

CENTRO UNIVERSITÁRIO FEI
ALAN CONCEIÇÃO DA SILVA
EVERTON MATHEUS DA SILVA
FELIPE BORBA SANTIAGO
GABRIEL PRADO DE LIMA
RENAN SILVA STANIC MILAT

TRABALHO FINAL DE CURSO: Esterilização por luz ultravioleta C (UV-C)

São Bernardo do Campo

2021

ALAN CONCEIÇÃO DA SILVA
EVERTON MATHEUS DA SILVA
FELIPE BORBA SANTIAGO
GABRIEL PRADO DE LIMA
RENAN SILVA STANIC MILAT

TRABALHO FINAL DE CURSO: Esterilização por UV-C

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro Universitário FEI, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica. Orientado pelo Prof. Marcelo Gonzaga de Oliveira Parada.

São Bernardo do Campo

2021

Esterilização por luz ultravioleta C (UV-C) / Renan Silva Stanic
Milat...[et al.]. São Bernardo do Campo, 2021.
104 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso - Centro Universitário FEI.
Orientador: Prof. Dr. Marcelo Gonzaga de Oliveira Parada.

1. Esterilização. 2. Ultravioleta. 3. UV-C. 4. COVID-19. 5. Esteira. I.
Silva Stanic Milat, Renan. II. Conceição da Silva, Alan. III. Matheus da
Silva, Everton. IV. Borba Santiago, Felipe. V. Prado de Lima, Gabriel.
VI. Silva Stanic Milat, Renan. VII. Gonzaga de Oliveira Parada, Marcelo,
orient. VIII. Título.

ALAN CONCEIÇÃO DA SILVA
EVERTON MATHEUS DA SILVA
FELIPE BORBA SANTIAGO
GABRIEL PRADO DE LIMA
RENAN SILVA STANIC MILAT

SISTEMA DE ESTERILIZAÇÃO POR RADIAÇÃO UV-C

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado
ao Centro Universitário FEI, como parte dos
requisitos necessários para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Comissão julgadora

Orientador e presidente

Examinador (1)

Examinador (2)

São Bernardo do Campo

Data de aprovação

Dedicamos esse trabalho à todas as pessoas que sempre nos apoiaram desde o início do curso de engenharia elétrica e para todos os docentes da instituição que nos ajudaram a chegar até aqui.

AGRADECIMENTOS

Para nós, nada mais justo do que agradecer à todos os docentes e profissionais do ramo educacional que passaram por nossas vidas gerando conhecimento, experiências particulares, contestações sobre diversos temas, valores e acima de tudo isso a responsabilidade de continuar seguindo em frente como engenheiros.

Em especial, agradecemos ao docente Marcelo Gonzaga de Oliveira Parada por ter tido a disponibilidade de ser nosso orientador e nos ajudado à moldar toda a ideia sempre da melhor maneira possível.

“Eu não creio que exista algo mais emocionante para o coração humano do que a emoção sentida pelo inventor quando ele vê alguma criação da mente se tornando algo de sucesso. Essas emoções fazem o homem esquecer comida, sono, amigos, amor, tudo.”

Nikola Tesla

RESUMO

Atualmente o uso de radiação ultravioleta C para esterilização de ambientes vem sendo muito utilizado por conta da pandemia da doença do coronavírus de 2019 (COVID-19), principalmente em hospitais onde se deve ter um controle de patógenos ainda maior. Essa luz é absorvida pelas moléculas que formam o ácido desoxirribonucleico (DNA) nos germes, impedindo a replicação de vírus e bactérias. Para que tudo isso seja feito de forma segura e eficaz devemos levar em consideração a dose de radiação aplicada, tempo de exposição e distância entre a fonte e o objeto ou superfície. Para lâmpadas potentes e superfícies próximas, o tempo pode ser tão curto quanto alguns segundos, mas se a lâmpada usada não é muito potente ou se a superfície está a uma distância considerável, talvez sejam necessários vários minutos ou horas de exposição. Não se restringindo apenas ao uso hospitalar, esse tipo de radiação pode ser utilizada em outros ambientes com o mesmo propósito de esterilização como por exemplo supermercados. Existem diferentes dispositivos capazes de emitir luz UV-C, desde um simples bastão portátil até uma cabine de proporções gigantescas repleta de fontes luminosas, cada um com conceitos de aplicações distintos. Seguindo essa linha de pensamento em continuar obtendo novos meios para desinfecções microbiológicas, foi simulado um protótipo de esteira esterilizadora de objetos, mais especificamente para produtos de supermercados ou distribuidoras de serviços postais com lâmpadas de 254nm de comprimento de onda, onde nosso objetivo foi que cada objeto passe de maneira individual, sem ocorrer o empilhamento de itens (comum em sistemas atuais) e garantindo que uma maior parte da superfície seja irradiada pela luz UV-C, conseqüentemente aumentando a eficácia do processo.

