

Construção de dispositivo para Irradiação Ultravioleta UV-C

Device construction for UV-C Ultraviolet Irradiation

Construcción del dispositivo para la Irradiación Ultravioleta UV-C

Recebido: 21/10/2022 | Revisado: 28/10/2022 | Aceitado: 03/11/2022 | Publicado: 08/11/2022

Guilherme Lopes Weis

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9625-8967>
Hospital Universitário de Santa Maria, Brasil
E-mail: glweis11@gmail.com

Tadeu Baumhardt

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4603-8058>
Hospital Universitário de Santa Maria, Brasil
E-mail: tadeurs@gmail.com

Herculis Rolins Torres

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6360-3667>
Hospital Universitário de Santa Maria, Brasil
E-mail: herculisrolinstorres69@gmail.com

Alexandre Vargas Schwarzbold

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5535-6288>
Universidade Federal de Santa Maria, Brasil
E-mail: alexvspoa@gmail.com

Lucio Strazzabosco Dorneles

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5833-1775>
Universidade Federal de Santa Maria, Brasil
E-mail: lucio.dorneles@ufsm.br

Resumo

Durante a pandemia de COVID-19, a redução na produção e distribuição de diversos equipamentos de proteção individual (EPI), em especial, as máscaras N95, emergiu a necessidade de desenvolver um dispositivo local para desinfecção destes EPI, utilizando-se a radiação ultravioleta C (UV-C), aumentando a segurança dos usuários em caso de reuso desses equipamentos. Para realizar essa tarefa, foi desenvolvido o sistema de irradiação UV-C e, seu projeto, distribuído para diversas instituições que manifestaram interesse. Assim, baseado nos princípios de funcionamento de um equipamento de radioterapia, o qual possui fontes de radiação, dispositivos de controles de dose acumulada, de taxa de dose, de tempo de exposição e de segurança. Em março de 2020, com o auxílio de uma equipe técnica e de pesquisa foi possível desenvolver esse dispositivo e oportunizar a desinfecção das máscaras N95 no caso de escassez, ainda, como diferencial este projeto conta com um sistema de controle de dose UV (mJ/cm²) em tempo real. No entanto, como o Hospital Universitário adquiriu EPI em quantidade suficiente para a sua demanda, a implantação deste dispositivo não fora necessária. Com o objetivo de viabilizar a construção desse dispositivo, este trabalho traz todas as informações necessárias para a sua replicação, possibilitando que o mesmo seja utilizado como ferramenta segura para aplicação de radiação ultravioleta em diversas áreas como Unidade de Tratamento Intensivo - UTI, Centro de Materiais e Esterilização – CME, etc.

Palavras-chave: Raios ultravioleta; Desinfecção; COVID-19.

Abstract

During the COVID-19 pandemic, the reduction in the production and distribution of various personal protective equipment (PPE), in particular, N95 masks, emerged the need to develop a local device for disinfection of these PPE, using ultraviolet C radiation (UV-C), increasing the safety of users in case of reuse of this equipment. To accomplish this task, the UV-C irradiation system was developed and its project distributed to several institutions that expressed interest. Thus, based on the operating principles of radiotherapy equipment, which has radiation sources, accumulated dose control devices, dose rate, exposure time and safety. In March 2020, with the help of a technical and research team, it was possible to develop this device and provide the opportunity to disinfect N95 masks in case of shortage, still, as a differential, this project has a UV dose control system (mJ/cm²) in real time. However, as the University Hospital acquired PPE in sufficient quantity for its demand, the implantation of this device was not necessary. In order to enable the construction of this device, this work brings all the information necessary for its replication, allowing it to be used as a safe tool for the application of ultraviolet radiation in several areas such as the Intensive Care Unit - ICU, Materials Sterilization Center – MSC, etc.

Keywords: Ultraviolet rays; Disinfection; COVID-19.

Resumen

Durante la pandemia de COVID-19, la reducción en la producción y distribución de diversos equipos de protección personal (EPP), en particular, máscaras N95, surgió la necesidad de desarrollar un dispositivo local para la desinfección de estos EPP, utilizando radiación ultravioleta C (UV -C), aumentando la seguridad de los usuarios en caso de reutilización de este equipo. Para cumplir con esta tarea, se desarrolló el sistema de irradiación UV-C y se distribuyó su proyecto a varias instituciones que expresaron interés. Así, en base a los principios de funcionamiento de los equipos de radioterapia, que cuenta con fuentes de radiación, dispositivos de control de dosis acumulada, tasa de dosis, tiempo de exposición y seguridad. En marzo de 2020, con la ayuda de un equipo técnico y de investigación, se logró desarrollar este dispositivo y brindar la oportunidad de desinfectar mascarillas N95 en caso de escasez, aún así, como diferencial, este proyecto cuenta con un sistema de control de dosis UV (mJ /cm²) en tiempo real. Sin embargo, como el Hospital Universitario adquirió EPI en cantidad suficiente para su demanda, no fue necesaria la implantación de este dispositivo. Con el fin de viabilizar la construcción de este dispositivo, este trabajo trae toda la información necesaria para su replicación, permitiendo que sea utilizado como una herramienta segura para la aplicación de radiación ultravioleta en varias áreas como la Unidad de Cuidados Intensivos - UCI, Centro de Materiales y Esterilización – CME, etc.

