disso, estipulou-se que o equipamento tivesse um baixo custo, para que o dispositivo pudesse ser em grande parte fabricado na região para facilitar a logística de entrega para os demais campi da universidade. O purificador de ar produzido mostrou-se ser importante para comunidade acadêmica da UFOPA, o qual tem aderido seu uso nos ambientes tanto acadêmicos quanto administrativos, podendo ser considerado um aliado importante ao combate da COVID-19 no ambiente universitário. Atualmente foram entregues 85 purificadores até junho de 2022, produzidas pelo laboratório de aplicações em engenharia.

Palavras-Chave: COVID-19, engenharia biomédica, prototipagem, purificação de ar, radiação ultravioleta.

ABSTRACT

The pandemic caused by COVID-19, caused the stoppage of educational institutions, including UFOPA. COVID-19 is a disease with a high rate of transmission, either by direct contact between people, for example, by droplets expelled when coughing or sneezing, or by indirect contact, such as the circulation of air in closed environments. To prevent the spread of the virus, social distancing, masks and hand washing are recommended. Social distancing seeks to prevent people from being in crowded environments as closed environments are vectors of contamination. However, with the possibility of returning to face-to-face activities in educational institutions, especially in the Amazon region, where temperatures and relative humidity are high, keeping windows open for air circulation is not adequate due to the discomfort caused by excessive heat. Therefore, to maintain thermal comfort, air decontamination devices must be implemented in order to ensure the health of users at UFOPA. In this way, the objective of the work is to develop an air purifier for indoor environments, using ultraviolet germicidal technology (UVGI) to reduce the risks of contagion and spread of COVID-19, aiming at the gradual/total return of face-to-face activities at UFOPA.

For that, a bibliographic review was carried out specifically on UV radiation and air purification systems, which led to the construction of two prototypes, submitted to biological tests, to validate which adequate dimension the device should have, as well as the constructive materials. to be used. In addition, it was stipulated that the equipment would have a low cost, so that the device could be largely manufactured in the region to facilitate delivery logistics to the other university campuses. The air purifier produced proved to be important for the academic community of UFOPA, which has adhered to its use in both academic and administrative environments, and can be considered an important ally in the fight against COVID-19 in the university environment. Currently, 85 purifiers were delivered until June 2022, produced by the engineering applications laboratory.

Keywords: air purification, biomedical engineering, COVID-19, prototyping, ultraviolet radiation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Isaac Newton e o experimento do prisma triangular	18
Figura 2 – Ilustração do mecanismo de inativação de por UV-C	21
Figura 3 – Gráfico comparando a eficiência germicida de lâmpadas UV de alta, média e baixa pressão na bactéria Escherichia	22
Figura 4 – Sobrevivência de bactéria sob exposição à radiação UV. A linha é o ajuste de curva da equação de decaimento exponencial.....	26
Figura 5 – Curva de sobrevivência para Staphylococcus. A linha contínua representa um ajuste em relação ao decaimento de um estágio. A linha pontilhada representa uma extrapolação para o intercepto, $n = 4,92$	27
Figura 6 – Variação da constante de taxa UV para vírus em baixa e alta UR, e em comparação com a água	28
Figura 7 – Efeito da umidade relativa na constante de velocidade Serratia marcescens	29
Figura 8 – Gráfico da variação de constante da taxa de UV das bactérias em baixa e alta UR, e na água como ponto final	30
Figura 9 – Comparação da vulnerabilidade dos vírus e bactérias o ar e na água.....	32
Figura 10 – Na esquerda um sistema autônomo para estabelecimentos de saúde. Na direita Sistema UV unitário residencial.....	35
Figura 11 – Purificador de ar, virus Doctor	35
Figura 12 – Purificador de ar, Intechno.....	36
Figura 13 – Purificador de ar, anti-covid-19	37
Figura 14 – Purificador de ar, marca Sterilair	37
Figura 15 – Pacaembu, transformado em hospital de campanha	38
Figura 16 – Modelo de funcionamento do desinfector de ar.....	39
Figura 17 – Rodo esterilizador	40
Figura 18 – Primeiro Protótipo.....	44
Figura 19 – Segundo Protótipo.....	44
Figura 20 – Limpeza do ar condicionado da sala de aula	45
Figura 21 – Procedimento dos testes biológicos	46
Figura 22 – Representação dos tubos.....	48
Figura 23 – Estrutura do purificador	49
Figura 24 – Circuito elétrico do sistema e seus componentes.....	51
Figura 25 – Representação tridimensional da configuração final do sistema.....	55

Figura 26 – Componentes do tubo inferior, suporte, soquete e a lâmpada germicida	56
Figura 27 – Interior do tubo inferior	57
Figura 28 – Na direita o interior do exaustor. Na esquerda o exaustor e reator.....	58
Figura 29 – Caixa de controle	59
Figura 30 – Lâmpada germicida em teste e o aviso sobre a radiação UV-C	60
Figura 31– Purificador atual.....	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Constante de taxa para cada respectivo grupo de micro-organismo	31
Tabela 2 – Componentes elétricos	50
Tabela 3 – Materiais utilizados	52

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Início da sala	46
Gráfico 2 – Meio da sala	47
Gráfico 3 – Final da Sala.....	47

LISTA DE SIGLAS/ABREVIATURAS

A	Ampere
A	Área
ASHRAE	Sociedade Americana de Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Ar Condicionado
BSE	Bloco de Salas Especiais
CDC	Centros de Controle e Prevenção de Doenças dos Estados Unidos
cfu/m ³	colônias por metro cúbico
Covid-19	<i>Coronavirus Disease 2019</i>
D	Dosagem de exposição UV
DNA	Ácido Desoxirribonucleico
E_t	Tempo de exposição
Ga	Gálio
Hg	Mercúrio
H	Altura
HID	<i>High Intensity Discharge</i>
Hz	Frequência
H1N1	Influenzavírus A
IBEF	Instituto de Biodiversidade e Floresta
Ir	Irradiância
ISCO	Instituto de Saúde Coletiva
j/m ²	Joules por metro quadrado
j/s	Joules por segundo
k	Constante de taxa UV
km ²	Quilometro por metro quadrado
Labimol	Laboratório de Biologia Molecular
LAE	Laboratório de aplicações em engenharia
M	Metro
MDF	<i>Medium Density Fiberboard</i>
mm	Milímetro
m ²	Metro quadrado
m ³	Metro cúbico
NaClO	hipoclorito de sódio

nm	Nanômetro
OMS	Organização Mundial da Saúde
PAEM	Programa de Ações Emergenciais
PCT	Programa de Ciência e Tecnologia
PTFE	Politetrafluoretileno
PVC	<i>Policloreto de vinila</i>
P_{uv}	Potência da lâmpada
Q	Vazão volumétrica
RNA	Ácido ribonucleico
s	Segundos
S	Taxa de sobrevivência
SARS-coV-2	<i>Severe Acute Respiratory Syndrome of Coronavirus 2</i>
t	Tempo de exposição
T	Transmissão
TiO ₂	Óxido de titânio
UR	Umidade relativa
Uti	Unidade de tratamento intensivo
UVGI	Irradiação Ultravioleta germicida
UV- C	Radiação ultravioleta
V	Velocidade
v	Volts
W	Watts

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 Justificativa	16
1.2 Metodologia.....	16
1.3 Objetivos	17
1.4 Organização do trabalho	17
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1 Unidades e Terminologia	20
2.2 Inativação e Espectro de Absorção UV	21
2.3 Modelagem matemática	23
2.4 Estágios de Decaimentos	25
2.5 Efeitos da umidade relativa	27
2.6 Efeitos da temperatura do ar	30
2.7 Constantes de taxa UV	30
2.8 Lâmpadas germicidas	32
2.9 Materiais refletivos.....	33
2.10 Sistema de desinfecção do ar	33
3 MATERIAIS E MÉTODOS	41
3.1 Cálculos para encontrar a dose de exposição UV.....	41
3.2 Primeiros protótipos	43
3.3 Testes biológicos	45
3.4 Projeto do purificador	48
3.4.1 Construção do purificador	48
3.4.2 Componentes elétricos	49
3.4.3 Circuito elétrico.....	50
3.4.4 Materiais utilizados	51
4 RESULTADO E DISCUSSÃO	53
4.1 Programa de ações emergenciais	53
4.2 Purificador atual	54
5 CONCLUSÃO	62
5.1 Trabalhos futuros.....	63
ANEXO	67
ANEXO	78

1 INTRODUÇÃO

Em 11 de março de 2020 foi declarada a pandemia do novo coronavírus (SARS-coV-2), pela organização Mundial de 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 maneiras diferentes: contato, gotículas e partículas (aerossóis). A transmissão por contato ocorre quando há contato direto com uma pessoa infectada, como por exemplo em um aperto de mão. A transmissão por gotículas é a transmissão da infecção por meio de gotículas que contém o vírus, por exemplo, mediante uma pessoa infectada quando esta tosse ou espirra. A transmissão por partículas menores (aerossóis) é a transmissão da infecção por meio de gotículas respiratórias, que são capazes de sobreviver suspensas no ar por um tempo mais longo que podem durar até horas (BRASIL. Ministério da Saúde, 2021).

A propagação da Covid-19 por via área pode acontecer em situações especiais, por exemplo, 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 pandemia levou o mundo a ter grandes mudanças, estas sendo no estilo de vida e nos hábitos de higiene. A OMS recomendou medidas de combate a covid-19, afim de impedir a propagação do coronavírus, como lavar as mãos com água e sabão ou higienizar com álcool, uso de máscara e manter distanciamento social. Como a transmissão pode ser por secreções produzidas no decorrer de episódios de tosse, espirros e coriza ou por meio de contato direto ou indireto.

Devido ao aumento de casos e mortes pela covid-19, alguns municípios e estados decretaram lockdown, que é uma medida de bloqueio total. Havendo também a proibição de qualquer atividade que não fosse considerada essencial, como salão de beleza e academia. Sendo permitido apenas atividade essenciais como serviços médicos e hospitalares.

Como as mãos tocam muitas superfícies, recomendou-se evitar o contato desta com olhos, nariz e boca e quando fosse tossir cobrir a boca e o nariz com a parte interna do cotovelo. Diante disto, as medidas de proteção mantiveram quase todo seu foco em limpezas de superfícies, já que embalagens e sacos plásticos poderiam servir como meio de

propagação da COVID-19, visto que, estas poderiam ser tocada por várias pessoas, então, as pessoas tornaram seu foco na limpeza de embalagens, passando a lavar com água e sabão ou higienizando com álcool a 70%.

Além do cenário ao longo do tempo outras pesquisas sobre a transmissão do vírus foram realizadas como a da faculdade de medicina da Universidade de São Paulo (USP), comprovou a presença da COVID-19 suspensa no ar. A pesquisa provou que uma pessoa contaminada pelo vírus expele quando expira ou conversa, podendo desta forma, deixa-lo suspenso no ar durante horas, assim existindo outras possibilidades de transmissão da doença. A conclusão do estudo corrobora a necessidade de manter uma ventilação de forma adequada em ambientes fechados, assim diminuindo o risco de contaminação pelo coronavírus, posteriormente o uso de máscara se tornou obrigatório no Brasil (USP, 2020).

Seguindo esta linha de pesquisa a USP desenvolveu um equipamento para descontaminação de partículas que ficam suspensas no ar em ambientes fechados. O equipamento conta com tecnologia de ponta, tendo grande investimento, e também utiliza a tecnologia de radiação UVC, esta é um método que tem como base a luz ultravioleta para inativação de micro-organismos.

Diante disto a Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA) buscou atuar no combate a pandemia. O Laboratório de Aplicações em Engenharia (LAE) buscou desenvolver um sistema para purificação. Como a irradiação ultravioleta germicida (UVGI), já era conhecida e utilizada para descontaminação e purificação de água, ar e superfícies, inativando microrganismos. A UVGI realiza modificações nos ácidos nucleicos, comprometendo assim o desempenho nas suas funções metabólicas (KOWALSKI, 2009).

Diante da comprovação de que a COVID-19 fica suspensa no ar o LAE iniciou as pesquisas para desenvolver um dispositivo de purificação de ar. A hipótese inicial era adaptar lâmpada germicida nos aparelhos de ar-condicionado, esse que tem potencial importante na transmissão do SARS-CoV-2, como a ventilação e a filtragem providas pelos ar-condicionado, é capaz de reduzir a concentração do coronavírus no ar, em um ambiente fechado estes fatores ocasionam no aumento do risco de transmissão do vírus, visto que, o vírus circulará por todo aquele ambiente fechado (USP, 2021).

Desta forma, a UFOPA buscou desenvolver um projeto de baixo custo, e assim obter uma diminuição nos riscos de contágios e disseminação da COVID-19, visando o retorno das atividades presenciais, promovendo maior segurança para professores, alunos e a comunidade da UFOPA de forma geral. Ao decorrer do projeto foi realizado modificações,

melhorias e adaptações para que o sistema tivesse facilidade em seu manuseio e adaptação dentro da universidade.

1.1 Justificativa

Com a pandemia as instituições públicas e privadas tiveram suas atividades suspensas, devido as medidas de isolamento e distanciamento social. As instituições federais tiveram seu calendário letivo de 2020 cancelado. Assim, o presente trabalho tem como objetivo o desenvolvimento do dispositivo para purificação de ar, visando o retorno das atividades presenciais e assim diminuído a possibilidade de contaminação e desta forma, reduzindo o risco de surto de COVID-19 dentro da UFOPA e podendo reduzir transmissões de outras doenças respiratórias.

A UFOPA tem problemas na ventilação de algumas salas, como por exemplo no Instituto de Biodiversidade e Floresta (IBEF), cujas janelas não abrem, e assim, não possuindo uma boa circulação de ar, podendo assim ter efeitos importantes na transmissão do SARS-CoV-2, o que então, faz-se necessário o controle do fluxo de ar (USP, 2021).

Ainda pela falta de janela os prédios doentes favorecem o crescimento de mofo, que são fungos, como a região norte é característica pelo clima de umidade, o que acaba favorecendo o crescimento dos fungos, deste modo, além de visar a garantia sanitária o purificador de ar poderá ser destinado a utilização nesses prédios e salas, podendo garantir, naquele ambiente fechado, uma maior segurança e uma melhor qualidade no interior desse ambiente.

1.2 Metodologia

A metodologia foi dividida em três etapas: revisão bibliográfica, produção dos protótipos e testes biológicos.

O presente trabalho, classificado como experimental, realizou como primeira etapa uma revisão bibliográfica dos conceitos relacionado a tecnologia de UVGI e estudos com relação ao funcionamento de sistema de tratamento de ar, a partir disto, direcionou para os parâmetros iniciais e dimensionamento do purificador proposto neste trabalho e depois foram feitos os testes biológicos.

O equipamento tem como parâmetro ser de baixo custo, assim procurou-se soluções de materiais eficientes e acessíveis para que o purificador pudesse ter um bom aproveitamento e um custo razoável.

1.3 Objetivos

O objetivo do trabalho é desenvolver um purificador de ar baseado na tecnologia UVGI de baixo custo para ambientes fechados, afim de propor uma maior segurança para toda comunidade da UFOPA. Para tanto foram realizados os seguintes objetivos específicos:

- Realizar estudo bibliográfico sobre o tema para direcionar dos parâmetros iniciais;
- Cálculo da estimativa da dosagem UV;
- Elaboração de um protótipo inicial para realização de testes;
- Analisar a eficácia germicida da radiação UV através de testes biológicos e testes operacionais;
- Apresentar projeto e resultados operacionais do sistema;
- Apresentação do sistema atual;
- Fabricação do purificador;

1.4 Organização do trabalho

O presente trabalho está dividido em cinco capítulos. Além deste capítulo inicial, que tem como objetivo introduzir o assunto, esclarecer a temática e estabelecer os objetivos do trabalho, são os demais:

- O capítulo 2 abordará o contexto histórico das ondas eletromagnéticas, unidade e terminologia, inativação de micro-organismo por UV, espectros de absorção UV, modelagem matemática, lâmpada germicida e materiais refletivo.
- No capítulo 3 serão apresentados os materiais e métodos utilizados para os cálculos e elaboração dos primeiros protótipos.
- O capítulo 4 trará o resultado e discussão, mostrando os testes biológicos realizados e seus resultados, descrevendo o Programa de Ações Emergenciais (PAEM), o programa que possibilitou o projeto atual, e pôr fim a descrição do purificador atual.
- A conclusão do trabalho é apresentada no capítulo 5, nele contendo os trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A história da luz começa com Isaac Newton que em 1672, o qual publicou uma série de experimentos com prismas que refletiam a luz do sol, gerando cores que vão do vermelho ao violeta, conforme ilustrado na figura 1.