Palavras-chave: Esterilização. luz ultravioleta C (UV-C). COVID-19. embalagens. esteira.

ABSTRACT

Currently, the use of ultraviolet C radiation to sterilize environments is being widely used because of the COVID-19 pandemic, especially in hospitals where pathogen control must be even higher. This light is absorbed by the molecules that form the DNA in germs, preventing the replication of viruses and bacteria. For all this to be done safely and effectively we have to take into account the radiation dose applied, exposure time, and the distance between the source and the object or surface. For powerful lamps and surfaces in close proximity, the time may be as short as a few seconds, but if the used lamp is not very powerful, or if the surface is at a considerable distance, it may take several minutes or hours of exposure. Not restricted to hospital use only, this type of radiation can be used in other environments for the same sterilization purpose, e.g. supermarkets. There are different devices capable of emitting light UV-C, from a simple portable stick to a booth of gigantic proportions full of light sources, each with different application concepts. Following this line of thought in continuing to obtain new means for microbiological disinfection, we simulated a prototype of a sterilizing conveyor belt for objects, more specifically for supermarket products or postal service distributors, with 254nm wavelength lamps, where our goal was that each object pass individually, without the stacking of items (common in current systems) and ensuring that a greater part of the surface is irradiated by the UV-C light, consequently increasing the effectiveness of the process.

Keywords: Sterilization. UV-C. plastic packages. plastic packages. checkout counter belt

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	– Níveis de penetração da radiação ultravioleta (UV)	24
Figura 2	– Cabine capaz de fornecer uma radiação UV-C a 254 nm	26
Figura 3	– Comportamento de inativação do <i>Severe acute respiratory syndrome coronavirus 2</i> (SARS COV-2) promovida pela radiação UV-C a 254 nm	27
Figura 4	– Relação Geométrica da fórmula de Keitz	29
Figura 5	– Lâmpada Germicida UV-C - TUV 180W XPT SE UNP/20	32
Figura 6	– Reator TUV 180W XPT	32
Figura 7	– Motopolia	33
Figura 8	– Porcentagem de pessoas que adquirem produtos de forma mensal/semanal	34
Figura 9	– Porcentagem de pessoas que dão prioridade a esterilização de produtos comprados para uso domestico	35
Figura 10	– Preocupação dos mercados em garantir a segurança higiênica dos produtos do ponto de vista dos consumidores	36
Figura 11	– Frequência que as pessoas frequentam supermercados	36
Figura 12	– Índice manual de esterilização dos entrevistados	37
Figura 13	– Índice de aceitação sobre o sistema de esterilização proposto	38
Figura 14	– Vista superior de uma Lâmpadal	39
Figura 15	– Túnel com as lâmpadas no software Rhino	41
Figura 16	– Planos que terão sua propriedade alterada para realizar a simulação	42
Figura 17	– O Photopia® possui uma longa lista de materiais com diferentes propriedades	42
Figura 18	– Orientações das superfícies do nosso objeto de estudo	43
Figura 19	– 3 modos de disposição de lâmpadas no túnel	44
Figura 20	– Simulação de um produto ao longo do túnel	45
Figura 21	– Gráficos "Irradiação x Distância"(12, 10 e 8 Lâmpadas)	46
Figura 22	– Posicionamento das lâmpadas	48
Figura 23	– Simulação de 3 pontos da Lâmpada para média de irradiação	49
Figura 24	– Simulação de material da cortina	50
Figura 25	– Peça Horizontal	52
Figura 26	– Peça Vertical	52
Figura 27	– Peça vertical Block de Irradiação	53
Figura 28	– Peça horizontal superior Block de Irradiação	53