Palabras clave: Rayos ultravioleta; Desinfección; COVID-19.

1. Introdução

O SARS-CoV2 é o vírus que causa a doença denominada COVID-19, esta doença alterou a rotina da maioria das pessoas do planeta. Sua origem, segundo Martin et al. (2020), ocorreu em 31 de dezembro de 2019, após o Governo da China comunicar a Organização Mundial da Saúde (OMS) sobre casos de pneumonia de etiologia desconhecida na cidade de Wuhan, já no Brasil, segundo o mesmo autor, o primeiro caso da doença foi confirmado no dia 26 de fevereiro e a primeira morte ocorreu no dia 16 de março de 2020.

A primeira medida local foi a organização de uma estrutura adequada para receber os pacientes acometidos pela COVID-19, neste momento também foram definidos os equipamentos necessários para a proteção dos profissionais da saúde, que estariam atuando na linha de frente. Ao fazer esse dimensionamento e determinar os equipamentos de proteção individual necessários a esses cuidados, a administração local se deparou com a possibilidade de desabastecimento mundial desses itens, que segundo a Organização das Nações Unidas ONU (2020), a mais urgente ameaça global é a falta de equipamentos de proteção individual.

A possibilidade de falta de equipamentos de proteção individual (EPI), indispensáveis ao cuidado, motivou a mobilização da equipe para o desenvolvimento de um sistema de irradiação, utilizando luz ultravioleta do tipo C (UV-C), conforme reportagem divulgada em abril de 2020. O Hospital Universitário desenvolveu o projeto para reesterilização de máscaras N95 (Fernandes, 2020), sistema que foi amplamente ofertado a todas as instituições que demonstraram interesse. Segundo o Prof. Alexandre Schwarzbold, o projeto se insere na preocupação geral dos gestores públicos, em especial os do setor de saúde, com o preparo do sistema sanitário para atender os casos críticos mantendo a segurança dos profissionais (Fernandes, 2020).

A luz UV-C é definida como uma luz de onda curta, com ação germicida (Galasso et al., 2019) e é largamente utilizada, pois é capaz de causar danos em microorganismos como bactérias e vírus (Aguiar, 2000), considerada nos estudos cinéticos da desinfecção UV a intensidade média da radiação germicida a 254 nm.

O presente estudo foi motivado pela publicação do documento N95 Filtering Facemask Respirator Ultraviolet Germicidal Irradiation (UVGI) Process for Decontamination and Reuse, que apresenta uma metodologia de um processo de desinfecção de máscaras N95 através de irradiação UV-C (Lowe et al., 2020).

No período entre o desenvolvimento do sistema e a iniciativa dessa publicação, outros sistemas foram desenvolvidos e artigos foram publicados, por exemplo por Souza et al., (2020), entretanto, não se observou nos sistemas desenvolvidos, um controle de dose UV em tempo real, e sim, tempos de exposições baseados nos valores nominais das lâmpadas germicidas, ou quando utilizado, um sistema de dosimetria na determinação da irradiância das lâmpadas na montagem do sistema, sendo que em ambos não se resolve o problema da variação da irradiância com o uso das lâmpadas (envelhecimento, tempo de aquecimento,

etc), ou variações de irradiância entre lâmpadas ou mesmo a qualquer outro tipo de interferência que cause variação de irradiância durante a exposição.

O objetivo desse trabalho é apresentar um modelo de baixo custo e de fácil transporte de um sistema irradiação UV-C que controla em tempo real a dose UV (mJ/cm^2), medida através de sensores UV-C, obtida pela integração no tempo da irradiância (mW/cm^2) emitida pelas lâmpadas germicidas. De acordo com Mills et al. (2018) a Equação 1, descrita abaixo, apresenta as variáveis que são consideradas para calcular a dose UV.

Equação 1 - Determina as variáveis que compõe a dose UV.

$$\text{Dose UV } \left(\frac{\text{J}}{\text{cm}^2} \right) = \text{Irradiância } \left(\frac{\text{W}}{\text{cm}^2} \right) \cdot \text{Tempo}(s)$$

Para ter efeito germicida através da irradiação UV-C, é necessário entregar uma determinada dose UV (mJ/cm^2), na superfície da estrutura de forma que os microrganismos expostos recebam essa determinada energia e, com isso, sejam inativados através do efeito deletério dessa radiação. No artigo de Ozog et al. (2020), foram apresentados resultados de testes de integridade das máscaras a partir de diversas doses de radiação UV.