Figura 1 – Isaac Newton e o experimento do prisma triangular



fonte: Pesquisa escolar, 2018

No século XIX foram realizadas muitas contribuições para ajudar no entendimento das propriedades da radiação UV. Em 1814, Fraunhofer mapeou mais de 500 faixas de luz solar em que algumas estavam na região ultravioleta (HOCKBERGER, 2002).

Com o crescente desenvolvimento da iluminação artificial foi possível obter outra fonte de radiação ultravioleta, a qual não foi muito explorado no início. Em 1835, Wheatstone inventou a primeira lâmpada de vapor de mercúrio (Hg), porém, era muito instável e com probabilidade de deterioração e de curta vida útil. Em 1850, Stokes produziu a primeira lâmpada de arco “fechada” usando eletrodos de alumínio, em um tubo de quartz que emitiria raios ultravioleta na faixa de 185 nm (HOCKBERGER, 2002).

Downes e Blunt em 1877 foram os primeiros a observar os efeitos germicidas da radiação ultravioleta. Tais observações demonstraram que as bactérias eram inativadas pela luz solar e assim descobriram que o espectro mais eficaz era o azul-violeta. Ao longo dos

anos as pesquisas reafirmam que a radiação ultravioleta tinha efeitos germicidas, então em 1903, Barnard e Morgan, identificaram o espectro de UV em torno de 250 nm, que então foi reduzida por Newcomer, e em 1932 foi isolada para uma faixa de 253,7 nm por Ehrismann e Noethling (KOWALSKI, 2009, p. 3).

Von Recklinghausen iniciou o uso da luz ultravioleta para desinfecção de água potável em 1906 (KOWALSKI, 2009, p. 3). O primeiro sistema de desinfecção de água foi operado em Marselha na França entre 1909 e 1910, no qual foi constatado a primeira evidência de que a luz ultravioleta possui um efeito fotoquímico sobre os microrganismos (KOWALSKI, 2009, p.4).

Em 1920 o entendimento sobre a radiação UV com o sol estava bem estabelecido, e conseqüentemente as aplicações comerciais e industriais mudaram o foco para o desenvolvimento de novas fontes artificiais e dispositivos. Além disso, existia também um interesse crescente na compreensão sobre os efeitos da radiação UV sobre os organismos vivos, principalmente os seres humanos (HOCKBERGER, 2002).

Nos Estados Unidos foi testado o primeiro sistema de desinfecção de água em Henderson, Kentucky (AWWA, 1971). Renz em 1921 comprovou que a luz ultravioleta pode causar uma fotorreação com o óxido de titânio(TiO_2), que apresenta boas qualidades fotocatalíticas, sendo assim utilizado em composições antissépticas e antibacterianas (KOWALSKI, 2009, p. 4).

Hausser e Vahle, Bedford e Gates, estão entre os primeiros a estabelecer a dosagem de ultravioleta fundamental para a desinfecção bacteriana. A dosagem de desinfecção fúngica publicada pela primeira vez por Fulton e Coblenz em 1929 (KOWALSKI, 2009, p. 4). Os primeiros estudos relacionando irradiação ultravioleta em vírus foram publicados por Rivers e Gates (KOWALSKI, 2009, p. 5).

A década de 1930 teve as primeiras aplicações em sistemas ultravioletas em hospitais para controle de infecções. O primeiro projeto de desinfecção do ar por UV foi publicado em 1940, e nele continha a análise de desinfecção por ar e bem como as diretrizes básicas para aplicação UV em sistemas de ventilação. A partir destes foram realizadas várias tentativas para desenvolver dimensionamentos e instruções de engenharia para aplicação UV (KOWALSKI, 2009).

O primeiro dispositivo de irradiação germicida ultravioleta (UVGI) foi projetado sobretudo, para desinfetar as superfícies de equipamentos de tratamento de ar, e continha umidificador de água e filtros (KOWALSKI, 2009, p.5). Em 1985, publicado pela Philips

um guia de design, no qual continha as descrições definitivas das aplicações das lâmpadas UV para o controle do crescimento microbiano (PHILLIPS, 1985).

Apesar de que os sistemas UVGI estivessem nos hospitais em uso desde 1936, só em 2003 que o Centros de Controle e Prevenção de Doenças dos Estados Unidos (CDC), reconheceu formalmente a eficácia dos sistemas UVGI liberando seu uso apenas para complemento de desinfecção de ar em ambientes hospitalares (MARTIN I., 2008).

Ainda em 2003, com a influência da Sociedade Americana de Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Ar Condicionado (ASHRAE) formou um conjunto de trabalho no qual o foco era se concentrar no tratamento de superfície e de ar UV, que em 2007 tornou-se o comitê técnico permanente (MARTIN I., 2008).

2.1 Unidades e Terminologia

Uma diversidade de unidades tem sido utilizada na desinfecção por UV para irradiação e os raios UV para doses. A irradiância por vez denominada de intensidade tem as unidades preferenciais W/m^2 em relação à desinfecção do ar e da superfície. A dose de UV, que por vez também é conhecida como taxa e fluência, as unidades de preferência são J/m^2 , tanto para desinfecção do ar e superfície (KOWALSKI, 2009).

Atualmente o termo UV-C é constantemente utilizado para englobar todas as aplicações de UV germicida, a definição correta, a qual é limitada pela faixa do comprimento de onda de UV entre 200 e 280 nm. O termo germicida sugere que esses sistemas matam, acabam ou inativam microorganismos como bactérias, vírus e fungos. No entanto, os vírus são tecnicamente moléculas e desta forma é comum a referência do vírus sendo inativados, ao invés de mortos (KOWALSKI, 2009).

A desinfecção do ar é medida em termo de redução na densidade aerotransportada em unidades formadoras de colônias por metro cúbico (cfu/m^3). A esterilização é um termo correlacionado que sugere a total eliminação de uma população de micróbio. Contudo, é difícil provar a eliminação completa de uma população microbiana, pois os testes microbiológicos terão limites de precisão (KOWALSKI, 2009).

2.2 Inativação e Espectro de Absorção UV

Todos os comprimentos de ondas UV causam efeitos químicos, no entanto, comprimentos de onda na faixa UV-C são especificamente prejudiciais às células porque são absorvidos por proteínas RNA e DNA (BOLTON; COTTON, 2008).

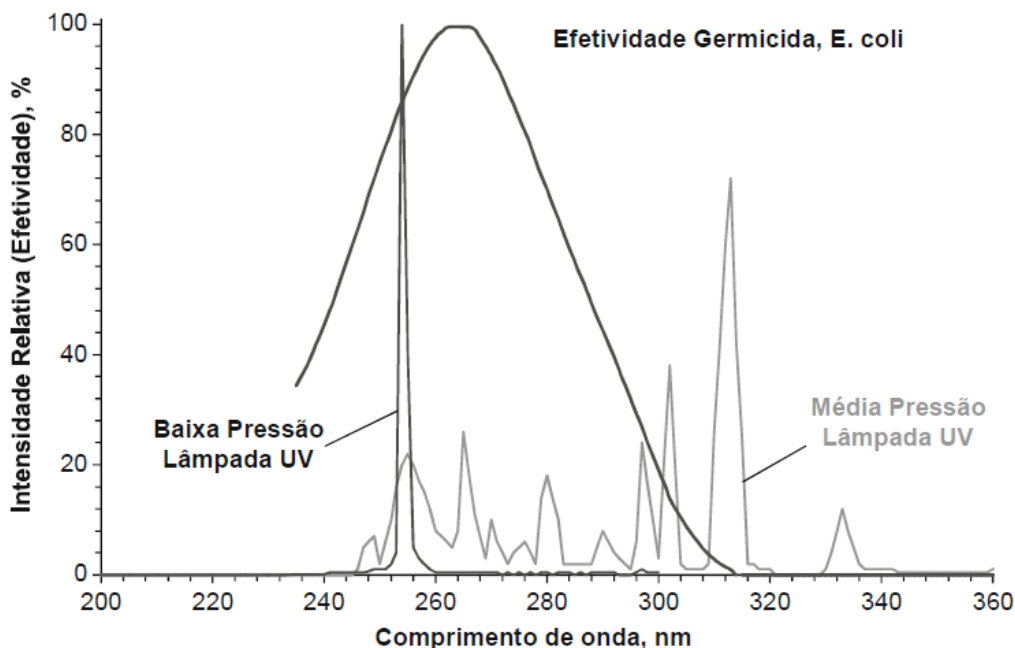
Figura 2 – Ilustração do mecanismo de inativação de por UV-C



fonte:Dynasys, 2020

A eficiência germicida é mostrada na figura 3 em termos de comprimentos de onda UV, comparado às lâmpadas UV de alta (ou média) e baixa pressão para bactéria *Escherichia*. É possível perceber que a eficiência germicida alcança um pico entre 260 - 265 nm, e portanto, corresponde a o pico de absorção de UV pela DNA bacteriano. O benefício germicida dos comprimentos de ondas UVB e UV-C pode diferenciar dependendo da espécie do micro-organismo (KOWALSKI, 2009).

Figura 3 - Gráfico comparando a eficiência germicida de lâmpadas UV de alta, média e baixa pressão na bactéria Escherichia.



fonte: Kowalski, 2009

Um espectro de absorção é uma representação quantitativa da aptidão de absorção de um molécula em uma faixa especificada de frequências eletromagnéticas. A intensidade de absorção é normalmente expressa em absorbância ou óptica de densidade (KOWALSKI, 2009).

Um espectro de absorção pode ser descrito como um somatório de uma séries de bandas de absorção individuais, cada um equivalente a uma transição entre duas configurações eletrônicas particulares (KOWALSKI, 2009). Usualmente o espectro de absorção é medido pelo feixe de luz por meio de uma solução transparente envolvendo micróbios e moléculas comparando com a solução pura. A transmissão, T , de uma solução é determinada por:

$$T = \frac{I}{I_0} \quad (1)$$

Onde:

I = irradiância da luz saindo da solução, W/m^2

I_0 = irradiação na luz entrando, W/m^2

2.3 Modelagem Matemática

A modelagem matemática do processo de desinfecção UV fornece uma base para o dimensionamento de equipamentos, e também para a explicação dos testes e seus resultados. Além disso, pode fornecer a possibilidade de adaptação dos sistemas UV para processo de desinfecção específico de micro-organismos. Comumente a desinfecção é modelada em termos de sobrevivência ou inversamente modelada por sua taxa de inativação (KOWALSKI, 2009).

A taxa de desinfecção está sujeita a diversas variáveis, como: o efeito da umidade relativa, os estágios de sobrevivência, fotorreativação, a diversidade de um campo de irradiância tanto no ar quanto em superfície, e particularmente nas irregularidades no fluxo de ar (KOWALSKI, 2009).

A irradiância pode ser considerada moderadamente constante, e a equação para determinação da dosagem pode ser diretamente aplicada. No entanto, se as superfícies possuírem contornos em pisos, paredes ou serpentinas de resfriamentos, a irradiância pode variar. A mesma questão é identificada no processo de desinfecção do ar, pois existe uma grande alteração de irradiância no campo perto da lâmpada UV, nesse caso, a mesma abordagem é utilizada (KOWALSKI, 2009). Portanto, tem-se a equação 2:

$$I_r = \frac{P_{uvc}}{A} \quad (2)$$

Onde:

I_r = Irradiância, W/m²

P_{uvc} = Potência da lâmpada, W

A = Área, m²

A potência da lâmpada germicida varia entre 15 W ou 30 W, lembrando que 1 W equivale a 1 J/s, e conforme a localização e o formato da lâmpada, somente uma fração da radiação UV-C emitida alcançará a superfície.

A vazão volumétrica é definida como a medição dos fluídos que decorrem em uma área específica por um tempo específico. Apesar de existirem variáveis externas que podem afetar o volume, a velocidade do fluxo e a área da secção transversal é dada pela equação 3

(Automação, 2018):

$$Q = V \times A \quad (3)$$

Onde:

Q = Vazão volumétrica, m³/s

V = velocidade do ar, S

A = Área da secção transversal do tubo, m²

A altura do dispositivo e a velocidade são necessárias para calcular o tempo de exposição UV, conforme é apresentado na equação 4:

$$t = \frac{H}{V} \quad (4)$$

Onde:

t = Tempo de exposição, s

H = Altura, M

V = Velocidade, ms²

Com o tempo de exposição da radiação os micro-organismo são sujeitos a uma dose de exposição (fluência), que é a função da irradiância multiplicada pelo tempo de exposição, pela seguinte equação 5:

$$D = E_t \times I_r \quad (5)$$

Sendo definidos:

D = Dosagem de exposição UV (fluência), J/m²

E_t = Tempo de exposição, s

I_r = Irradiância, W/m²

O Fator I_r é utilizado para referir-se a qualquer irradiância (fluxo radiativo através de uma superfície plana), ou a taxa de fluência (fluxo radiativo através de uma superfície externa), portanto, na desinfecção considera-se os micróbios tendo forma esférica (KOWALSKI, 2009).

Quando a dose UV tem seu resultado em 90% é comumente conhecido como D90, também é habitual a D99 que se resulta em uma inativação de 99% (KOWALSKI, 2009).

2.4 Estágios de Decaimentos

O modelo de decaimento exponencial é o modelo inicial utilizado para estimar a sobrevivência de organismos sujeitos a UV. Este modelo de decaimento é uma taxa de primeira ordem e é eventualmente conveniente para maioria dos propósitos de design UVGI, contando que a dosagem esteja dentro os parâmetros de primeira ordem., que geram as taxas de desinfecção de 90-99% no modo geral pode ser alcançada no primeiro estágio de decadência (KOWALSKI, 2009).

O valor de decaimento D90 define o primeiro estágio de decadência para bactérias e vírus, tendo somente algumas exceções, e permanece válido até um D99, mas a partir desse ponto nem toda dosagem é válida (KOWALSKI, 2009).

O decaimento de um estágio é dado pela equação 6:

$$S = e^{-kD} \quad (6)$$

Onde:

S = Taxa de sobrevivência

k = Constante de taxa UV, m²/J

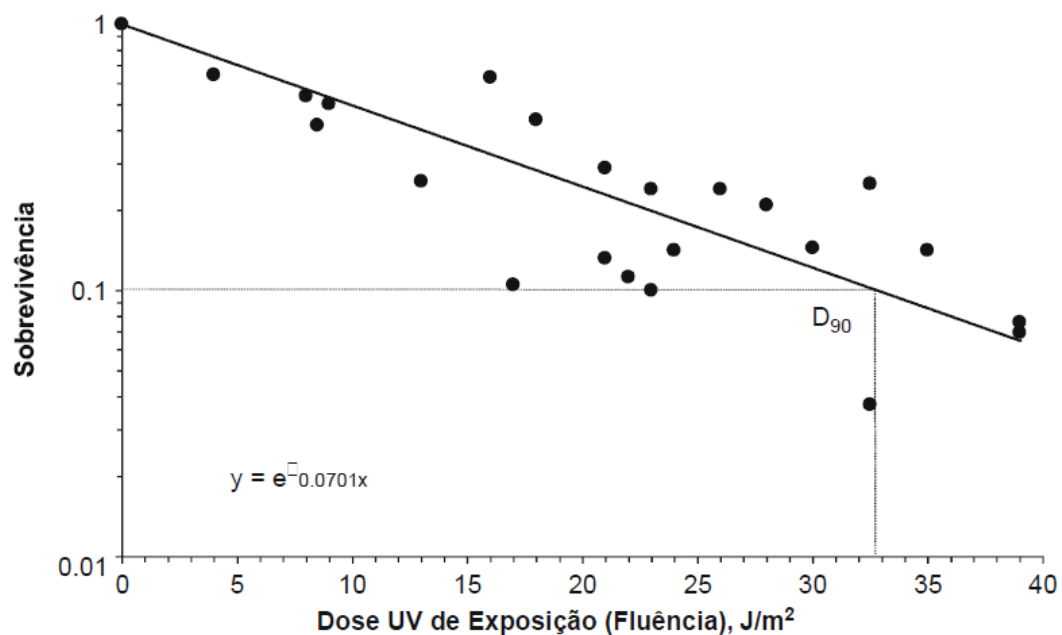
D = Dose UV, J/m²

A equação 6 é utilizada sob a condição de que a taxa de inativação não se prolongue ao segundo estágio. O decaimento log-linear e a taxa de UV constante é calculada a partir do arranjo de curva exponencial, como por exemplo na figura 4 (KOWALSKI, 2009).

A decadência exponencial simples figura 4 são para bactérias expostas à radiação UV. A curva exponencial é mostrada como $K = 0,0701 \text{ m}^2/\text{J}$. A inclinação da curva de decaimento logarítmica é estabelecida pela constante de taxa, no qual é denominada como K. A constante de taxa tem unidades de m²/J, conhecido também como susceptibilidade aos raios ultravioleta (KOWALSKI, 2009).