Figura 29 – Peça horizontal inferior Block de Irradiação	53
Figura 30 – Modelo do Túnel no CAD	54
Figura 31 – Modelo do Túnel no CAD - 3 Vistas	55
Figura 32 – Caixa de supermercado	55
Figura 33 – Medidas do caixa	56
Figura 34 – Montagem túnel com caixa de supermercado - Vista Panorâmica	56
Figura 35 – Montagem túnel com caixa de supermercado - 3 Vistas	57
Figura 36 – Totem para higienizador de mãos com pedal	58
Figura 37 – Montagem túnel com caixa de supermercado com totem	58
Figura 38 – Placa de controle	60
Figura 39 – Esquema elétrico do componente TLE 5205-2	61
Figura 40 – Datasheet do componente TLE 5205-2 (Ponte H)	61
Figura 41 – Transistor e relé controladores das lâmpadas	63
Figura 42 – Conector e potenciômetro exibidos na placa	64
Figura 43 – Conectores dos três leds utilizados.	65
Figura 44 – Sensor piezo-elétrico e interface	65
Figura 45 – Sensor fotoelétrico Metaltex PAB-5MDP	66
Figura 46 – Botão de liga e desliga	66
Figura 47 – Esquemático do display LCD	67
Figura 48 – Esquema elétrico da placa de alimentação	68
Figura 49 – Vista geral da placa de alimentação	68
Figura 50 – Vista frontal do painel elétrico	69
Figura 51 – Vista da lateral direita do painel elétrico	69
Figura 52 – Dispositivo de comando externo	71
Figura 53 – Ambiente de simulação do projeto dentro do Tinkercad®	72
Figura 54 – Fluxograma representando a parte inicial do controle, ou seja, chave geral, sensor de álcool gel e botão ON	73
Figura 55 – Bloco responsável pela automação da esterilização, onde somente se será dado como concluído se a quantidade de produtos da entrada for igual a quantidade de produtos da saída	74
Figura 56 – Parte final do processo que contará com o acionamento do sensor no totem de álcool gel da saída da esteira.	75
Figura 57 – Interrupção utilizando a chave geral.	75

Figura 58 – Exibição de uma das mensagens considerada em nossos sistema.	76
Figura 59 – Vista geral da placa de controle.	81
Figura 60 – Vista de cima da placa de controle.	81
Figura 61 – Vista de baixo da placa de controle.	82
Figura 62 – Vista geral da placa de alimentação.	85
Figura 63 – Vista de cima da placa de alimentação.	85
Figura 64 – Vista de baixo da placa de alimentação.	86
Figura 65 – Vista geral da placa LCD.	89
Figura 66 – Vista de cima da placa LCD.	89
Figura 67 – Vista de baixo da placa LCD.	90

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Resultados em termos de distância da fonte até o objeto e tempo de exposição	26
Tabela 2	– Doses letais de UV-C para SARS COV-2	27
Tabela 3	– Ficha técnica da lâmpada TUV 180W XPT SE UNP/20	31
Tabela 4	– Especificações técnicas dos reatores Phillips TUV 180W XPT lamp driver	32
Tabela 5	– Ficha técnica da motopolia INTERROLL Drum Motor 80S DC	33
Tabela 6	– Irradiação x Distância das 3 simulações	46
Tabela 7	– Simulação de 3 pontos da Lâmpada para média de irradiação	49
Tabela 8	– Especificações técnicas dos reatores Phillips TUV 180W XPT lamp driver	62
Tabela 9	– Especificações técnicas do relé G2RL-1A	62
Tabela 10	– Especificações técnicas do transistor BC547	63