Na maioria dos projetos, a dose entregue é definida a partir da potência nominal da lâmpada, da distância e do tempo de exposição, e esses fatores nesses casos foram considerados invariáveis, nem sempre sendo essa uma suposição correta, principalmente com o uso de diferentes lâmpadas (marcas e modelos) e seu envelhecimento. Por exemplo, no estudo de Alves et al. (2021) utilizou-se lâmpada germicida (luz UV-C) de 20 Watts, a uma distância de 10 cm, e tempos de exposições de 15, 30 e 45 min, no caso desse estudo o objetivo em relação a irradiação UV-C foi analisar a eficácia da descontaminação, o que apresentou resultados positivos. Outro estudo, realizado por Lombello et al. (2021) utilizou quatro lâmpadas de 15 W, sendo realizada a caracterização da irradiância dessas lâmpadas e, inserido, um sistema temporizador que controla o tempo de exposição UV, sendo seus resultados positivos quanto a capacidade de inativação SARS-CoV-2. Outro estudo de eficiência biológica utilizando luz UV, foi realizado por Barbosa et al. (2021), utilizando cabines de segurança biológica, com lâmpada de 30W, com tempos de exposição de 5, 10, 15 e 20 min, resultando em eficácia de ação germicida para a exposição a partir de 15 min. Outro estudo, realizado por Longhini et al. (2022), apresentou três protótipos, duas capelas de descontaminação e um rodo de descontaminação, nesse trabalho foram feitas as medidas iniciais de irradiância e instalado um sistema de seletor de tempo, que varia de 5 a 60 min, o trabalho também apresentou resultados positivos quanto a capacidade de inativar o coronavírus.

Assim, pode-se observar que nos trabalhos acima citados, o tempo de irradiação é bastante variado, e talvez extrapolem a real necessidade de irradiação, buscando garantir a eficácia da desinfecção através de uma margem de segurança, o que consequentemente implica em perda de tempo e principalmente risco de ineficácia de desinfecção com o passar do tempo pelo desgaste da lâmpada ou uso de marcas e modelos diferentes de lâmpadas.

Com o objetivo de solucionar a questão do tempo, foram utilizados sensores calibrados dentro da caixa, visando monitorar a fluência (mW/cm^2) e o tempo de irradiação, que juntos integram o valor de dose UV, podendo ser ajustado conforme o protocolo a ser utilizado. Tal monitoramento ocorre em tempo real e o sistema é desligado quando atingir a dose UV selecionada.

2. Metodologia

Trata-se de uma pesquisa de natureza aplicada, que busca a produção de conhecimento com aplicação prática para resolução de problemas ou situações reais e específicas (Martins, 2017), o material que será apresentado foi desenvolvido na Universidade Federal de Santa Maria.

Nesse trabalho, serão apresentadas as etapas de montagem, partes e peças, valores investidos, programação principal (o

código completo poderá ser adquirido através do e-mail dos autores) e principalmente apresentar o seu diferencial que foi o desenvolvimento utilizando Arduino, na montagem, calibração dos sensores de dose UV, tornando o sistema mais seguro e eficiente na entrega das doses necessária a desinfecção.

Construção do Dispositivo de Irradiação UV-C

A caixa foi construída em MDF, recoberta com papel alumínio (amplificar a reflexão da luz UV), com 6 lâmpadas UV-C dispostas de forma a irradiar uniformemente o conteúdo do seu interior. Na sua tampa foi inserida uma janela em acrílico, que bloqueia a luz UV, mas permite a visualização das lâmpadas em seu interior, ainda, na tampa foi adicionada uma chave de segurança que impossibilita o acionamento das lâmpadas sem ela estar fechada, proporcionando assim maior segurança ao operador.

A plataforma Arduino é um ambiente integrado de desenvolvimento (IDE - Integrated Development Environment ou Ambiente de Desenvolvimento Integrado) onde são escritos os códigos, funções de controle e instruções para coletar/transmitir dados dos sensores (Coutinho Junior et al., 2021). Utilizando essa plataforma, foi implementado todo o sistema de controle dos sensores de luz UV (modificados), controles de tampa fechada, acionamento de ventoinha, etc.

Materiais e Valores

Na Tabela 1 estão apresentados os materiais, quantidades e valores referentes a montagem do sistema construído.