Valores altos de constante de taxa podem implicar em deterioração e desinfecção rápidas, enquanto que taxas baixas implicam em resistência UV. A maioria das bactérias e vírus possuem constantes de taxa alta, já os fungos possuem constante de taxa baixa (KOWALSKI, 2009).

Figura 4 - Sobrevivência de bactéria sob exposição à radiação UV. A linha é o ajuste de curva da equação de decaimento exponencial.



Fonte: Kowalski, 2009

O decaimento de dois estágios é normalmente observado na maioria dos métodos de desinfecção, onde uma pequena população microbiana apresenta um nível mais alto de resistência. A maior parte da população microbiana se comporta com duas populações separadas: uma relativamente suscetível e outra relativamente resistente. Assim, o decaimento de dois estágios só será aparente se a taxa de desinfecção for muito alta (KOWALSKI, 2009).

O primeiro estágio de decaimento, ou seja, decadência rápida, é definido pela suscetibilidade da população e o segundo estágio de decaimento, isto é, decadência lenta, é definido pela população microbiana resistente. A resistência no segundo estágio é cerca de 1% ou menos, sendo D_{99} ou superior (KOWALSKI, 2009).

O decaimento de dois estágios é dado pela seguinte equação 7:

$$S(t) = 1 - (-e^{-kD})^n \quad (7)$$

Onde:

S = Taxa de sobrevivência

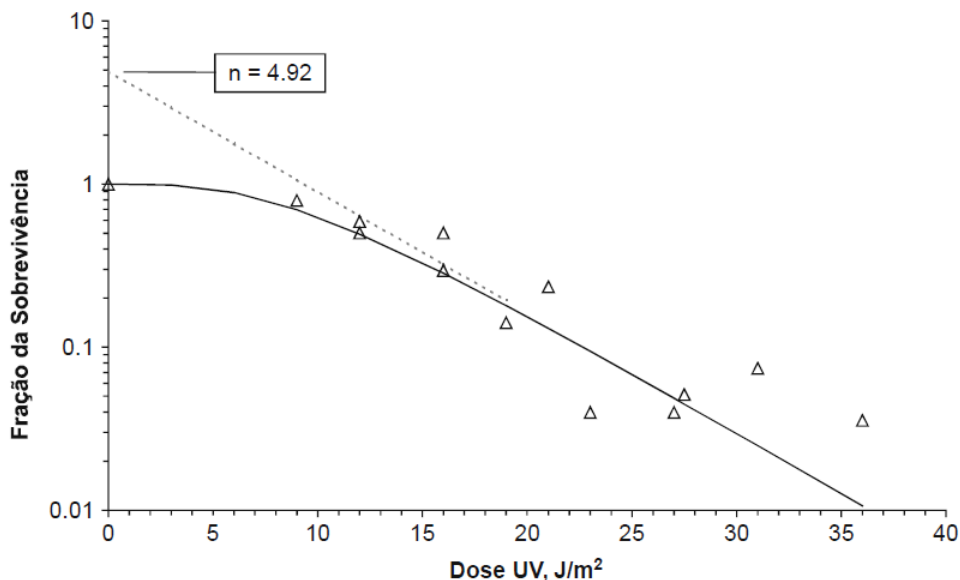
k = Constante de taxa UV, m^2/J

D = Dose UV, J/m^2

n = Número de locais que devem ser atingidos para inativar micro-organismo.

O valor de n é único para cada espécie. Em teoria n é um número inteiro, entretanto, na prática isso nem sempre ocorre.

Figura 5 – Curva de sobrevivência para *Staphylococcus*. A linha contínua representa um ajuste em relação ao decaimento de um estágio. A linha pontilhada representa uma extrapolação para o intercepto, $n = 4,92$.



Fonte: Kowalski, 2009

Os dados apresentados na figura 5, para *Staphylococcus* irradiado por UV, cuja constante de taxa $K = 0,1702 \text{ m}^2/\text{J}$ e o valor de $n = 4,92$. O primeiro estágio é mostrado em linhas pontilhadas, no qual pode ser visto que o eixo y é interceptado no expoente de $n = 4,92$ (KOWALSKI, 2009).

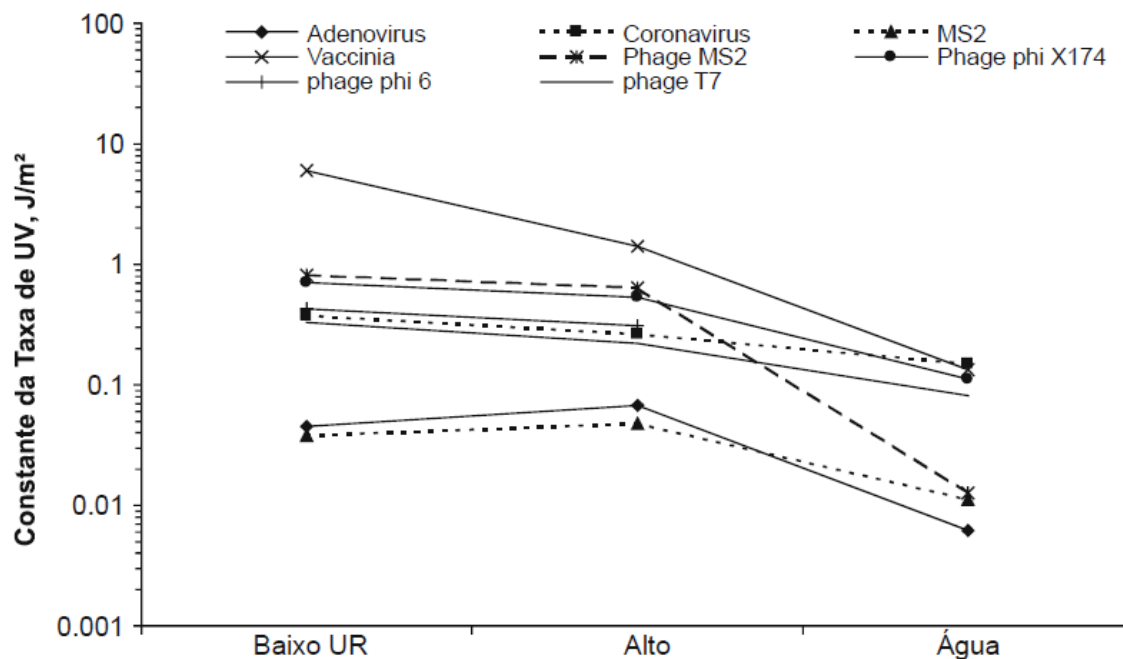
2.5 Efeitos da umidade relativa

A umidade relativa pode impactar tanto na desinfecção por ar quanto na desinfecção de superfícies, conseqüentemente podendo haver impacto na constante de taxa de desinfecção UV. Em vírus e bactérias o efeito da umidade aparenta ser diferente (KOWALSKI, 2009).

A sensibilidade dos vírus à umidade reduz conforme a medida UR aumenta, dependendo da estrutura. Os vírus de DNA mudam de forma a medida que o UR aumenta, enquanto os vírus de RNA não são capazes de mudar. Porém, pode existir um efeito secundário associado à UR, o aumento da ligação da água com o vírus pode ampliar o diâmetro e gerar mais dispersão UV (KOWALSKI, 2009).

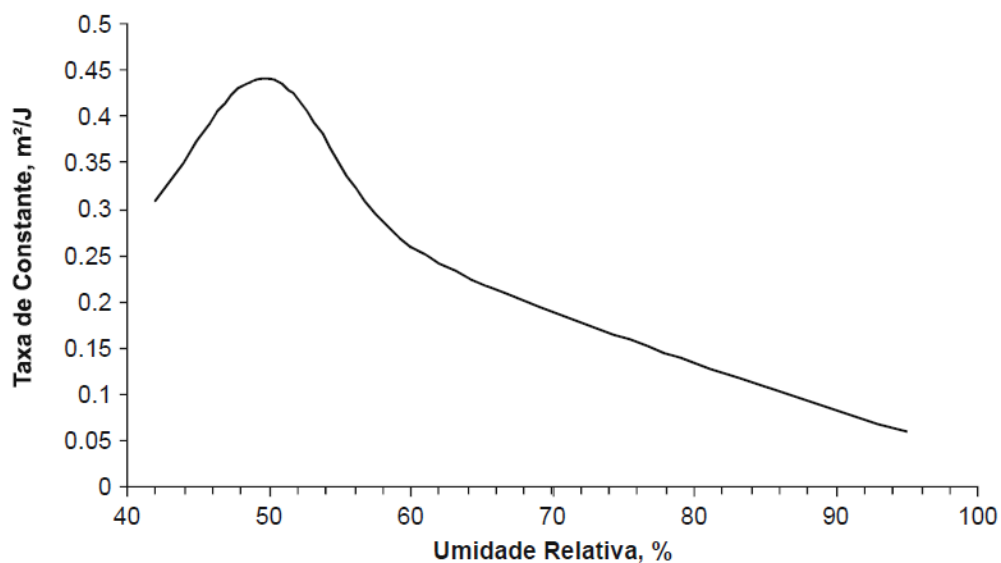
Os resultados são mostrados na figura 6, no qual observa-se que, exceto para Vaccinia, as suscetibilidades UV apresentam quase nenhuma reação para aumentar a UR. Na água a diminuição nas constantes de taxa UV são bem mais significativas (KOWALSKI, 2009).

Figura 6 - Variação da constante de taxa UV para vírus em baixa e alta UR, e em comparação com a água.



Fonte: Kowalski, 2009

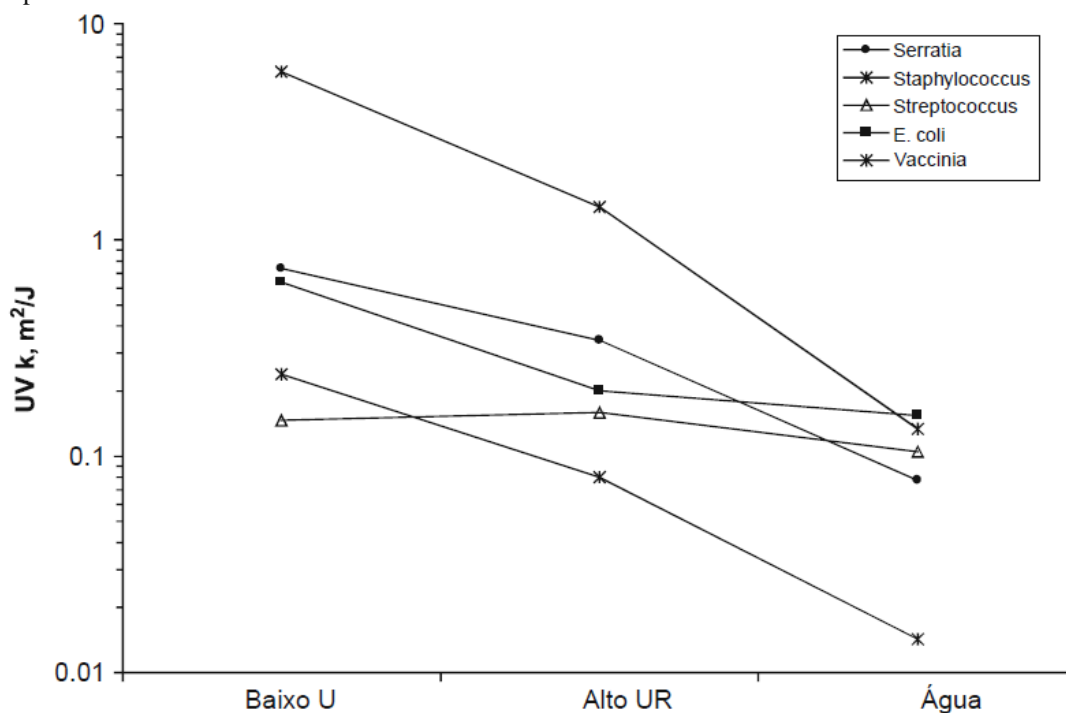
O aumento da UR faz com que a taxa de exposição UVGI caía, na figura 7 é mostrado o efeito da UR na constante de velocidade para *Serratia marcescens*. UR é separado em categorias de (lo) RH, baixo e (Hi) RH, alto, para melhor interpretação. Nos ambientes internos é definido o UR, sendo inferior á 60% e portanto, esta seria a taxa de UR operacional do projeto UVGI, sistemas que reconduzem o ar ambiente ou desinfetou o ar de volta. Para as unidades de tratamento de ar, a UR pode variar muito, dependendo da localização do sistema UVGI. O efeito da UR na suscetibilidade aos raios UV é capaz de ditar a localidade preferida de qualquer instalação UVGI, podendo admitir uma forma de aumentar a eficiência UVGI por meio do controle da UR, porém, é necessário mais dados sobre o UR (KOWALSKI, 2009).

Figura 7 - Efeito da umidade relativa na constante de velocidade *Serratia marcescens*

Fonte: Kowalski, 2009

A figura 8 mostra uma diminuição nas constantes de taxa UV com o aumento da umidade relativa. Da forma que a umidade relativa vai de baixo a alto e portanto, para constante de taxa com base na água, de forma que seja o ponto final. Os efeitos fotoprotetores podem causar dispersão UV no ar necessitam ser diferentes daqueles na água, devido ao índice de refração no ar ser menor que o da água. E então, mesmo a 100% UR, a constante de taxa UV no ar é incerta que seja a mesma da água (KOWALSKI, 2009).

Figura 8 - Gráfico da variação de constante da taxa de UV das bactérias em baixa e alta UR, e na água como ponto final



Fonte: Kowalski, 2009

2.6 Efeitos da Temperatura do ar

A temperatura do ar possui um efeito insignificante na sobrevivência microbiana durante UVGI irradiação, contanto que nenhum dano por calor ou congelamento aconteça. No entanto, existe a possibilidade de que altas temperaturas internas combinadas com alta umidade podem modificar os efeitos UV em algum grau desconhecido. Os sistemas de ventilação na forma geral, mantém as temperaturas do ar entre 13-27°C e umidade relativa <70%, logo, o efeito da temperatura pode ser desprezado. Mas, a temperatura do ar pode afetar os raios ultravioletas saídos da lâmpada por super resfriamento da lâmpada, em especial quando a velocidade está além do limite projetado (KOWALSKI, 2009).

2.7 Constantes de taxa UV

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 determinadas em termos de constante de taxa. A constante de taxa UV pode alterar conforme o espectro de UV, visto que, para os micróbios as curvas de sobrevivência tendem a ser representadas duas constantes de taxa (KOWALSKI, 2009).

Com a exposição dos raios ultravioletas, as populações microbianas caem exponencialmente, conforme já foi descrito. Pode haver dois estágios de decadência em uma curva, e existe uma limitação na faixa em que cada constante se aplica, pode ser de mais conveniência o uso da dose para 90% de inativação, D90, que representa 10% de sobrevivência, que pode ser calculado da seguinte forma:

$$D90 = \frac{-\ln(1-0,9)}{k} = 2,3026/k \quad (8)$$

Outros valores de dosagem podem ser calculados a partir da mesma equação 8, como por exemplo, para a dosagem D99 (KOWALSKI, 2009).