LISTA DE TEOREMAS

Teorema 1	Teorema (Relação de Planck-Einstein (KLEIN, 1961))	20
Teorema 2	Teorema (Equação de Keitz - Cálculo de Potência UV (KEITZ, 1971))	29
Teorema 3	Teorema (Dosagem-Tempo (BALUJA et al., 2020))	29

LISTA DE ABREVIATURAS

COVID-19	doença do coronavírus de 2019
DNA	ácido desoxirribonucleico
HID	descarga de alta intensidade
OMS	Organização Mundial da Saúde
PPS	sulfeto de polifenileno
PTFE	politetrafluoretileno
RNA	ácido ribonucleico
SARS COV-2	<i>severe acute respiratory syndrome coronavirus 2</i>
UV	ultravioleta
UV-A	luz ultravioleta A
UV-B	luz ultravioleta B
UV-C	luz ultravioleta C
UVGI	irradiação germicida ultravioleta

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	Motivação	17
1.2	Objetivo	17
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1	Mundo Corona e Microrganismos	18
2.1.1	Efeito Compton	19
2.1.2	Efeito fotoelétrico	21
2.1.3	Produção de pares	22
2.2	Esterilização por Radiação UV-C	22
2.3	Esterilização de Embalagens	25
2.4	Tipos de Lâmpada UV-C	28
2.5	Dosagem	29
3	METODOLOGIA	30
3.1	Parte Mecânica	30
3.1.1	Esteira	30
3.1.2	Túnel	31
3.1.3	Lâmpadas	31
3.1.4	Moto-polia	33
3.2	Parte Eletrônica	33
3.3	Painel elétrico	34
3.4	Questionário de satisfação	34
4	DESENVOLVIMENTO DO PROJETO	39
4.1	Cálculo de irradiação de uma lâmpada	39
4.2	Simulações das lâmpadas UV-C	40
4.3	Montagem do túnel com caixa de supermercado	52
4.3.1	Totem de álcool em gel	58
4.4	Montagem da parte eletrônica	59
4.4.1	Placa de controle	59
4.4.2	Placa do display LCD	67
4.4.3	Placa de alimentação	67
4.5	Montagem do painel elétrico	68

4.6	Programação do sistema	71
5	CONCLUSÕES	77
.1	Esquema elétrico da placa de controle	79
.2	Layout 2D da placa de controle	80
.3	Layout 3D da placa de controle	81
.4	Esquema elétrico da placa de alimentação	83
.5	Layout 2D da placa de alimentação	84
.6	Layout 3D da placa de controle	85
.7	Esquema elétrico da placa LCD	87
.8	Layout 2D da placa LCD	88
.9	Layout 3D da placa de controle	89
.10	Fluxograma de controle	91
.11	Código de controle	92
.12	Código do Display LCD	96
.13	Painel elétrico	100
	REFERÊNCIAS	101

1 INTRODUÇÃO

1.1 Motivação

Através de cinco longos anos na faculdade, foi possível absorver um conhecimento suficiente para criar um protótipo que possa ser útil para os dias atuais. Toda ideia foi pensada para trazer uma maior segurança ao mundo que estamos vivendo com a pandemia da COVID-19 e também outras possíveis contaminações microbiológicas. Todos nós fomos afetados de alguma forma, seja na vida pessoal com algum conhecido que adquiriu a doença ou na vida profissional perdendo o emprego e oportunidades no mercado de trabalho. Isso nos fez pensar em um projeto inovador que ajudasse a população a superar toda essa fase de uma forma mais amigável e menos agressiva.

1.2 Objetivo

O nosso projeto visa a esterilização de superfícies de embalagens em ambientes que tenham uma grande chance de contágio de doenças causadas por vírus e bactérias, incluindo o SARS COV-2. Diferente de sistemas encontrados em supermercados (FUTEMA, 2020), onde o usuário introduz o carrinho completamente com todos os produtos em um espaço enclausurado e é exposto a uma radiação ultra violeta do tipo C (UV-C), nosso protótipo visa garantir a esterilização completa de todos os produtos de maneira individual (respeitando as devidas restrições). Uma vez que o modelo atual possui falhas em garantir que todos os produtos estejam expostos pela mesma quantidade de radiação por causa da sombra formada pelo empilhamento de itens, teremos então uma esteira e uma cabine que trabalharão em conjunto para garantir que uma maior quantidade de radiação UV-C chegue até o objeto a ser esterilizado.