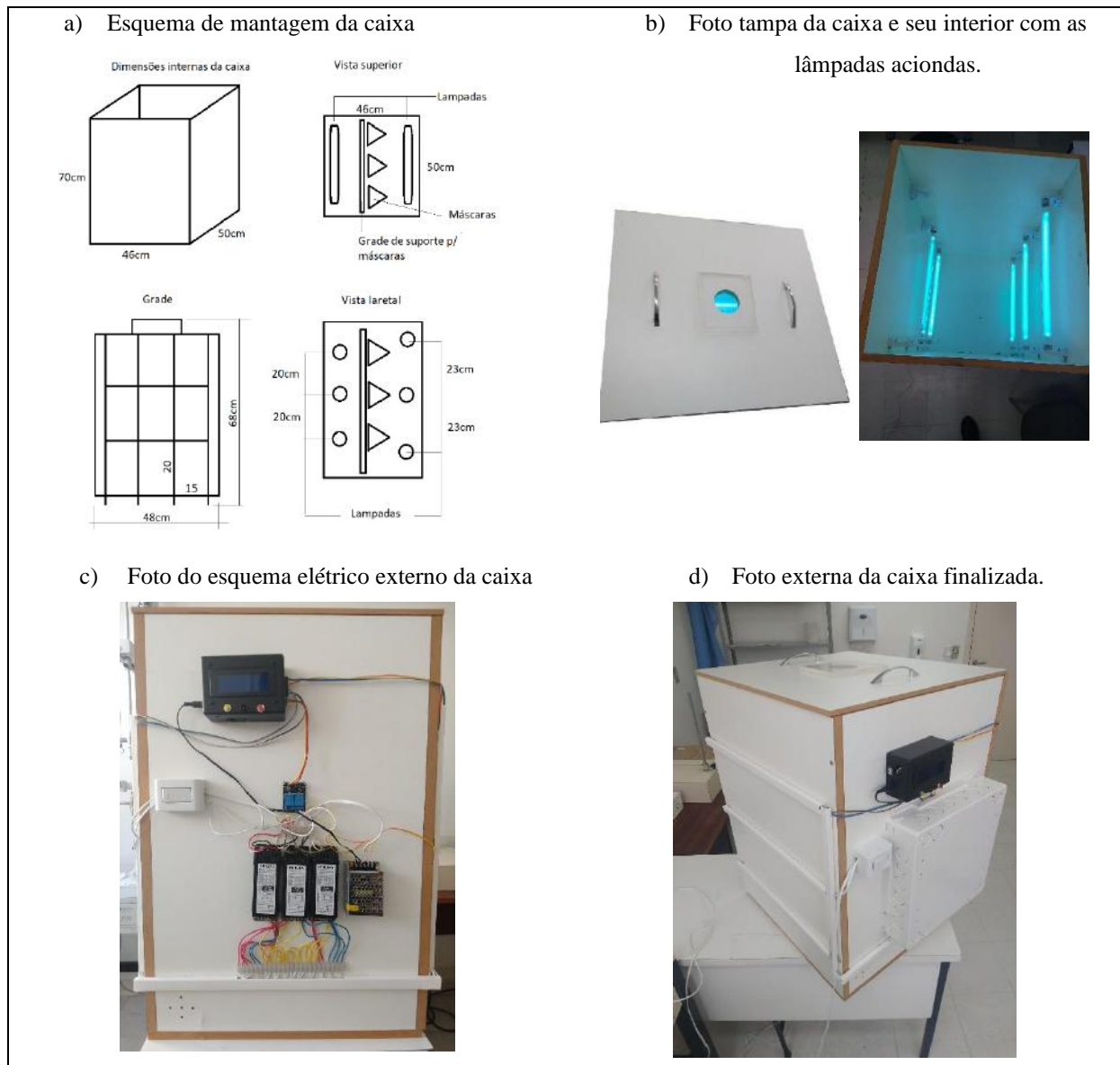
Tabela 1 - Materiais, quantidade e valores.

Materiais	Qtd	Valor Unit (R\$)	Valor Total(R\$)
CAIXA			1.067,10
2 tábuas de mdf (46x70): laterais	0,644	43,90	28,27
2 tábuas de mdf (53x70): laterais	0,77	43,90	33,80
2 tábuas de mdf (53x50): fundo e tampa	0,53	43,90	23,27
Acrílico de 8mm de espessura (15x15cm)	0,0225	470,50	10,59
Puxadores	2	3,00	6,00
Papel alumínio	2	10,00	20,00
Canaletas sistema X (Barra 2m)	2	6,90	13,80
Grade para sustentar as máscaras (fabricação própria)	1	1	0,0
Ventoinha (cooler) de computador (12V)	1	50,00	50,00
SISTEMA ELÉTRICO - 3 reatores para lâmpadas (2X15W)	3	37,00	111,00
6 lâmpadas germicidas (UV-C) de 15W (~45cm)	6	45,00	270,00
1 chave de fim de curso	1	2,00	2,00
1 tomada (liga/desliga)	1	8,00	8,00
Fios elétricos	10	2,30	22,99
Conector múltiplo (12x)	1	20,00	20,00
Caixa de passagem (35x35cm)	1	70,00	70,00
SISTEMA DE CONTROLE - Fonte de 12V	1	31,00	31,00
Caixa patola (53x85x124 – PB112)	1	23,88	23,88
Arduino UNO	1	62,90	62,90
Buzzer	1	4,90	4,90
Led vermelho	1	0,30	0,30
Botões de acionamento	2	3,90	7,80
LCD 20x4 com módulo i2C	1	54,90	54,90
Sensor Guva-S12SD	4	33,90	135,60
Módulo relé de 2 canais	1	12,90	12,90
Placa de circuito impresso 2x8cm	1	3,40	3,40
Cabo flat colorido para conexões 20 vias (2m)	2	19,90	39,80

* É necessário ter disponível um Medidor UV-C, nesse estudo foi utilizado UV Light Meter UVC-254, marca Lutron. Fonte: Autores (2022)

Na Figura 1 abaixo, apresentamos o esquema da caixa, fotos da tampa e interiores, assim como, fotos do seu exterior com apresentação do sistema elétrico e eletrônico.

Figura 1 - Esquema e fotos do sistema de irradiação.



Fonte: Autores (2022).