Os dados da tabela 1, são estudos no ar, água, e superfície. O tipo de bactéria é apontado como esporos ou vegetativo, os vírus são identificados pelo DNA e os fungos são apresentados como esporos vegetativos. Para os estudos aerotransportados, as circunstâncias da umidade relativa são apresentadas se esta são conhecidas. A descrição Lo UR da tabela 1, refere-se a umidade relativa abaixo de 68%, já o termo Hi RH resulta uma umidade relativa em cerca de 68% ou maior. Os valores D90, são calculados a partir das constantes de taxas, como mostra a tabela a seguir:

Tabela 1: Constante de taxa para cada respectivo grupo de micro-organismo

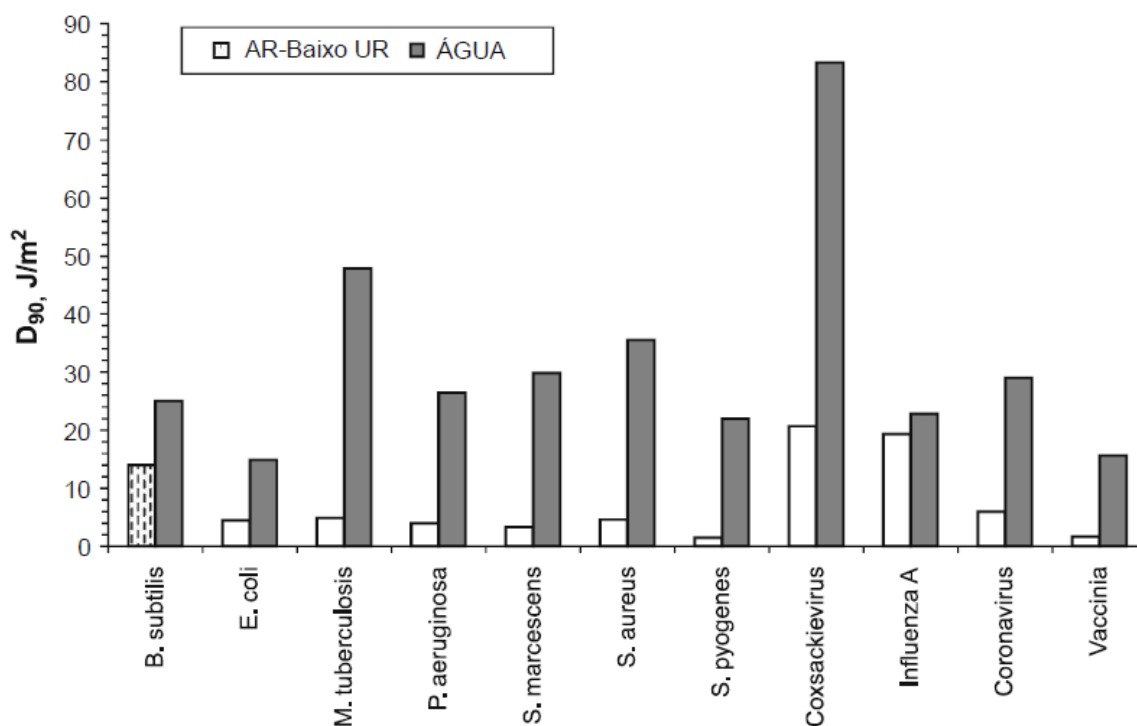
Micro-organismo	Tipo	Água		Superfície		Ar – Lo UR		Ar – Hi UR	
		UV k m ² /J	D ₉₀ J/m ²	UV k m ² /J	D ₉₀ J/m ²	UV k m ² /J	D ₉₀ J/m ²	UV k m ² /J	D ₉₀ J/m ²
Bactéria	Vegetativos	0,08463	27	0,14045	16	0,38887	6	0,07384	31
Vírus	DNA	0,05798	40	0,03156	73	0,39985	6	0,29050	8
Bacteriano	Esporos	0,01439	160	0,01823	126	0,02566	90	0,02600	89
Células fúngicas e leveduras	Vegetativos	0,01008	229	0,00700	329	0,09986	23		
Esporos de fungos	Esporos	0,00916	151	0,00789	292	0,00730	315	0,00472	488

Fonte: Kowalski, 2009

Os micróbios aerotransportados tem a sensibilidade aos raios ultravioletas muito maior do que os sobre uma superfície (ver Figura 9). Os vírus e as bactérias têm mais sensibilidade na água, do que no ar em baixa umidade, a resistência pode variar bastante entre as espécies microbianas (KOWALSKI, 2009).

A susceptibilidade dos micróbios pode envolver vários fatores, como a água absorve UV, pode haver mais agitação e difusão no ar do que na água, como o atrito é menor causa mais mistura, então, garantia que as populações aerotransportadas fossem mais exposta uniformemente (KOWALSKI, 2009).

Figura 9 - Comparação da vulnerabilidade dos vírus e bactérias o ar e na água



Fonte: Kowalski, 2009

2.8 Lâmpadas Germicidas

A lâmpada UV é o elemento principal de qualquer sistema UVGI. As lâmpadas UV podem ser encontradas de vários formatos, tamanhos e níveis de UVE potência saída. Além das características citadas anteriormente, são utilizadas para a desinfecção dois tipos básicos de lâmpadas UV, como a de média pressão (MP), que produzem comprimentos de onda UVC (254nm) e UVB, já a lâmpada UV de baixa pressão (LP), geram comprimentos de onda UVC de banda estreita (KOWALSKI, 2009).

As lâmpadas têm sólidos manchas de amálgama, que consiste de uma liga de mercúrio com outro elemento como índio (In) e gálio (Ga), a qual controla a pressão de vapor de mercúrio. Além disso, as lâmpadas UV também são compostas por um gás inicial, comumente o argônio. Os tipos mais usuais de lâmpadas são de descarga de alta intensidade e de vapor de mercúrio de baixa pressão. Devido ao estreito espectro de UVC originado pela

baixa pressão, esses tipos de lâmpadas UV tendem a produzir muito menos ozônio, já as lâmpadas de amplo espectro, média pressão, tendem a causar mais danos às enzimas e outros constituintes microbianos (KOWALSKI, 2009).

As lâmpadas de descarga de alta intensidade (HID – *High Intensity Discharge*) ou de média pressão têm bulbo maior, e temperaturas de paredes e uma menor eficiência de conversão do que lâmpadas de baixa pressão, porém, pode atingir níveis de irradiância mais elevados. As lâmpadas UV de baixa pressão possui muitas semelhanças com as lâmpadas fluorescentes, compõem-se de descargas de mercúrio de baixa pressão e elementos como reator podem ser utilizados em ambos. O vidro é revestido na parte interna com fósforo que absorvem UV e espalham a energia como luz visível (KOWALSKI, 2009).

A vida total da lâmpada é estabelecida pela taxa de perda do revestimento emissivo de elétrons nos eletrodos, e é obtido quando o revestimento é completamente removido de um ou ambos eletrodos. A ligação da lâmpada acontece em dois estágios. No primeiro estágio uma tensão alta deve ser aplicada através dos eletrodos para começar a ionização do gás na lâmpada. No segundo estágio a tensão precisa ser mantida em toda lâmpada para abranger ionização. As lâmpadas de início rápido utilizam eletrodos de baixa ou alta resistência que são aquecidos continuamente, este aquecimento é alcançado por meio de enrolamentos de baixa tensão agregados pelo reator ou por transformadores de baixa tensão (KOWALSKI, 2009).

2.9 Materiais refletivos

Há possibilidades de ampliar a eficácia de UVGI por meio da utilização de materiais refletivos. O material mais comum utilizado é a folha de alumínio polido e possui uma reflexividade UV amplamente especular cerca de 75%. O material conhecido é o politetrafluoretileno (PTFE), que possui uma refletividade em torno de 99%. Esse processo de reverter as superfícies internas de uma unidade de tratamento de ar, tem capacidade de ampliar o campo de irradiância UV, podendo prover exposição UV aos locais que serão sombreados. As superfícies reflexivas podem exigir limpezas regulares, apesar de que a filtragem e radiação UV tendem a manter o material limpo (KOWALSKI, 2009).

2.10 Sistemas de Desinfecção do ar

Os sistemas de desinfecção, usam basicamente o ar forçado, por exemplo em dutos ou unidades de recirculação. A eficácia desses sistemas pode variar de acordo com local e condições (KOWALSKI, 2009).

Os sistemas UVGI baseados em recirculação do ar, geralmente consistem em lâmpadas UV e acessórios contendo um soprador ou exaustor. Alguns sistemas contêm filtros, para assegurar que as lâmpadas estejam livres de poeira. A maioria das unidades de recirculação são portáteis que podem ser colocadas em chão ou em mesas, ou até no teto, especificamente usados na área da saúde. Dependendo do tamanho, o volume interno não permitirá recirculação com tempo de exposição ampliado, então para equilibrar a grande parte dos fabricantes tenta compensar isso, aumentando a potência UV. Apesar de que as unidades de recirculação de UV podem ter uma dose específica, ainda faz-se necessário a determinação de um tempo de um tempo mínimo, sem este tempo pré definido o desempenho pode ser menor (KOWALSKI, 2009).

Um problema que pode vir acontecer com as unidades de recirculação UV é que pelo fato da fiação interna ser exposta aos raios ultravioletas, podem estar sujeitos a deterioração com o tempo (KOWALSKI, 2009).

O mercado já comercializa produtos para recirculação de ar antes da pandemia, porém, eram mais presentes em consultório odontológicos e Hospitais, no entanto, poderiam ser adaptados para quartos pequeno até mesmo apartamentos. Várias unidades de recirculação são portáteis e são adaptas a serem posicionadas em mesas ou no chão. Alguns dispositivos podem ser pendurados em tetos ou em paredes, especialmente aqueles utilizados na área da saúde (KOWALSKI, 2009).

Algumas unidades de recirculação de ar têm possibilidade de serem instaladas para o aumento da purificação, como por exemplo, em dutos ou onde a instalação nos mesmos não tem viabilidade. Os produtos devem ter um tempo permitido para a exposição UV, haja vista que, dependendo do tamanho, os volumes internos das unidades de recirculação não aceitam tempos de exposição muito longos. Desta forma os fabricantes empenham-se em compensar ampliando a potência total de UV. Contudo, não se pode garantir a eficácia e, portanto, podendo não atender os requisitos mínimos (KOWALSKI, 2009).

Figura 10 - Na esquerda um sistemas autônomos para estabelecimentos de saúde. Na direita Sistema UV unitário residencial



Fonte: Kowalski, 2009

A Samsung desenvolveu o virus Doctor, um purificador de ar, onde seu funcionamento é baseado na tecnologia de purificação do Ionizador de Plasma Samsung, que elimina substâncias aéreas nocivas como, vírus, fungos e bactérias. Previne doenças como resfriados e H1N1, eliminando até 99% dos vírus e bactérias nos ambientes. O produto custa entre 1.700 e 1.800 reais (Samsung, 2018).

Figura 11 - Purificador de ar, virus Doctor



Fonte: Samsung, 2018

A empresa Intechno, desenvolveu o purificador de ar que tem uma capacidade de 150m³/h, recomendados para ambientes com pouca ventilação, recomenda-se que para ambientes maiores utilizar mais de um equipamento (Intechno, 2018).

Figura 12 - Purificador de ar, Intechno



Fonte: Intechno, 2018

O produto basicamente capta o ar e força este para passar pelo interior do tubo, no qual, recebe uma radiação ultravioleta de 254 nm, possibilitando a destruição do RNA e DNA de micro-organismos. Como a radiação ultravioleta é dissipada em calor, para reter esta radiação são fabricadas em materiais nobres, como polímeros resistentes à alta temperatura, tornando a vida útil do equipamento maior. O purificador é construído em alumínio em formato tubular, fazendo assim, uma máxima eficiência das lâmpadas UV-C, além de propiciar alta resistência e durabilidade. É de fácil instalação e aplicável em vários ambientes como: laboratórios, ônibus, salas e etc (Intechno, 2018).

Durante a pandemia de Covid-19, surgiu com ela a necessidade de buscar novos equipamentos para desinfecção, por exemplo, as universidades e algumas empresas fabricaram novos equipamentos. Outras empresas buscaram a melhoria ou a realização de novos testes biológicos para aqueles purificadores que já eram comercializados antes da pandemia.

Os purificadores, antes da pandemia, eram oferecidos mais como forma de comodidade, principalmente em casas. Os surgimentos de novos purificadores foram pensados, principalmente, pela circulação de pessoas em ambientes fechados, haja vista que, em um local fechado, se uma pessoa estiver contaminada, ela pode acabar contaminando as outras, que estão no mesmo ambiente.

Considerando que um dos ambientes com mais possibilidades de contaminação são os hospitais odontológicos, um dos dispositivos desenvolvido foi um protótipo, denominado Purificador anti-covid-19, cujo investimento foi cerca de 184,8 mil reais, o produto tem como objetivo a desinfecção em ambiente hospitalar, contando com uma eliminação de até 99,9% do vírus. O protótipo tem como diferencial, sistema que possibilita a acoplagem de forma direta

nas cadeiras odontológicas, ele também utiliza filtros, que foram desenvolvidos pelos mesmos, que contém nanotecnologia (Brasil, 2021).

Figura 13 - Purificador de ar, anti-covid-19



Fonte: Brasil, 2021

O purificador da marca Sterilair já existe no mercado há cerca de 30 anos, porém, seu objetivo era para desinfetar os ambientes de vírus, bactérias e fungos e evitar crises alérgicas. Com a declaração da pandemia o produto brasileiro, mudou seu foco, visando sua capacidade de eliminar vírus em ambientes fechados. Em uma parceria com a Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), para que fosse testado o purificador para o novo coronavírus, e seus resultados foram bons, considerando uma eliminação de até 99,9% do vírus, suspenso no ar (exame, 2020).

Figura 14 - Purificador de ar, marca Sterilair



Fonte: Sterilair, 2020

A principal vantagem do produto é que ele não precisa de agente químicos para funcionar e, portanto, é recomendado para ambientes. Além disso, possui placas de cerâmica que são aquecidas a uma temperatura elevada, que eliminam os micro-organismos, desde

que a esterilização completa seja feita por cerca de 3 horas, para um ambiente de 20 metros quadrado (exame, 2020).

A Biotecam, uma startup de biotecnologia ambiental, no ano de 2019 começou os testes para um equipamento desenvolvido para auxiliar na limpeza de águas poluídas, no entanto, com a pandemia, a sua aplicação voltou-se para purificação de ar em locais com aglomerações de pessoas contaminadas pela Covid-19. O sistema basicamente, absorverá o ar dos hospitais em foco os de campanhas, UTIs ou em outros setores de saúde. O material irá passar por um reservatório onde será filtrado com uma solução desinfetante, que pode ser hipoclorito de sódio (NaClO). O sistema tem como ideia reduzir a contaminação que pode acontecer pelas gotículas que se dissipam no ar pela tosse, fala ou espirros de pessoas que estão contaminadas. O equipamento teve um custo de 50.000 reais e com um nível de desinfecção de 95% (Veja, 2020).

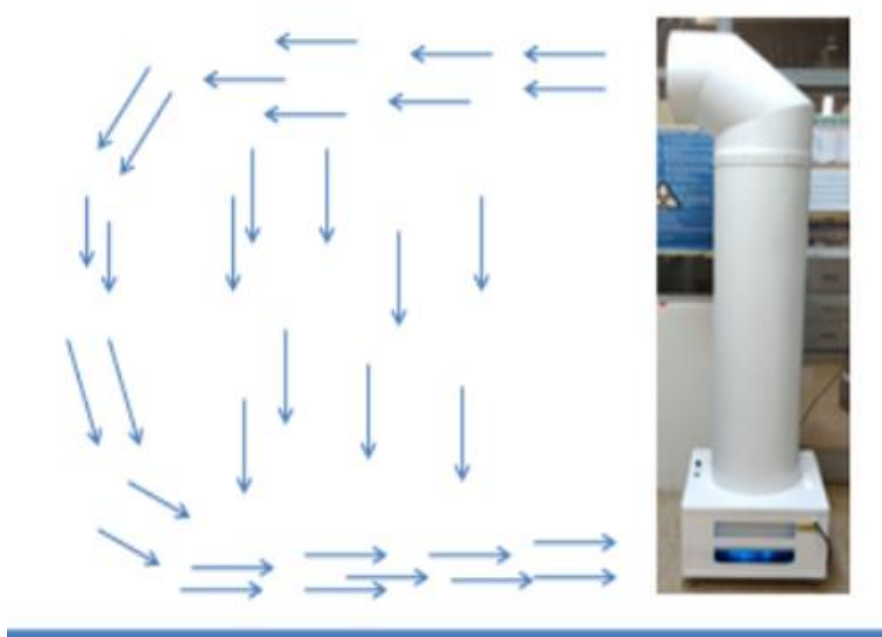
Figura 15 - Pacaembu, transformado em hospital de campanha



Fonte: Veja , 2020

A Universidade de São Paulo desenvolveu um sistema de desinfecção de ambientes fechados, o sistema tem como base a tecnologia UVC e gradiente de pressão que eliminam partículas patogênicas do ar em lugares fechados e com grandes circulações de pessoas. O funcionamento do sistema consiste basicamente na criação de um fluxo de ar, considerado quase laminar, próximo ao chão, que carrega as partículas em suspensão, fazendo assim, as partículas passarem pelo sistema de desinfecção UVC. Posteriormente, retornando o ar ao meio ambiente desinfetado (Instituto de Física de São Carlos, 2020).

Figura 16 - Modelo de funcionamento do desinfector de ar



Fonte: Instituto de Física de São Carlos, 2020

Os experimentos realizados mostraram um resultado promissor, no qual, em uma única passagem os micro-organismos são eliminados em 99,99%, o equipamento é programado para operar a cada 15 minutos, pelo sistema circula 100m^3 de ar. Considerando uma sala de tamanho mediano de $5 \times 5 \times 4 \text{ m}^2$ (Instituto de Física de São Carlos, 2020).

A USP desenvolveu rodo capaz de inativar micro-organismos, o dispositivo foi desenvolvido pelo Grupo de Óptica do Instituto de Física de São Carlos. O rodo utiliza a tecnologia UVGI para descontaminar pisos, evitando a propagação do vírus por meio dos sapatos. Para total eficácia os rodos devem ser utilizados por um tempo de 1 minuto por metro quadrado da superfície que será descontaminada (R7 Saúde, 2020).

Figura 17 – Rodo esterilizador



Fonte: R7 Saúde, 2020

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente capítulo tem como objetivo a apresentação e descrição de purificadores, tantos comerciais quanto desenvolvidos na pandemia, enfatizando suas diferenças. Assim, apresentando o projeto inicial do purificador, sua base de cálculo, circuito elétrico e a descrição dos dois protótipos desenvolvidos, onde foram feitas as melhorias necessária em relação do primeiro para o segundo protótipo até chegarmos no projeto atual.

As etapas de concepção do purificador, consistiram são: Cálculos para dose UV, construção dos primeiros protótipos, realização dos testes biológicos e por fim, o projeto atual.

Desde a declaração da pandemia de COVID-19, a UFOPA vem executando ações de enfrentamento contra esta, como por exemplo, distribuindo equipamentos de proteção individual e álcool em gel, realizando testes no Laboratório de Biologia Molecular (Labimol), tendo também, ações educativas, acompanhamento psicológico, entre outras ações para a minimização dos impactos da pandemia.

3.1 Cálculos para encontrar a Dose de exposição UV

Para encontrar a dosagem de exposição UV foi necessário calcular a irradiância, e subsequentemente é preciso encontrar a velocidade do ar, que será dada a partir da equação da vazão volumétrica. A partir desta velocidade do ar, é encontrado o tempo de exposição e dessa forma, pode-se determinar o valor da dose de exposição UV. Com o valor da dosagem encontrada a taxa de sobrevivência pode ser estipulada, para comprovação de que o valor da dosagem é suficiente para inativação dos vírus.

Para determinar a irradiância, algumas variáveis foram consideradas como a potência da lâmpada e as medidas das tubulações. Desta forma, substituindo os valores na equação 2, que é dada no capítulo 2. A irradiância da lâmpada é a seguinte:

$$I_r = \frac{20 W}{2\pi RH} = \frac{20 W}{2\pi \times 7,5 \times 60 \text{ cm}^2} = 7,07 \text{ mW/cm}^2$$

Portanto, a irradiância é 7,07mW/cm².

Para calcular a velocidade do ar, utilizaremos a vazão volumétrica do exaustor. Substituindo os valores numéricos da vazão volumétrica do exaustor e da área do tubo. Fazendo os arranjos na equação 3, dada no capítulo anterior. A velocidade do ar será:

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{75 \text{ m}^3/\text{h}}{\pi R^2} = \frac{2,08 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}}{\pi(0,075)^2 \text{ m}^2} = 1,177 \text{ m/s} = 117,7 \text{ cm/s}$$

Desta forma, a velocidade do ar é 117,7 cm/s.

O tempo de exposição será determinado pela altura e a velocidade do ar. A partir da equação 4. Desta forma, substituindo os valores, o tempo de exposição será:

$$t = \frac{60 \text{ cm}}{117,7 \text{ cm/s}} = 0,51\text{s}$$

Tempo de exposição necessário é 0,51s.

A dose de exposição é determinada pelo tempo de exposição e Irradiância, pela equação 5, no capítulo anterior. Substituindo os valores na equação:

$$D = 7.07 \times 0.51 = 3,61 \text{ mJ/cm}^2 = 36,1 \text{ J/m}^2$$

Portanto, a dosagem alcançada pelo sistema é 36,1 J/m², que segundo a tabela 1, apresentada no capítulo 2, é suficiente para inativação de vírus e bactérias com um rendimento de 90%.

Para estimar a sobrevivência, equação 6, é necessário o valor da dosagem e a constante de taxa k, a qual depende de cada micro-organismo. O valor de k para vírus no ar depende da umidade relativa, pois conforme a umidade relativa aumenta, a sensibilidade dos vírus diminui. Como o UR é separado por categoria de (lo) UR, baixo e (Hi) UR, alto, de forma que a umidade relativa vai de baixo para cima. A partir da tabela 1 os valores k para vírus em (lo) UR é 0,39985 e para (Hi) UR é 0,29050.

Desta forma para (lo) UR:

$$S = e^{(-0,39985 \times 36,1)} = 5,383 \times 10^{-7}$$

Para (Hi) UR:

$$S = e^{(-0,29050 \times 36,1)} = 2,7895 \times 10^{-5}$$

Como os valores de k mudam, a taxa de sobrevivência mudará, e pelos valores obtidos é possível verificar que a premissa de quanto maior a UR menor será a taxa de sobrevivência. Porém, ainda obteremos uma taxa de 99% de sobrevivência, considerando a região norte, característica pela alta umidade.

Na forma geral, a temperatura considerada conveniente é de 21°C, porém, tendo uma variação entre 19°C e 23°C, assim, a umidade relativa permanece entre 55% e 65%. A umidade relativa varia conforme a localidade de uma determinada região, como o Pará localiza-se na região norte onde a temperatura varia entre 20°C a 35°C e a umidade relativa entre 60% e 70%, favorecendo assim o crescimento de micro-organismos.

Na região norte as estações predominantes do ano são: inverno e verão. Consequentemente estas têm uma variação de temperatura e desta forma, uma variação da umidade relativa. A temperatura no inverno pode ser de até 20°C e no verão de 35°C, portanto, a taxa de sobrevivência mudará. No inverno com a baixa umidade relativa, a suscetibilidade dos vírus aumenta e no verão esta diminui.

3.2 Primeiros Protótipos

Antes do projeto atual, foram desenvolvidos dois protótipos o primeiro desenvolvido de forma mais robusta com objetos que estavam pela universidade, com dimensões diferentes, o primeiro com a tubulação de 150 mm e o segundo de 300 mm. A partir dos materiais encontrados, iniciou-se o desenvolvimento do segundo protótipo, no qual teve suas melhorias, principalmente nas dimensões do tubo, como foi observado que com uma área menor a desinfecção funcionava com melhor aproveitamento e nos materiais refletivos, foi observado que com a radiação os materiais se correm, então buscou-se um material mais adaptado e mais resistível a esse tipo de processo que inclui radiação UV.

O primeiro protótipo como mencionado anteriormente foi construído com resíduos de construção encontrados no Campus Tapajós. Outros materiais foram adquiridos de forma colaborativa entre os professores que já atuavam de forma independente em outros projetos de combate à COVID-19.

Como podemos observar na figura 18, não era esteticamente bom, seu objetivo era funcionar, mesmo de forma robusta, ele funcionou. Seu processo de funcionamento era pelo exaustor que arrasta as partículas em suspensão para dentro do tubo, onde continha a lâmpada germicida.

Figura 18 - Primeiro Protótipo



Fonte: Autora (2020)

O segundo protótipo com uma tubulação maior, tendo o mesmo princípio de funcionamento do primeiro protótipo. Com o aumento da área dos tubos a desinfecção de luz por UVC dentro dos tubos, era menor, conseqüentemente tendo uma diminuição na dosagem UV. Construído também a partir dos resíduos de construção, mas agora os tubos eram revestidos por um material refletivo para manter a irradiância e, portanto, retornando um ar mais limpo.

Figura 19 -Segundo Protótipo



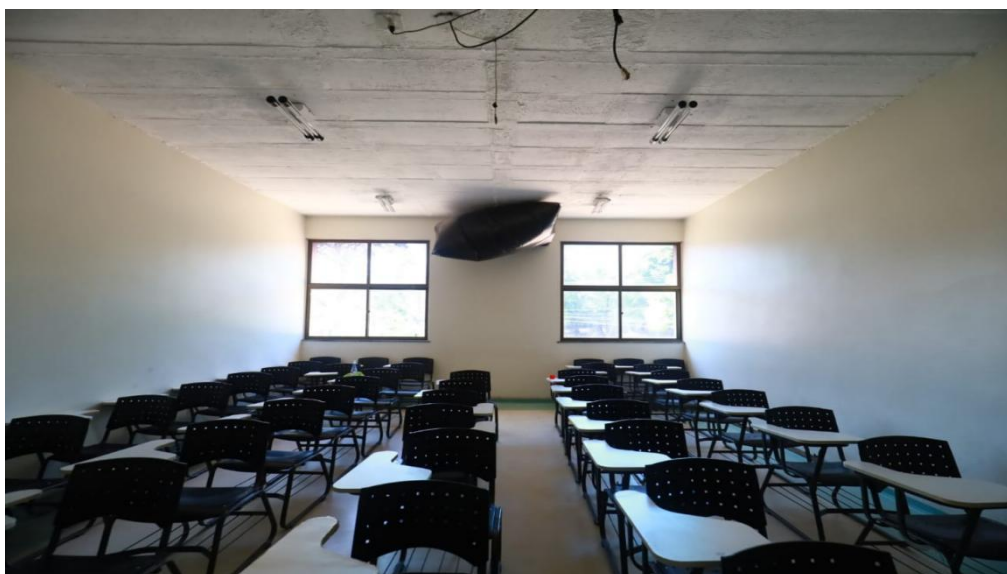
Fonte: Autora (2020)

3.3 Testes biológicos

Para validar o projeto final do purificador foi necessário submetê-lo aos testes biológicos, os quais foram realizados em uma sala de aula na UFOPA, localizada no Bloco de Salas Especiais (BSE) e que possui 60 m². As salas do BSE são as maiores encontradas na instituição e as únicas disponíveis no momento dos testes.

Inicialmente foi realizado a limpeza do ar-condicionado, para que não houvesse impurezas no ambiente que pudessem ter influências sobre os testes. Como os serviços de manutenção de climatização estavam suspensos, a limpeza foi feita usando um produto destinado ao condicionamento de ar de automóveis.

Figura 20 – Limpeza do ar condicionado da sala de aula



Fonte: Autora (2020)

Os testes biológicos foram realizados em parceria com o Instituto de Saúde Coletiva (ISCO). O laboratório de Microbiologia realizou a avaliação microbiológica do ar, expondo placas de Petri abertas no ambiente, desta forma, o que havia de particulado no ar faria seu processo natural de depositando no piso. O procedimento para os testes consistiu em colocar as placas ao piso em mesma altura em posições diferentes, definidas como início da sala, meio da sala e final da sala. A placa final foi posicionada abaixo do ar condicionado.

Os protótipos foram indicados como APT1 (tubulação de 150 mm) e APT2 (tubulação de 300 mm), e para fins de avaliação, os momentos sem o funcionamento do purificador foram definidos como AT0. O tempo de funcionamento de cada dispositivo para cada ponto da sala foi 3 horas, as quais foram realizadas em intervalos de 30 e 30 minutos.

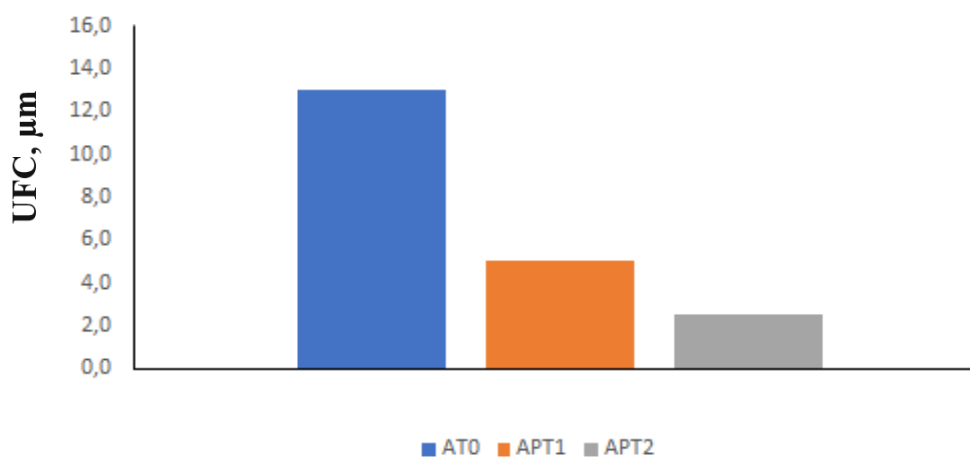
Figura 21 - Procedimento dos testes biológicos



Fonte: Autora (2020)

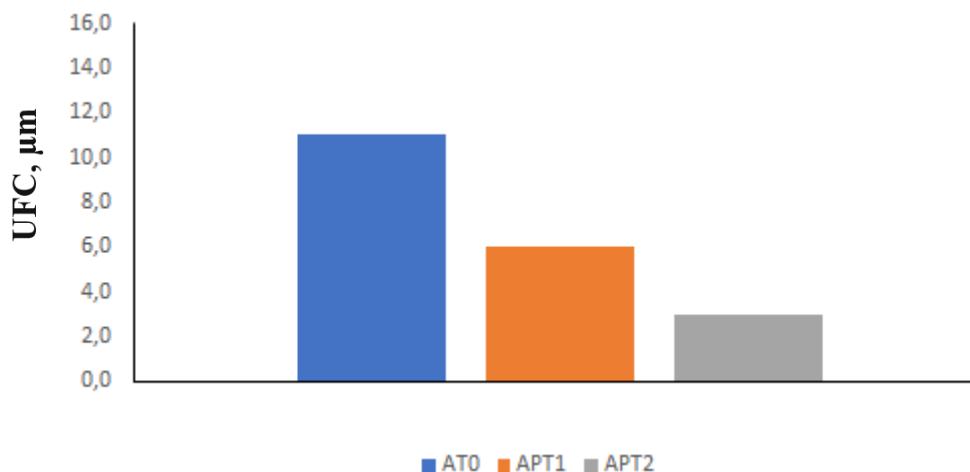
Os gráficos abaixo mostram os resultados dos testes biológicos, no qual corrobora a eficiência do purificador, é válido que observar que os resultados dos testes biológicos apresentados são baseados nos dois protótipos. Onde foram realizados durante 2 horas com intervalos de 30 minutos.

Gráfico 1 - Início da sala



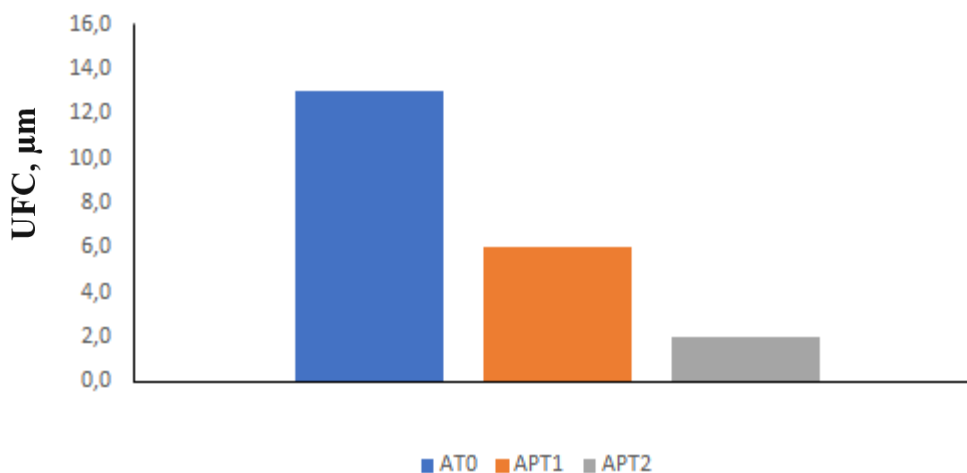
Fonte: Autora (2021).

Gráfico 2 - Meio da sala



Fonte: Autora (2021).

Gráfico 3 - Final da sala



Fonte: Autora (2021).

Ao analisar os gráficos é perceptível a diminuição da quantidade de colônias de micro-organismos presente em todos pontos da sala. Comparando aos momentos sem o purificador o dispositivo com melhor eficiência foi o APT1, que evidência que o aumento da tubulação não traz grandes benefícios a desinfecção e também a custo/benefício, com a tubulação de 150mm (APT1), é mais eficiência e com um custo menor.

No início o purificador está desligado, descrito pelo tratamento AT0, logo em seguida, com o sistema ligado, tratamentos APT1 e APT2 ligados em momentos diferentes. As quedas graduais nos micro-organismos totais, ao longo do tempo, ou seja, em intervalos de 30 minutos entre APT1 e APT2. O gráfico 3, referente ao final da sala, mostra o maior decaimento pelo fato do purificador está posicionado no mesmo.

O purificador não passou por teste com tipos de vírus, no entanto, os resultados produzidos pelo os sistemas foram eficientes no combate ao mofo (reclamação recorrente entre os usuários da instituição), uma vez que a dosagem para inativar os vírus é bem menor que para fungos e bactérias (G1, 2021).