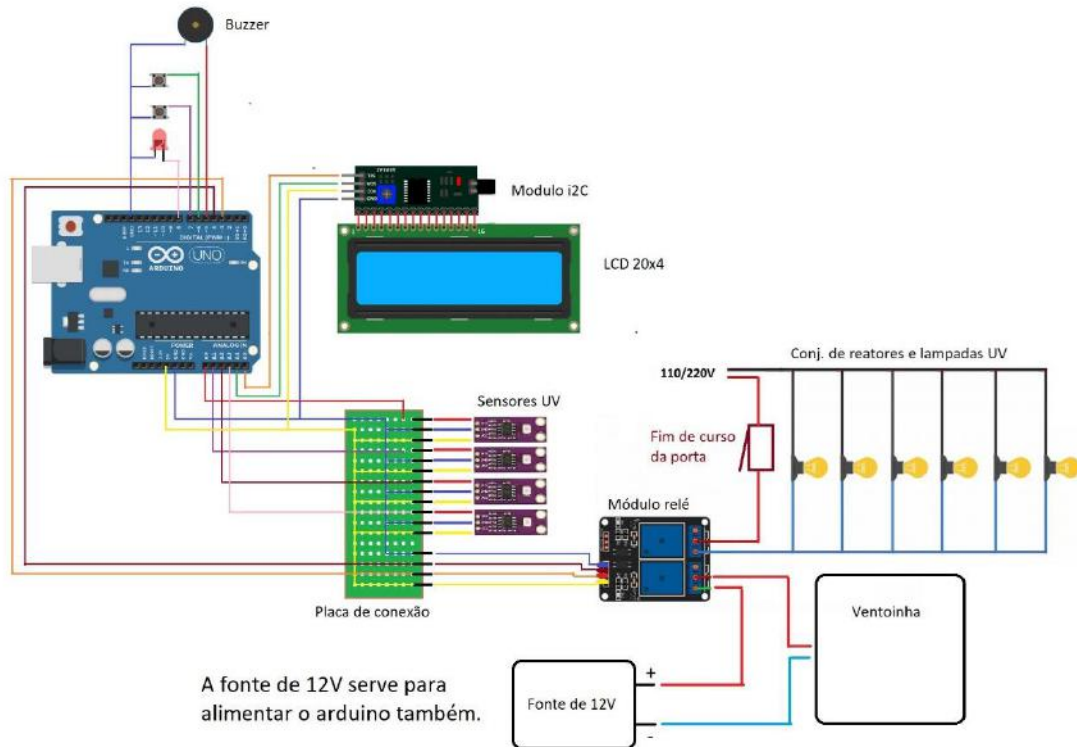
Na Figura 1 observam-se: a) as dimensões internas da caixa em centímetros (46x50x70), dimensões da grade para instalação das máscaras N95, vista superior da caixa com a posição da grade, máscaras e lâmpadas e vista lateral da caixa com a posição da grade, máscaras e lâmpadas; b) a foto da tampa com a janela de inspeção e a foto da caixa aberta com as lâmpadas acionadas; c) a foto do esquema elétrico da caixa, com o sistema de controle, circuito arduino, reatores e uma chave de segurança que corta a alimentação elétrica (220 volts); d) a foto externa da caixa finalizada, com os componentes elétricos isolados.

Sistema de controle (Arduino)

O Arduino é uma plataforma de hardware open source, de fácil utilização, ideal para a criação de dispositivos que permitam interação com o ambiente, dispositivos estes que utilizem como entrada sensores de temperatura, luz, som etc (Souza, 2011).

Na Figura 2, está apresentado todo o esquema elétrico de construção/conexão dos componentes necessários para o funcionamento do sistema de irradiação UV-C.

Figura 2 - Esquema do sistema (Arduino).



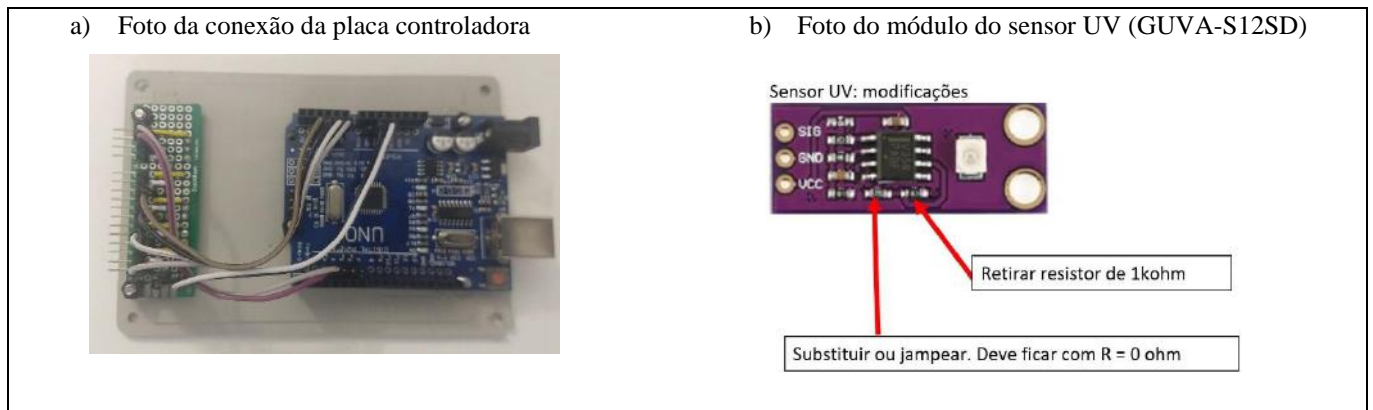
A fonte de 12V serve para alimentar o arduino também.

Fonte: Autores (2022).

Na Figura 2 estão demonstradas todas as conexões, desde a fonte de alimentação 220v, lâmpadas, módulo relé, fonte 12v, ventoinha, placa de conexão, sensores UV, módulos de controle e display.

Na Figura 3, apresentamos a foto da conexão da placa controladora (esquerda) e a foto do módulo do sensor UV (direita), sendo simples a sua instalação, já que conta com apenas 3 pinos (VCC, SIG, GND), já estando o chip GUYA-S12SD integrado a placa (Shojaei, 2019). Esses sensores UV foram instalados em quatro pontos estratégicos dentro da caixa, dois voltados para as lâmpadas da direita e dois voltados para as lâmpadas da esquerda. Assim, foi possível medir a dose UV em tempo real, garantindo que o sistema só finalizará a exposição se ela atingir o valor selecionado em todos os sensores, garantindo que a dose mínima aplicada na superfície será no mínimo a dose selecionada para toda a cobertura da área.

Figura 3 - Fotos do sistema de controle Arduino.



Fonte: Autores (2022).

Na Figura 1 observa-se: a) foto da placa controladora com a placa de conexão, na qual serão ligados os sensores UV(GUVA-S12SD); b) a foto da placa do sensor UV, com as alterações necessárias nos resistores, conforme instrução fornecida em How To: Nukemeter – Measuring UV-C Light Intensity, Hackerfarm Agriculture, Technology, Community (Shojaei, 2019).

Programação da placa controladora

A seguir são apresentados fragmentos do código de programação utilizado pelo sistema, sendo que o código completo, por ser muito grande não foi incluído na íntegra neste artigo, mas poderá ser obtido com os autores.

Parte do código contendo os parâmetros utilizados para programação que envolvem o cálculo de dose:

```
//Dose a ser obtida ao final da exposição
#define doseLimite      60    //mJ/cm^2
#define ganhoVolt       4.3   //adimensional
#define resTransImped   1000000 //ohm
#define responsividade  0.04  //A/W
#define areaSensivel    0.00076 //cm^2
#define constSensor     (ganhoVolt*resTransImped*responsividade*areaSensivel) //(V/W)*cm^2
#define fatorCalib_1    1.40  //adimensional
#define fatorCalib_2    1.30  //adimensional
#define fatorCalib_3    1.30  //adimensional
#define fatorCalib_4    1.30  //adimensional
```

Parte do código contendo a função de loop de funcionamento do sistema:

```
void loop()
{
  //Verifica o estado do botao de acionamento (vermelho)
  if (digitalRead(pinoAcciona) == LOW) {
    delay(250);
    if (pronto == true){
      parouExposicao = false;
      ligaLampadas();
    }else{
      pronto = true;
      okLCD();
    }
  }
  //Verifica o estado do botao de re-acionamento (amarelo)
  if (digitalRead(pinoOk) == LOW) {
    delay(250);
    if(parouExposicao = true){
      ligaLampadas();
    }
  }
}
```



```
}
```

Parte do código contendo a função de controle de dose UV:

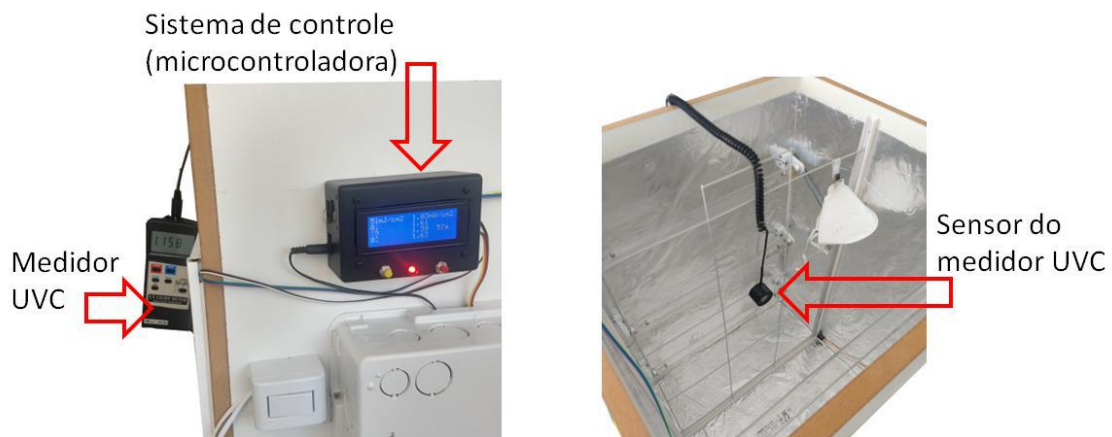
```
do{
  sensorSoma_1 = 0;
  ...
  tempoInicial = millis();
  // media das leituras realizadas durante a quantidade de ciclos definidas
  for (int i=0; i<ciclosLeitura; i++)
  {
    sensorVal_1 = analogRead(A0);
    sensorSoma_1 += sensorVal_1;
    ...
    delay(2);
  }
  //Calcula o valor medio lido pelos sensores
  sensorMedia_1 = (float)sensorSoma_1 / (float)ciclosLeitura;
  ...
  // conversão do sinal do sensor em volt (o valor medido do sinal varia de 0 a 1023 de acordo com a voltagem lida)
  sensorVolt_1 = sensorMedia_1 * (voltRef / 1024.0);
  ...
  // calcula a potencia/areaSensivel em mW/cm^2
  intensidade_1 = sensorVolt_1 * 1000.0 / (constSensor*fatorCalib_1);
  ...
  tempoFinal = millis();
  //Calcula o intervalo de tempo de exposicao
  intervalo = tempoFinal-tempoInicial;
  //Calcula a dose referente ao tempo de exposicao
  doseUV_1 += intensidade_1*(float(intervalo))/1000;
  ...
  //Calcula o tempo total de exposicao desde o inicio do processo
  tempoTotal+= float(intervalo)/1000;
  atualizaLCD();
  if (doseUV_1 > doseLimite && doseUV_2 > doseLimite && doseUV_3 > doseLimite && doseUV_4 >
doseLimite){
    doseOk = true;
  }
  if (digitalRead(pinoOk) == LOW){
    doseOk = true;
    parouExposicao = true;
  }
}while(doseOk == false);
```