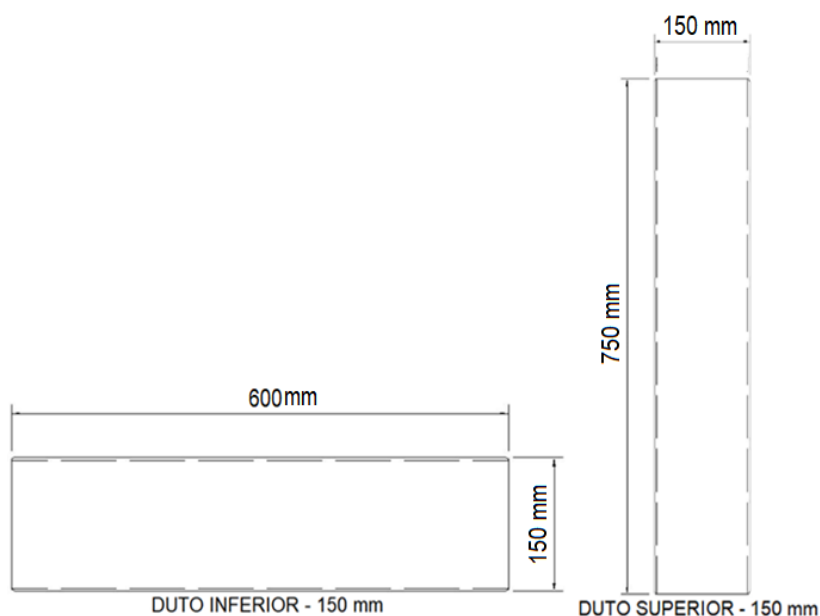
3.4 Projeto do Purificador

O purificador tem como base um exaustor, onde faz as partículas serem arrastadas em suspensão para dentro do tubo, no qual é revestido por um material refletivo, que tem por finalidade manter a irradiância e no centro do mesmo é instalado a lâmpada germicida, e assim, o ar será esterilizado pela luz UVC e deste modo, retornará ao ambiente de forma mais limpa. Além disto, existe um pequeno circuito elétrico, no qual tem fios de ligações, reator para lâmpada e um fusível de proteção.

3.4.1 Construção do Purificador

A figura 22 mostra a estrutura do purificador, que são tubos 600 mm, para o tubo inferior e para o tubo superior, 750 mm.

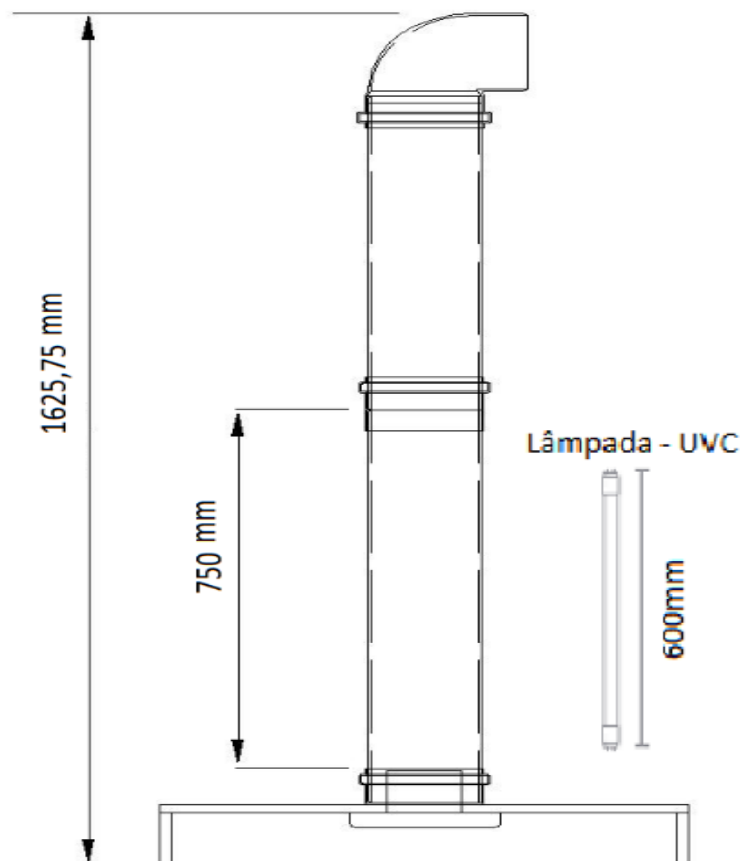
Figura 22 - Representação dos tubos



Fonte: Autora (2021).

O purificador é constituído por Joelho para esgoto, onde será a saída do ar, depois do processo de esterilização pela luz UVC. Os tubos PVC (*Policloreto de vinila*), são devidamente cortados para o arranjo físico, a base do purificador é o MDF (*Medium Density Fiberboard*), que é a madeira que suporta toda estrutura, junto com esta tem os pés comuns para móveis, servindo de base sólida para o sistema.

Figura 23 - Estrutura do purificador



Fonte: Autora (2021)

3.4.2 Componentes Elétricos

A tabela a seguir mostra os componentes elétricos utilizados:

Tabela 2: Componentes elétricos

Componentes	Quantidade
Lâmpada Germicida	1
Soquetes	2
Reator eletrônico	1
Exaustor	1
Fusível	1
Chave liga/desliga	1
vermelho - 1mm	70 cm
Cabos azul – 1mm	40 cm

Fonte: Autora (2022).

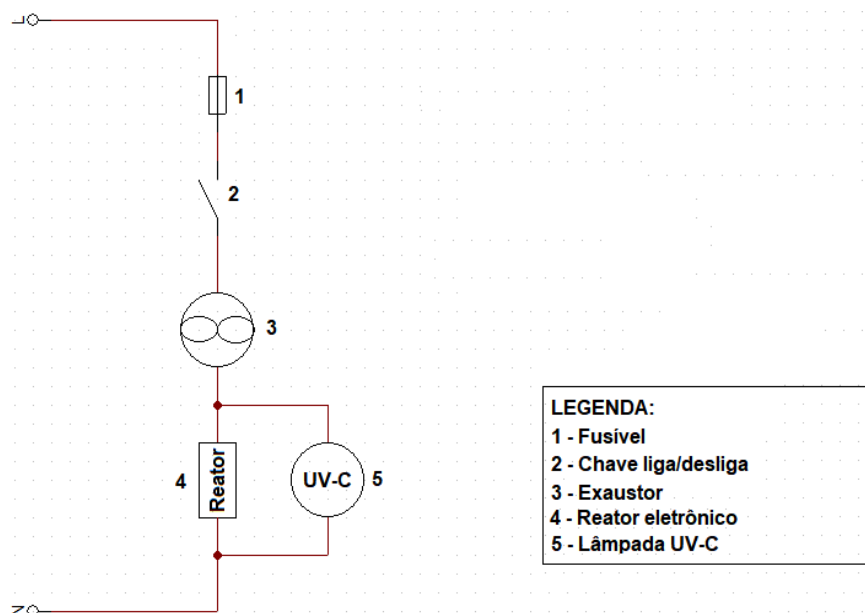
Um dos componentes elétricos é a lâmpada Germicida da marca PHILIPS, modelo TUV 20W FAM, com 20W de potência e 11.000 horas de vida útil, de base G5 e bulbo T5, modelo MT-0053, com tensão de 250V e corrente de 2A; usou-se soquetes da marca DECORLUX; um reator eletrônico de partida instantânea da marca UV-BRAVO, modelo 1x20W, com tensão de 127/220V e frequência de 50/60Hz; um exaustor para banheiros de 100 mm da marca VENTISOL, modelo R-4622, com tensão de 127V, potência de 10W e vazão de 73 m³/h; fusível de 1,25A; uma chave liga/desliga e para condução elétrica utilizou-se fios azul/vermelho de 1mm cada, totalizando 50m destes.

3.4.3 Circuito elétrico

Nessa fase, um circuito elétrico pequeno foi instalado ao sistema, contendo nele, fusível de proteção, reator para a lâmpada e fios de ligação. O circuito é monofásico, no qual, se tem um fusível conectado propriamente ao condutor de fase e uma chave liga/desliga, com a finalidade de assegurar a proteção dos componentes elétricos, se por ventura houver uma sobrecarregar ou desligamento inesperado do sistema. No momento em que a chave liga/desliga é ligada todo sistema é ativado, fazendo assim o acionamento de imediato do reator e exaustor, os dois são conectados aos condutores de fase e neutro. O

reator é responsável pela operação da lâmpada germicida que fornece a tensão suficiente para acender a mesma.

Figura 24 - Circuito elétrico do sistema e seus componentes



Fonte: Autora (2021)

3.4.4 Materiais utilizados

Os materiais utilizados foram pensados na forma que garantisse um equipamento de baixo custo e tendo um bom desempenho do sistema. Os materiais utilizados são mostrados na tabela a seguir:

Tabela 3: Materiais utilizados

QUANTIDADE	MATERIAL	VALOR
1	Peça 500x500x15 mm - Compensado	R\$ 11,76
2	Peça 500x150x15 mm - Compensado	R\$ 3,53
14	Parafusos para madeira 3x16mm	R\$ 1,95
1	Exaustor 6m ² – 75m ³ /h	R\$ 92,90
1	CAP PVC 150mm 6’’ Tigre	R\$ 38,90
1	Luva PVC 150mm 6’’ Tigre	R\$ 41,90
1	Joelho PVC 150mm 6’’ Tigre 6m	R\$ 57,90
1,5	Peça tubo PVC 150mm 6’’ Tigre 6m	R\$ 42,48
1,6	Fita adesiva Alumínio 30cm x 10m	R\$ 15,98
2	Soquetes com entrada para starter	R\$ 6,40
1	Cabo azul ou vermelho 1mm – 100m	R\$ 0,80
1	Reator 1 lâmpada 20w	R\$ 28,90
1	Caixa de passagem 154X110X70mm Steck	R\$ 26,90
1	Interruptor tipo chave gangorra	R\$ 2,20
1	Porta fusível de rosca 5x20	R\$ 1,50
1	Fita isolante	R\$ 0,75
1	Perfil PVC adesivo	R\$ 6,45
0,4	Solda estanho 60X40 1mm 500g Soft	R\$ 0,36
2	Fio paralelo 2x2,5mm	R\$ 5,80
1	Plug macho 10 ^a	R\$ 1,49
1	Lâmpada Germicida 20W 60cm	R\$ 130,31
1	Fusível 5X20 10 ^a	R\$ 0,17
TOTAL		R\$ 519,33

Fonte: Autora (2021)

4 RESULTADO E DISCUSSÃO

O presente capítulo tem como objetivo a apresentação o Programa de Ações Emergenciais (PAEM), que foi o programa que possibilitou o presente projeto, e assim, mostrar o purificador atual, fazendo a descrição de cada processo e componentes do projeto atual, enfatizando as modificações e melhorias baseado nos primeiros protótipos.

4.1 Programa de ações emergenciais

O primeiro protótipo foi validado usando os testes biológicos e obteve-se o projeto definitivo do purificador, bem como a definição dos materiais. No entanto, não havia material na instituição para a produção destes em grande quantidade.

Assim, ainda em 2020 foi criado o Programa de Ações Emergenciais (PAEM), que buscou reunir as iniciativas para o combate à pandemia. Como a UFOPA e todas instituições tiveram que parar seus projetos e pesquisas, a universidade assim, tornou seu foco em soluções que buscavam inovações e tecnologias, para prevenção e combate a covid-19 e também visando o retorno das atividades presenciais. O PAEM recebe recursos de auxílio ao pesquisador, no pagamento de bolsas aos estudantes envolvidos nos projetos, e conta também com participação de voluntários.

O PAEM abrange 4 projetos, que são do Programa de Ciência e Tecnologia (PCT), no qual são destinados ao combate da COVID-19. São eles: Desenvolvimento de um dispense de álcool em gel automático, sistema de desinfecção do ar baseado em ultravioleta e soluções para esterilização a partir de radiação UV-C. Todos os projetos atualmente ainda estão em andamentos, e todos mostraram resultados, o PAEM a início era previsto durante um ano, porém, os projetos e bolsas foram prorrogados por mais seis meses.

O PAEM ofertou recursos que permitiram a construção do purificador atual. Contudo, foi prevista a construção de 20 purificadores, cuja distribuição seria realizada pela Comissão de Biossegurança da UFOPA. No entanto, o edital do projeto PAEM permitia o aporte de recursos apenas para os consumíveis, e assim a produção foi 85 purificadores até junho de 2022.

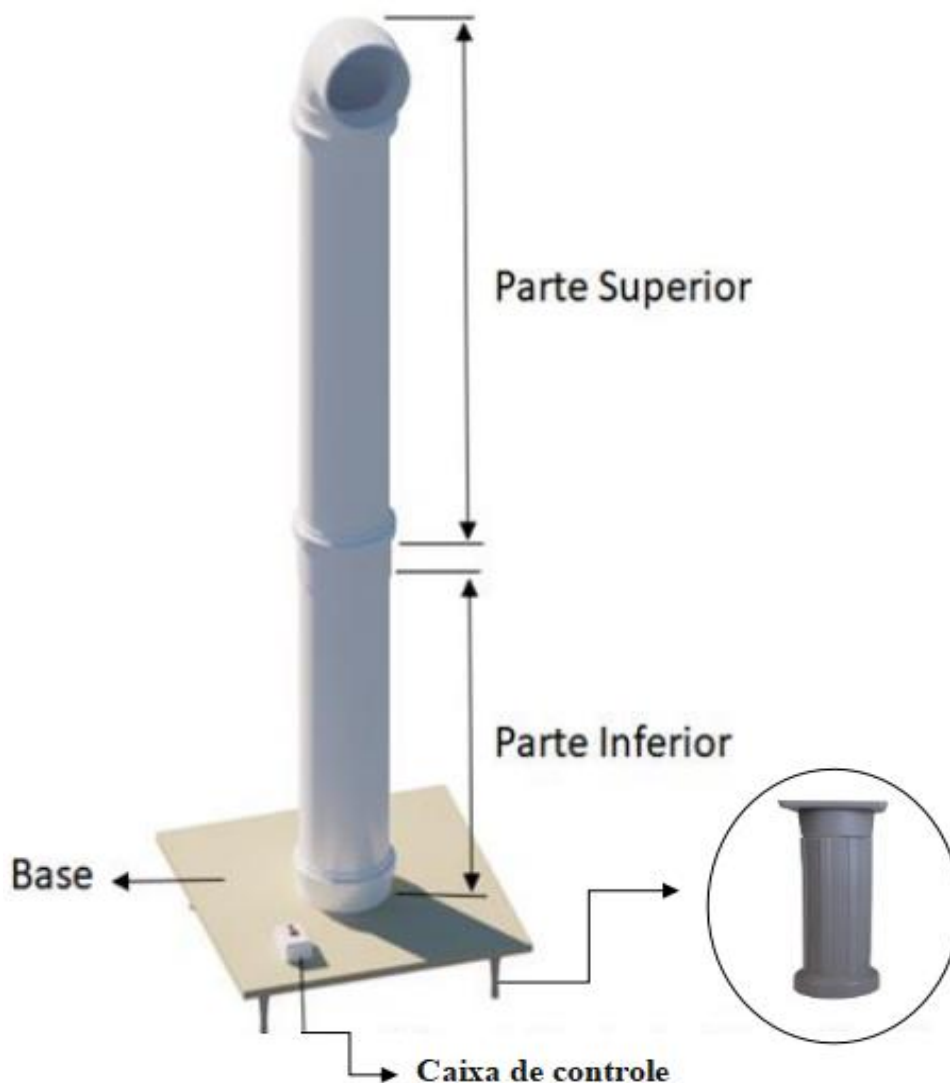
4.2 Purificador atual

Com base nos dois protótipos, foram realizadas as modificações e melhorias para o purificador atual, no qual se apresenta de uma forma mais adaptável ao um ambiente, fazendo assim um melhor transporte para diferentes locais, além de fácil instalação e também possui uma facilidade em seu manuseio, o projeto atual apresenta-se esteticamente mais agradável, e suas cores foram pensados de forma que combinassem com o mobiliário da UFOPA.

O primeiro processo a ser realizado é os cortes dos tubos PVC, onde seus tamanhos são de 600 mm para o tubo que vai constituir a parte inferior e para a parte superior um tubo de 750 mm.

Ainda no tubo superior tem-se um joelho para esgoto, e para conexão entre os tubos inferior e superior é utilizado uma luva para esgoto e na base é utilizado um MDF, e nesta base tem-se um furo circular para entrada do exaustor, esta etapa é um trabalho terceirizado e para que os tubos fiquem fixados na base é utilizado um Cap para esgoto e ainda na base são fixados os pés que são usuais para móveis. A figura abaixo mostra todos esses processos e objetos descritos.

Figura 25 - Representação tridimensional da configuração final do sistema



Fonte: Autora (2021).

O purificador de ar atual é todo revestido com folha de alumínio H19 duro, impedindo a deterioração dos tubos, como ocorreu nos dois primeiros protótipos. Os suportes da lâmpada germicida são de ferros para que não ocorra o mesmo processo de desgaste. Esta lâmpada germicida era um dos problemas no desenvolvimento do projeto pois seu valor é elevado, mas atualmente a compra da lâmpada não é feita em Santarém, a compra é realizada em São Paulo, por meio da internet, o que a custo é um valor acessível. Os soquetes, fios e a parte do exaustor que se encontra adentro do tubo inferior é completamente revestido e o tubo inferior é revestido com a mesma folha de alumínio, porém, o tubo não é revestido completamente a uma proporção de 600 mm, haja vista que, o tubo inferior é de 750 mm, o que é suficiente para a radiação que é emitida pela lâmpada.

No tubo inferior é posicionada a lâmpada germicida, esta que é fixada por meio de dois suportes, que são de ferros. São feitos furos nesses suportes para fixação da abraçadeira, e para que os suportes fiquem fixados ao tubo, fazendo com que a lâmpada fique centralizada no tubo. Para o elo entre a lâmpada e a energia elétrica são utilizados dois soquetes, um em cada entrada da lâmpada germicida.

Figura 26 - Componentes do tubo inferior, suporte, soquete e a lâmpada germicida.



Fonte: AUTORA (2022).

O tubo superior é revestido com material refletivo, para evitar a degradação a radiação que é emitida pela lâmpada germicida. O tubo inferior é totalmente revestido, todas as partes elétricas que ficam expostas e as partes do exaustor que ficam as amostras, evitando assim a deterioração desses materiais, como mostra a figura abaixo:

Figura 27 - Interior do tubo inferior



Fonte: AUTORA (2022).

Como a base contém uma abertura circular no centro, neste coloca-se o exaustor, e assim na parte de baixo da base o exaustor capta o ar e ainda abaixo se tem o reator da lâmpada, que é responsável pelo acionamento desta. O lado esquerdo da figura 28, mostra as ligações elétricas, entre o reator e exaustor e do reator com a lâmpada germicida.

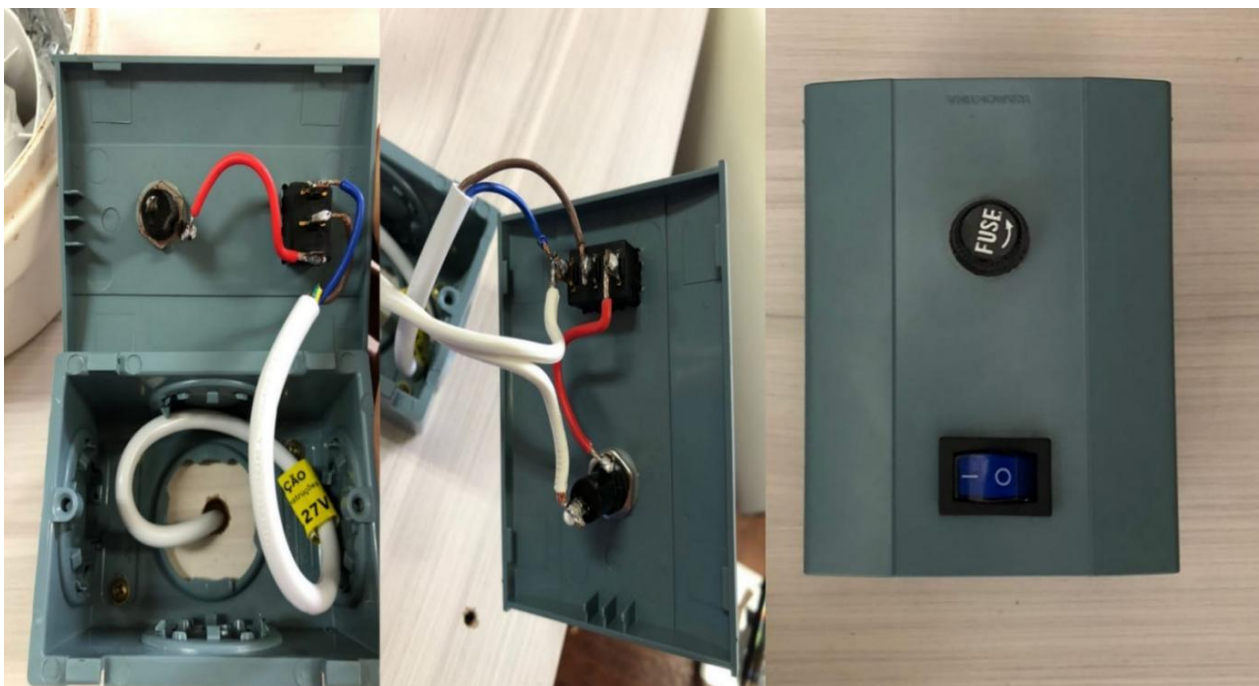
Figura 28 - Na direita o interior do exaustor. Na esquerda o exaustor e reator.



Fonte: AUTORA (2022).

Ainda na base na parte superior tem-se uma caixa de controle contendo a parte elétrica, que tem como finalidade proporcionar a utilização de energia elétrica. O arranjo mostrado na figura 29 tem um circuito de comando contendo um fusível que é conectado diretamente ao condutor de fase e a chave liga/desliga. Desta forma, quando a chave é ligada todo sistema se torna operacional, fazendo assim o acionamento imediato do reator e exaustor, que são conectados de fase e neutro. Portanto, o sistema só pode ser ligado em 110 V.

Figura 29 - Caixa de controle



Fonte: AUTORA(2022).

Para proteção dos usuários é fixado na base um aviso de cuidado com a radiação UV-C, visto que, se o indivíduo for exposto à tal radiação, esta poderá causar danos irreversíveis a pele e os olhos. Como pode haver uma pequena quantidade de radiação UV-C que sai pela parte de baixo do exaustor e pela parte superior do purificador, devido ao fato de que o sistema não é completamente vedado. Desta forma, é importante evitar animais, crianças e qualquer pessoa que não saiba manusear o equipamento corretamente.

A figura a baixa mostra o funcionamento da lâmpada germicida no tubo inferior e o adesivo de aviso.

Figura 30 - Lâmpada germicida em teste e o aviso sobre a radiação UV-C



Fonte: AUTORA (2022).

Posteriormente, com as partes elétricas devidamente instaladas, são feitos testes para verificar o funcionamento do sistema, e se estiver tudo em conformidade o purificador está pronto para entrega, como mostra a figura a seguir:

Figura 31 - Purificador atual



Fonte: AUTORA (2022).

5 CONCLUSÃO

O trabalho consistiu na descrição do purificador de ar, tendo como base dois protótipos iniciais, o sistema foi idealizado visando o retorno das atividades presenciais na UFOPA, diante da situação atual de pandemia da COVID-19, este também poderá ser de suma importância para sociedade de forma geral, podendo ser utilizado em outros ambientes como hospitais, salas de espera, consultório, entre outros ambientes fechados. No entanto, é válido observar que o purificador reduz a contaminação no ar, desta forma, as medidas de proteção como higienizar as mãos, uso de máscara e distanciamento sociais permanecendo essenciais.

Para tanto, foi realizada uma revisão bibliográfica, contendo o contexto histórico das ondas eletromagnéticas, descrevendo as unidades e terminologia, inativação por UV, espectro de absorção UV, modelagem matemática, lâmpada germicida, reatores, materiais refletivos e umidade relativa, fator importante, pois a umidade relativa pode ser um condutor de doenças virais.

No capítulo 3 foram apresentados os materiais e métodos utilizados, contendo a descrição dos purificadores de ar que já existiam no mercado e exemplos daqueles que foram modificados e/ou testados para COVID-19. A partir destes modelos foi possível obter dois protótipos os quais foram submetidos a testes biológicos para validação. Os testes se mostraram promissores, indicando inclusive qual seria o posicionamento do purificador na sala. A partir também dos testes foi possível fazer a descrição do projeto do purificador contendo seus processos de fabricação, circuito elétrico, componentes, a apresentação dos materiais utilizados enfatizando os valores de cada material utilizado, afim de fomentar o objetivo que é desenvolver um sistema de baixo custo. Os testes também foram úteis para selecionar entre os materiais de baixo custo, quais seriam alterados no projeto final, como por exemplo a troca dos suportes para fixa a lâmpada germicida eram de madeira, visto que a radiação UVC acabou por deteriorar o material, e desta forma para o projeto atual é utilizado suporte de ferro que não deteriora com a radiação. Outro fator observado foi a degradação dos tubos PVCs, que no primeiro protótipo os tubos não foram revertidos o que resultou na deterioração dos mesmos, ocasionando um odor bastante peculiar no ambiente.

O segundo protótipo além de ser mais caro foi revertido com um material refletivo, que ainda não sendo o ideal deixou evidente que o material de revestimento, deveria ser um material refletivo com uma dureza e resistência maior.

O resultado e discussão é apresentado no capítulo 4, evidenciando a importância do projeto PAEM, programa que possibilitou o projeto atual, com investimento para produção do protótipo já que os iniciais foram construídos a partir de resíduos de construção encontrados na universidade. Ainda no capítulo 4 é descrito e apresentado o purificador atual, mediante as modificações realizados com base nos protótipos iniciais, afim de ter um melhor desempenho e um baixo custo, estimado em R\$ 519, 00 reais.

Como já comprovado aparelhos de climatização podem potencializar a transmissão da COVID-19, desta forma, o LAE buscou alternativas de aplicação da UVGI neste sistema, com a utilização de lâmpada germicida instalada no aparelho de ar condicionado, porém, o custo desta aplicação seria maior, como a lâmpada com esta tecnologia é cara, e um dos objetivos é desenvolver um sistema e baixo custo, além do mais, a lâmpada germicida danificaria os materiais dentro do ar-condicionado devido a radiação. Outro problema na instalação da lâmpada seria a existência de problemas de manutenção nos ar-condicionado como a falta de vedação, troca de filtros ou limpeza deste, que são recomendados a serem feitas a cada 60 dias e entre outras manutenções básicas, desta forma, não seria de grande eficiência colocar a lâmpada germicida dentro dos aparelhos.

Atualmente o purificador de ar é produzido no laboratório de aplicações em engenharia, em processo de produção e distribuição. Os purificadores já foram distribuídos na UFOPA, dentro dos Institutos, biblioteca e outros campis como Alenquer e Itaituba, foram produzidos mais de 80 purificadores e ainda estão sendo produzidos com mais pedidos dentro dos institutos da UFOPA e em outros campis.

Passado o estado de emergência da pandemia, o purificador pode ser utilizado para prédios doentes, que são ambientes com mofo (fungos), que aparecem em ambientes fechados com umidade, já que esta favorece seu crescimento, os fungos podem prejudicar à saúde, causando doenças respiratórias e alergias. Portanto, o purificador de ar agirá mantendo o ambiente limpo enquanto este não estiver sendo utilizado.

5.1 Trabalhos Futuros

Para trabalhos futuros, busca-se a automação do sistema, para facilitar o manuseio do dispositivo, torna-lo mais eficiente. Como por exemplo, a programação dos horários para ligar e desligar, já que existe um tempo de exposição, com base também nas pessoas que estão no ambiente ou no tamanho deste, havendo inclusive a possibilidade de controlar o dispositivo remotamente, ou seja, ligando ou desligando este por meio de um controle

remoto. Tudo isto para que o purificador atue com maior segurança e para facilidade em futuras manutenções, garantindo uma vida útil e mais duradoura dos purificadores de ar.

E ainda para perspectivas futuras refazer os testes biológicos, utilizando mais micro-organismos a amostras e assim realizando testes mais específicos e com uma diversidade maior de micro-organismos, diferentes dos que foram utilizados no presente trabalho.

Ainda para trabalhos futuros, pode-se realizar simulação numérica para fins de melhorias da estrutura do purificador e também correlacionar o uso do purificador aos casos de COVID-19 e doenças respiratórias na universidade.

REFERÊNCIAS

AWWA. **Water Quality and Treatment**. The American Water Works Association I, editor. New York: McGraw-Hill, 1971.

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

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

Coronavírus: pesquisadores criam equipamento para limpar ar contaminado. **Veja**, 2020. Disponível em: < <https://veja.abril.com.br/ciencia/coronavirus-pesquisadores-criam-equipamento-para-limpar-ar-contaminado/>>. Acesso em: 4 mar. 2022.

HOCKBERGER. P. E. **A history of ultraviolet photobiology for humans, animals, and microorganisms**. Photochem Photobiol 76(6):561–579, 2002.

Hospital do Governo Federal na Paraíba disponibiliza protótipo de purificador de ar que elimina 99,9% do coronavírus. **Gov.br**, 2021. Disponível em: <<https://www.gov.br/ebserh/pt-br/comunicacao/noticias/hospital-do-governo-federal-na-paraiba-disponibiliza-prototipo-de-purificador-de-ar-que-elimina-99-9-do-coronavirus>>. Acesso em: 3 mar. 2022.

Intechno, 2019. Disponível em: <<https://www.intechno.com.br/produtos/detalhe/esterilizador-de-ar>>. Acesso em: 3 mar. 2022.

Isaac Newton | As partículas de luz. **Pesquisa Escolar**, 2018. Disponível em: <Isaac Newton | As partículas de luz - Resumo sobre o estudo (pesquisaescolar.site)>. Acesso em: 18 mai. 2022.

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

MARTIN, S. *et al.* **Ultraviolet germicidal irradiation: current best practices**. ASHRAE J August: 28–36, 2008.

MEIRA, Silvia Miranda et al. A climatização de museus em tempos de COVID-19: recomendações. Revista CPC, v.16, n. 32, p. 268-291, 2021. Disponível em: <<https://www.revistas.usp.br/cpc/article/view/172930/179467> 12/04>. Acesso em: 12 abr. 2022.

O único do Brasil que elimina até 99% de bactérias, vírus e fungos no ar. **Sterilair**, 2020. Disponível em: <<https://www.sterilair.com.br/produto/purificador-de-ar-esterilizador-branco>>. Acesso em: 3 mar. 2022.

Pesquisadores da USP São Carlos desenvolvem sistema de desinfecção de ambientes fechados. **JORNAL DA USP**, 2020. Disponível em:

<<https://jornal.usp.br/ciencias/pesquisadores-da-usp-sao-carlos-desenvolvem-sistema-de-desinfecao-de-ambientes-fechados/>>. Acesso em: 4 mar. 2022.

PHILIPS. **Perfection preserved by the purest of light**. 2004. Disponível em: <www.uvdisinfection.philips.com/gl_en/global_sites/application/water_purification/pdfs/uvp_application_brochure.pdf>. Acesso em: 5 mar. 2022.

Presença comprovada do coronavírus no ar reforça necessidade da boa ventilação de ambientes. **JORNAL DA USP**, 2020. Disponível em: <<https://jornal.usp.br/ciencias/presenca-do-coronavirus-no-ar-reforca-necessidade-da-boaventilacao-de-ambientes/#:~:text=%E2%80%9CA%20equipe%20de%20pesquisadores%20capturou,contamina%C3%A7%C3%A3o%E2%80%9D%2C%20explica%20o%20engenheiro.>>. Acesso em: 11 abr. 2022.

Purificador de ar brasileiro elimina o coronavírus em até 3 horas. **Exame**, 2020. Disponível em: <<https://exame.com/pme/purificador-de-ar-brasileiro-elimina-o-coronavirus-em-ate-3-horas/>>. Acesso em: 4 mar. 2022.

Samsung, 2018. Disponível em: <<https://www.continentalcenter.com.br/purificador-de-ar-samsung-virus-doctor-branco>>. Acesso em: 3 mar. 2022.

Sistema de descontaminação do ar desenvolvido pelo IFSC/USP. **Instituto de Física de São Carlos**, 2020. Disponível em: <Sistema de descontaminação do ar desenvolvido pelo IFSC/USP - Portal IFSC>. Acesso em: 5 abr. 2022.

Soluções Germicidas (COVID-19). **Dynasys**, 2020. Disponível em: <UVC – COVID19 UVC (dynasys.pt)>. Acesso em: 20 mai. 2022.

Ufopa desenvolve sistema de desinfecção de ar de baixo custo e distribui para os campi. **G1**, 2021. Disponível em: <<https://g1.globo.com/pa/santarem-regiao/noticia/2021/05/06/ufopa-desenvolve-sistema-de-desinfecao-de-ar-de-baixo-custo-e-distribui-para-os-campi.ghtml>>. Acesso em: 21 mar. 2022.

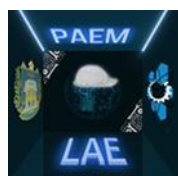
USP desenvolve rodo capaz de matar bactérias e até o vírus da Covid-19. **R7**, 2020. Disponível em: <USP desenvolve rodo capaz de matar bactérias e até o vírus da Covid-19 - Saúde - R7 Coronavírus>. Acesso em: 30 mai. 2022.

Vazão mássica e vazão volumétrica. **Automação**, 2018. Disponível em: <<https://automacaoecartoons.com/2018/09/16/vazao-massica-vazao-volumetrica/>>. Acesso em: 6 mar. 2022.



UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ – UFOPA
INSTITUTO DE ENGENHARIA E GEOCIÊNCIAS – IEG

MANUAL DE INSTRUÇÕES: SISTEMA DE DESINFECÇÃO DE AR





AVISO

Antes da realização de qualquer procedimento, por favor, leia cuidadosamente este manual do usuário. Ele traz as instruções de instalação, de operação e de manutenção, portanto, certifique-se que todas elas sejam atendidas para que seu equipamento funcione corretamente e com segurança.



PERIGO: A exposição à radiação ultravioleta **UV-C** pode causar lesões nos olhos e na pele. Para sua segurança, evite o contato direto e nunca olhe diretamente para a lâmpada germicida **UV-C** enquanto estiver acesa.

CONTEÚDO

DESCRIÇÃO:	1
INFORMAÇÕES GERAIS	2
Componentes	2
INSTRUÇÕES DE INSTALAÇÃO:	3
INSTRUÇÕES DE USO:	3
INSTRUÇÕES DE MANUTENÇÃO:	4
Troca dos fusíveis	4
Limpeza externa	5
Limpeza interna	5
Substituição de lâmpadas	6

DESCRIÇÃO:

O sistema de desinfecção de ar é um equipamento que promove a descontaminação do ar ambiental através da ação germicida da radiação ultravioleta que é gerada pelas lâmpadas UV-C, sendo uma importante ferramenta contra a propagação de microrganismos como vírus, bactérias e fungos, pois a luz ultravioleta de onda curta (UV-C) é capaz de inativar esses patógenos por meio de alterações significativas em seus ácidos nucleicos, limitando sua capacidade de crescer e se multiplicar e, conseqüentemente, reduzindo o contágio de doenças transmitidas pelo ar.

O sistema pode ser aplicado em diversos tipos de ambientes fechados com fluxo de pessoas como escritórios, consultórios, laboratórios, hotéis, fábricas, shoppings, lojas, restaurantes, salas de aula, residências, etc., com toda a segurança necessária. Por esse motivo, atende às características de ser portátil, favorecendo o transporte para diferentes locais confinados, e de fácil instalação e manuseio.

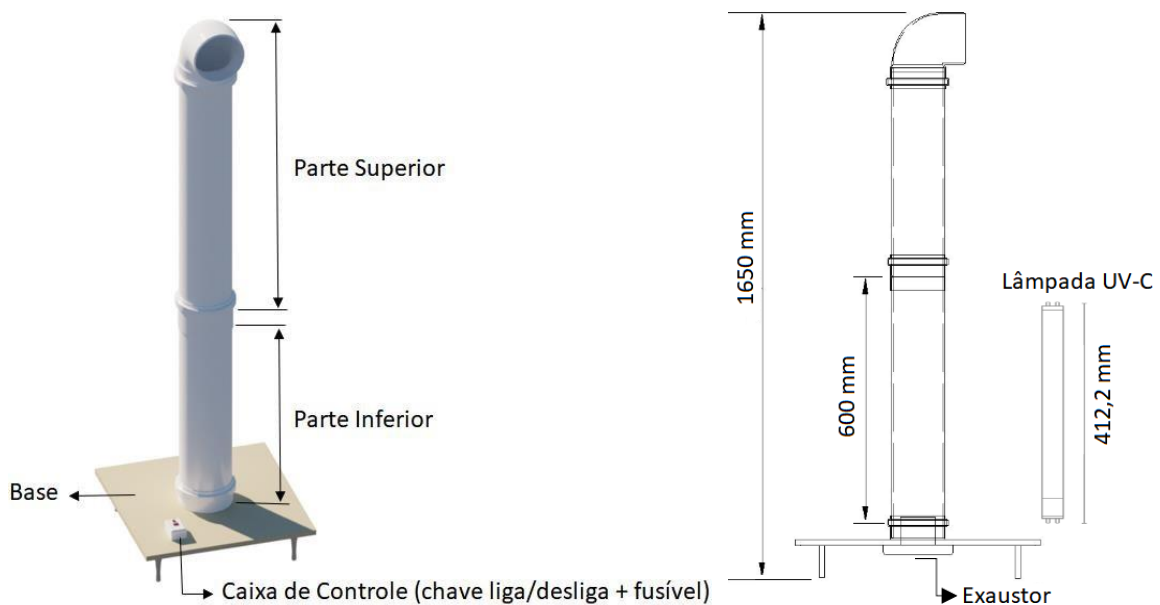
Ele trabalha com uma circulação forçada do ar, com entrada na parte inferior, que arrasta as partículas em suspensão para o interior do equipamento, que é revestido por uma superfície refletiva para manter a irradiância efetiva e onde a lâmpada germicida está instalada, dessa forma, o ar é descontaminado pelo contato com a luz UV-C e retorna ao ambiente pela saída superior, propiciando maior salubridade aos indivíduos presentes.

Portanto, o aparelho garante uma considerável limpeza do ar e proporciona a convivência e atuação de pessoas em ambientes fechados com uma segurança maior. Mas é importante salientar que o aparelho, obviamente, não reduz a contaminação de superfícies e, por isso, as medidas de proteção como higienização das mãos, proteção faciais e distanciamento social continuam sendo importantes.

INFORMAÇÕES GERAIS:

Especificações Técnicas	
Equipamento	Sistema de Desinfecção de ar
Alimentação	127 V~/60 Hz
Potência total	50 W
Dimensões	Altura – 1650 mm Diâmetro – 150 mm
Estrutura	Tubo PVC
Base	MDF (500 x 500 x 1,5 mm)
Cor	Branco
Área de atuação	62 m ²
Vazão de ar	73 m ³ /h
Potência do exaustor	10 W
Dimensão do exaustor	Diâmetro – 100 mm
Fusível	1,25 A
Material Refletor	Alumínio
Fonte de Luz	Lâmpada UV-C TUV T5 G5 (PHILIPS)
Potência da lâmpada	20 W
Tempo de vida útil da lâmpada	11000 h
Dimensões da lâmpada	Comprimento – 412,2 mm Diâmetro – 16 mm

Componentes:



INSTRUÇÕES DE INSTALAÇÃO:

1. Desembale o equipamento com cuidado e verifique as partes acompanhantes (veja item **componentes**);
2. Recomenda-se que o equipamento seja instalado em locais com até 62 m². Acima disso serão necessários mais de um equipamento;
3. Posicione o equipamento para que a circulação de ar seja a mais eficiente possível e para que não ocorra a obstrução da entrada e saída de ar localizadas, respectivamente, abaixo da base e na parte superior;
4. Para a instalação basta acoplar a parte superior do equipamento em sua parte inferior;
5. Instalar o equipamento próximo à uma tomada exclusiva 127 V (Recomenda-se que o equipamento seja instalado em ambientes cuja instalação elétrica esteja de acordo com a *NBR5410* para evitar riscos de segurança).

INSTRUÇÕES DE USO:

1. Após a correta instalação do equipamento, conectar o cabo de alimentação na tomada de 127 V;
2. Acionar a chave liga/desliga na caixa de controle, localizada na base do equipamento. O sistema de ventilação e a lâmpada germicida serão ativados;
3. O sistema permanecerá ligado até a chave ser desligada;
4. O equipamento deve ficar ligado o maior tempo possível, isto o tornará mais eficiente. Porém, para garantir um maior tempo de vida útil da lâmpada, evite o funcionamento do sistema por mais de 24 horas seguidas.

ATENÇÃO:

- Caso ocorra interrupção de energia elétrica durante o procedimento, desligar o equipamento e aguardar o retorno de energia para religar e continuar o processo;
- O equipamento não deve ser operado por crianças ou pessoas sem o devido conhecimento das instruções contidas neste manual e dos riscos da exposição acidental à radiação UV-C;

- Evite que animais de estimação ou outros tipos de animais possam ficar expostos a pequena quantidade de radiação UV-C que sai abaixo da base e na parte superior do equipamento, pois pode causar danos irreversíveis à pele e olhos destes animais;
- Não utilizar o equipamento se o cabo de alimentação estiver com isolamento danificado;
- Manusear o equipamento com cuidado, pois as lâmpadas são frágeis e o acúmulo de impactos pode danificá-las.

INSTRUÇÕES DE MANUTENÇÃO:

A manutenção do sistema, consiste na troca dos fusíveis, limpeza do equipamento e substituição das lâmpadas. Sendo que estas devem ser feitas por pessoal habilitado. Siga as instruções de segurança, instalação, operação e de manutenção, para que seu equipamento funcione adequadamente e você não corra riscos.

Troca dos fusíveis:

Um pequeno circuito elétrico, com fios de ligação, reator para a lâmpada e fusível de proteção, foi implementado ao sistema para a preservação dos equipamentos. Se o sistema sofrer alguma sobrecarga indevida de corrente ou tensão, o fusível entra em ação como uma proteção elétrica.

1. Verifique se o sistema está ligado corretamente na tomada e se ela está energizada;
2. Caso estejam e os equipamentos não foram acionados, o problema pode ser o fusível que queimou. Desligue o sistema e retire o fusível que está acoplado na caixa de controle (localizada na base do sistema) e substitua pelo fusível reserva incluído juntamente com o sistema. Se for necessária outra troca, utilize um novo fusível com as mesmas especificações técnicas;
3. Ligue novamente o sistema, ele deverá estar em pleno funcionamento, caso contrário, o problema pode ser outro.

Limpeza externa:

Para limpeza superficial do sistema, pode-se utilizar um tecido macio. Não utilize detergentes agressivos, solvente ou borrifos de água, etc., pois há riscos de incêndio, de choque elétrico ou danos das partes do equipamento.

Limpeza interna:

Para limpeza interna, recomenda-se realizar uma inspeção semestral (ou quando necessário, dependendo das condições do ambiente instalado) do equipamento para retirada de pó e resíduos acumulados nas lâmpadas que reduzem a eficiência do processo de desinfecção:

1. Retire a parte superior do equipamento, em seguida, retire a parte inferior da base e desconecte os fios de ligação da lâmpada utilizando uma chave de fenda para recolher os parafusos;
2. Com o sistema desmontado e tendo apenas a parte inferior em mãos, desconecte os soquetes da lâmpada e a remova com cuidado do seu respectivo suporte;
3. Limpar o pó e resíduos na superfície das lâmpadas e do material refletor delicadamente usando somente um pequeno espanador de pó ou tecido macio;
4. Realizar também a limpeza do exaustor acoplado na base. Já para limpar o filtro do exaustor basta utilizar uma chave Philips para remover o parafuso da respectiva tampa do dispositivo (localizada abaixo da base). O filtro é removível e deve ser limpo cuidadosamente para não danificar;
5. Após a limpeza devida, insira a lâmpada no suporte e associe aos soquetes. Para conectar os fios de ligação da parte inferior na base basta dispor os cabos com sua respectiva cor (vermelho com vermelho, azul com azul). Retorne todos os componentes do sistema para a posição inicial e certifique que as peças estão corretas;
6. Ligue novamente o sistema e verifique se os dispositivos estão funcionando. Caso não estejam, repetir mais uma vez os passos do processo de limpeza.

Substituição de lâmpadas:

Caso as lâmpadas estejam danificadas ou com tempo de vida útil esgotado (recomenda-se a substituição da lâmpada após 11000h de uso do equipamento):

1. Siga as mesmas instruções de limpeza (veja item **limpeza interna**) para desmontar o sistema;
2. Instale as novas lâmpadas no suporte e as recoloque nos soquetes. Utilize somente lâmpadas germicidas de procedência conhecida e com as mesmas especificações técnicas do produto original para garantir a eficiência e a segurança da descontaminação;
3. Retorne todos os componentes do sistema para a posição disposta inicialmente e certifique que as peças estão corretas. Ligue novamente o sistema e verifique se os dispositivos estão funcionando. Caso não estejam, repetir mais uma vez todos os passos da substituição de lâmpadas.

ATENÇÃO:

- Antes de qualquer procedimento de manutenção, desconecte o equipamento da energia elétrica para não ocorrer riscos de choque elétrico e espere a lâmpada esfriar para evitar riscos de queimaduras;
- Nunca ligue o equipamento durante a limpeza ou substituição das lâmpadas ou com a tampa de proteção aberta. Você corre o risco de receber a luz diretamente e expor os olhos ou a pele à radiação UV-C e causar danos irreversíveis;
- Após a limpeza adequada, não toque diretamente nas lâmpadas para não deixar marcas ou resíduos que comprometam a irradiação da luz UV-C;
- Não utilizar água ou qualquer tipo de líquido para limpar as lâmpadas;
- A lâmpada contém mercúrio, portanto, em caso de quebra manipule os resíduos com cuidado e não descarte em lixo doméstico para não contaminar o solo. Os resíduos da lâmpada devem ser descartados em locais de coleta seletiva que darão o destino correto para o material.



Universidade Federal do Oeste do Pará - Instituto de Engenharia e Geociências. Campus Tapajós, Rua Vera Paz, s/nº, Salé, CEP 68035-110 – Santarém – Pará.

Para assistência técnica entrar em contato com:
Prof. Dr. Manoel Maria Bezerra Neto – manoel.bezerra@ufopa.edu.br.



MINISTERIO DA EDUCACAO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ
INSTITUTO DE ENGENHARIA E GEOCIÊNCIAS



ATA Nº 40 / 2022 - IEG (11.01.09)

N.º de Protocolo: 23204.007982/2022-93

Santarém-PA, 29 de junho de 2022.

ATA DE AVALIAÇÃO DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO (TCC)

Ata da sessão de apresentação e defesa de Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) intitulado: **DESENVOLVIMENTO DE UM PURIFICADOR DE AR BASEADO NA TECNOLOGIA DE IRRADIÇÃO ULTRAVIOLETA GERMICIDA**, apresentado durante **25** (vinte e cinco) minutos pela discente **GABRIELE DOS SANTOS BEZERRA**, matrícula **N.º 2019004661**, realizada as **15 h 00 min** do dia 20 de JUNHO de 2022 (vinte de junho de dois mil e vinte dois) em formato remoto, por meio de videoconferência através do aplicativo **Google Meet** (<https://meet.google.com/ikw-ysct-rtj>). O trabalho foi desenvolvido sob a orientação do(a) **Prof(a). Dr(a). PAULA RENATHA NUNES DA SILVA** e coorientação do **Prof. Dr. MANOEL MARIA BEZERRA NETO** iniciada em 21 de março de 2022. Sendo a defesa um dos pré-requisitos para obtenção do grau de Bacharel em Ciência e Tecnologia, e se deu diante da banca examinadora aprovada pelo Programa de Ciência e Tecnologia (PC&T), do Instituto de Engenharia e Geociências (IEG) da Universidade Federal do Oeste do Pará (Ufopa), assim constituída:

Prof(a). Dr(a). PAULA RENATHA NUNES DA SILVA (Orientador(a) - Ufopa), **Prof. Dr. MANOEL MARIA BEZERRA NETO** (Coorientador - Ufopa), **Prof. Dr. NELSON DE SOUZA AMORIM** (Examinador 1 - Ufopa), e **Prof. Msc. VICENTE MOREIRA RODRIGUES** (Examinador 2 - Ufopa). Em seguida a discente foi submetida à arguição, tendo demonstrado conhecimentos no tema objeto da proposta de TCC, favorecendo à banca examinadora apresentar contribuições para melhoras no desenvolvimento da versão final da monografia e decidir pelo conceito **9,2 (nove vírgula dois)**, bem como conceder o prazo máximo de 07 (sete) dias, a contar da data desta defesa, para serem efetuadas as modificações sugeridas pela banca, se for o caso, e em seguida a mesma será assinada por todos os membros. Para constar, foram lavrados os termos da presente ata que lida e aprovada recebe a assinatura dos integrantes da banca examinadora.

12/07/2022 14:57

https://sipac.ufopa.edu.br/sipac/protocolo/documento/documento_visualizacao.jsf?dDoc=586140

(Assinado digitalmente em 20/06/2022 09:28)
MANOEL MARIA BEZERRA NETO
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
IEG (11.01.09)
Matricula: 2171623

(Assinado digitalmente em 29/06/2022 8:27)
NELSON DE SOUZA A MORIM
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
IEG (11.01.09)
Matricula: 1224810

(Assinado digitalmente em 29/06/2022 06:46)
PAULA RENATHA NUNES DA SILVA
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
IEG (11.01.09)
Matricula: 1917312

(Assinado digitalmente em 29/06/2022 08:14)
VICENTE MORAES RODRIGUES
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
IEG #J J.0J.09g
Matricula: 2384626

Para verificar a autenticidade deste documento entre em
<https://sipac.ufopa.edu.br/public/documentos/index.jsp> informando seu número: 40, ano:
2022, tipo: ATA, data de emissão: 29/06/2022 e o código de verificação: 210873c7cb