3. Resultados e Discussão

Após a construção do dispositivo foram realizados testes de aferição de irradiância (mW/cm^2) no interior da caixa, e de terminado os fatores de calibração dos quatro sensores instalados dentro dela. Para realização deste teste, foi posicionado em vários pontos no seu interior o sensor de radiação UV-C (Light Meter UVC-254) e os valores por ele obtidos foram comparados com os apresentados pelo sistema montado com a placa controladora (Arduino), sendo os valores ajustados para cada um deles a partir de fatores de calibração demonstrados abaixo.

A Figura 4 apresenta fotos da posição dos sensores dentro da caixa.

Figura 4 - Calibração dos sensores.



Fonte: Autores (2022).

Na Figura 4 observa-se a esquerda, a foto do medidor UV (Light Meter UVC-254) com o sistema acionado; a direita, temos o posicionamento do sensor dentro da caixa.

Abaixo, estão apresentados os fatores de calibração para cada um dos sensores instalados.

* Fatores de calibração:

* Estes fatores de calibração devem ser obtidos individualmente para cada sensor,

* comparando o valor medido por cada sensor e o valor obtido por um medidor UV-C.

*/

```
#define fatorCalib_1 1.40 //adimensional
```

```
#define fatorCalib_2 1.30 //adimensional
```

```
#define fatorCalib_3 1.30 //adimensional
```

```
#define fatorCalib_4 1.30 //adimensional
```

Em todas as posições os testes mostraram um valor de dose lido maior do que o mínimo apresentado pelo sistema de controle garantindo que a dose mínima seja atingida mesmo que com o passar do tempo de uso as lâmpadas acabem apresentando um rendimento menor (uma taxa de dose menor).

Nesse estudo não foi realizado nenhum teste biológico, considerou-se, a partir dos diversos estudos anteriormente relatado, que a radiação UV-C é eficaz quanto a sua ação germicida, corroborado por Ueki, (2006) que conclui que a ação germicida da luz UV, utilizada na Cabine de Segurança Biológica - CSB do Setor de Micobactérias do Instituto Adolfo Lutz, sobre asmicobactérias foi efetiva mesmo quando a exposição foi no mínimo de 5 minutos. Ao encontro desse resultado, em

outras áreas de aplicação, a radiação ultravioleta pode ser uma ótima alternativa desinfetante de esgotos, porém, de fato, para melhores eficiências este deve apresentar características mínimas de qualidade, no que se refere aos parâmetros de turbidez e presença de sólidos (Souza et al, 2012).

Assim, recomenda-se que em qualquer estudo que se aplique esse dispositivo, avalie-se a eficácia de desinfecção através de teste biológico, para o caso específico que se deseja aplicar.

4. Considerações Finais

O sistema de irradiação utilizando UV-C, foi aqui apresentado para possibilitar a sua replicação, permitindo o desenvolvimento de sistemas em qualquer lugar, com o uso de poucos recursos. O fato que o inova é possuir um sistema de medição específico para UV-C, o qual foi calibrado a partir do sistema de medição UV Light Meter UVC-254, marca Lutron.

O presente trabalho, apresenta uma solução de irradiação UV-C adaptável ao protocolo de dose que o operador pretende utilizar, através da seleção de dose UV (mJ/cm²) que será integrada de acordo com a irradiância (mW/cm²) e o tempo de exposição, todos ajustados em tempo real, através dos quatro sensores instalados dentro do dispositivo.

Assim, o ponto de maior relevância é a possibilidade de adaptação desse dispositivo em diversas aplicações, controlados pela dose UV em tempo real. Tal dispositivo permitirá a diversos estudos de desinfecção de materiais utilizados em UTI, como uma possibilidade de ferramenta utilizada em técnicas de desinfecção dos materiais, que podem minimizar os riscos de contaminação (Cruz et al., 2020).

Ainda, a sua interface permite a implementação de emissão de relatório das irradiações realizadas podendo manter um registro no caso de comprovação das doses aplicadas. Outra possibilidade, é utilizar a mesma metodologia desse estudo, com luz ultravioleta tipo C, na faixa de 222 nm, de acordo com Visbal (2021) parece ser eficaz para descontaminar espaços fechados, podendo ser utilizado na presença de pessoas. Entretanto, seriam necessários mais estudos em relação a seus efeitos a longo prazo.

Referências

- Aguiar, A. (2000). *Avaliação do emprego da radiação ultravioleta na desinfecção de águas com cor e turbidez moderadas*. Escola de Engenharia da UFMG. Dissertação de Mestrado. <https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUOS-8DYF5S/1/alexmoural15.pdf>
- Alves, D. B. P., et al (2021). Efetividade dos métodos de descontaminação em máscaras de tecido com luz ultravioleta e gás ozônio. *Research, Society and Development*. 10 (15), e138101522846. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i15.22846>
- Barbosa, A. S. A. A., et al. (2021). Avaliação da ação germicida da luz ultravioleta de cabine de segurança biológica às espécies bacterianas. *Medicina(Ribeirão Preto)*. 54(1), e166597. <https://doi.org/10.11606/issn.2176-7262.rmp.2021.166597>.
- Coutinho Junior, A. L. C., et al. (2021). Uma proposta experimental de eletricidade com o uso da placa de prototipagem Arduino para o ensino de física. *Research, Society and Development*. 10 (2), e11110212302. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i2.12302>
- Cruz, M. R., et al. (2020). Fatores de risco relacionado à infecção em UTI neonatal. *Saúde & Ciência em Ação – Revista Acadêmica de Ciências da Saúde*. 6(2), 1-15. <https://revistas.unifan.edu.br/index.php/RevistaCS/article/view/803>.
- Fernandes, A. J. M. (2020). HUSM desenvolve projeto para reesterilização de máscaras N95. Website da Universidade Federal de Santa Maria. <https://www.ufsm.br/2020/04/14/husm-desenvolve-projeto-para-reesterilizacao-de-mascaras-n95>.
- Galasso, M., et al. (2019). Inactivating hepatitis C virus in donor lungs using light therapies during normothermic ex vivo lung
- Lombello, C. B., et al. (2022). Characterization of DELUX: Ultraviolet light sterilization device for PFF2 / N95 masks against COVID-19. *Ingenius – Revista de Ciência y Tecnología*. 27, 23-31. <https://doi.org/10.17163/ings.n27.2022.03>
- Longhini, T. M., et al. (2022). Protótipos com radiação UV-C para esterilização de máscaras N95/PFF2, ambientes e superfícies hospitalares. *ForScience*. 10(1), e1050. <https://doi.org/10.29069/forscience.2022v10n1.e1050>.
- Lowe, J. J., et al. (2020) N95 filtering facepiece respirator ultraviolet germicidal irradiation (UVGI) process for decontamination and reuse. University of Nebraska Medical Center. <https://www.nebraskamed.com/sites/default/files/documents/covid-19/n-95-decon-process.pdf>
- Martin, P., et al. (2020) História e Epidemiologia da COVID-19. *ULAKES Journal of Medicine*. 1 (Edição Especial Covid-19), 11-22. <https://revistas.unilago.edu.br/index.php/ulakes/article/view/253/232>.

- Martins, J. (2017). *Metodologia da Pesquisa Científica*. Dowbis. https://www.academia.edu/37444609/Metodologia_da_Pesquisa_Cient%C3%ADfica
- Mills, D., et al. (2018). Ultraviolet germicidal irradiation of influenza - contaminated N95 filtering facepiece respirators. *American Journal of Infection Control*. 46, 49-55. <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2018.02.018>
- ONU. (2020). OMS confirma mais de 500 mil casos de covid-19. ONU News. <https://news.un.org/pt/story/2020/03/1708742>.
- Ozog, D., et al. (2020) The importance of fit testing in decontamination of N95 respirators: A cautionary note. *Journal of the American Academy of Dermatology*. 83(2), 672-4. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7205728/pdf/main.pdf>
- Perfusion. *Nature Communications*. 10, 481. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-08261-z>.
- Shojaei, A. M. (2019). GUVVA-S12SD UV Detection Sensor Module Datasheet. Website da Electro peak!. <https://electropeak.com/learn/interfacing-guva-s12sd-uv-light-sensor-module-with-arduino/>.
- Souza, A., et al. (2011). A placa Arduino: uma opção de baixo custo para experiências de física assistidas pelo PC. *Revista Brasileira de Ensino de Física*. 33 (1), 1702-5. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172011000100026>.
- Souza, J. B., et al. (2012). Avaliação do emprego da radiação ultravioleta na desinfecção de esgoto sanitário. *Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas*. 3(2), 117-126. <https://doi.org/10.5433/1679-0375.2012v33n2p117>
- Souza, S. O., et al. (2020). Desenvolvimento de cabine de luz UVC para desinfecção de máscaras médicas N95. *Revista Interdisciplinary de Pesquisa e Inovação*. 7(2), 17-30. <https://seer.ufs.br/index.php/revipi/article/view/14215>
- Ueki, S. Y. M., et al. (2006). Cabine de segurança biológica: efeito da luz ultravioleta nas micobactérias. *Revista Instituto Adolfo Lutz*. 65(3), 222 – 224. <https://periodicos.saude.sp.gov.br/RIAL/article/view/32870/31701>
- Visbal, J. H. W., et al. (2011). Luz ultravioleta C: una alternativa contra la pandemia. *Boletín de Malariología y Salud Ambiental*. LXI (1), 3-13. <https://doi.org/10.52808/bmsa.7e5.611.002>.