Utilizamos uma luz ultravioleta com comprimento de onda de 254nm (valor eficaz para esse tipo de esterilização) no interior de uma câmara especialmente projetada para esta aplicação. Os objetos são depositados em cima de uma esteira transportadora que terá a velocidade ideal para que o tempo de exposição seja adequado para a esterilização. É possível a implementação desse sistema em outros ambientes além de supermercados, como por exemplo agências de correio, centros de distribuição de objetos, recebimento de produtos em hospitais, almoxarifado de empresas onde o controle de culturas é extremamente alto.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Mundo Corona e Microrganismos

Segundo o Ministério da Saúde, COVID-19 é uma doença que afeta principalmente o sistema respiratório, originária do SARS COV-2, sendo este um integrante de uma grande família de vírus comuns denominada coronavírus. As primeiras infecções ocorreram em meados de dezembro de 2019, quando um grupo de pacientes deu entrada no hospital de Wuhan na China, apresentado diagnóstico inicial de pneumonia de etiologia desconhecida. Tais pacientes estavam epidemiologicamente ligados ao mercado atacadista de animais e frutos do mar da cidade, (SAUDE, 2020).

Em 11 de março 2020, a Organização Mundial da Saúde (OMS) declarou pandemia, não pela gravidade da doença e sim à disseminação geográfica rápida (OPAS, 2020). O cenário causa emergência de saúde pública de interesse internacional, portanto o governo, as instituições públicas, os profissionais da saúde e pesquisadores de diferentes áreas movem-se contra o vírus no intuito de erradicá-lo e reduzir os efeitos negativos causados na economia e na sociedade no geral.

No que diz respeito a descontaminação e esterilização de objetos, podemos citar o método da irradiação germicida ultravioleta (UVGI). Estudos recentes apontam que o UV-C exerce a inativação do coronavírus (BEDELL; BUCHAKLIAN; PERLMAN, 2016a). De acordo com um estudo publicado no artigo (PATIENTS et al., 2020), a eficácia da descontaminação não depende apenas do método utilizado, mas também do material que está sendo esterilizado. Eles apontam também a capacidade de sobrevivência do SARS COV-2 em superfícies como um fator a ser considerado, pois o vírus permanece em boas condições em superfícies de aço inoxidável e plástico por até a 72 horas, em papelão por até 24 horas e em cobre por até 4 horas, quando não há a eliminação do mesmo, (BEDELL; BUCHAKLIAN; PERLMAN, 2016b).

No geral, todos os vírus e quase todas as bactérias são suscetíveis ao método UVGI, havendo variação do grau de vulnerabilidade a partir da espécie das variáveis. Os microrganismos de maiores dimensões, onde o esporo – estrutura protetora da bactéria que auxilia na sobrevivência dos organismos, resistindo a ataques advindos dos agentes físicos e químicos da esterilização – tende a ser maior, há uma resistência mais elevada ao método. Já com microrganismos menores, vírus e micróbios, o método se torna mais simples.

Respiradores contaminados com o vírus Influenza H1N1 sob condições substanciais de sujeira artificial apresentou redução significativa, após 60 a 70 segundos exposto a radiação UV-C de $17mW/cm^2$, resultando em uma dose de UVGI de $1J/cm^2$ mensurado a 254 nm, (MILLS et al., 2018).

Por último, porém não menos importante, deve-se considerar o impacto da radiação UV-C na saúde dos seres humanos. Como os raios de luz ultravioleta A (UV-A) e luz ultravioleta B (UV-B), o raio UV-C não é capaz de penetrar profundamente nos tecidos, portanto os efeitos adversos concentram-se às camadas mais superficiais da pele e dos olhos. A radiação é absorvida pela córnea e conjuntiva o que pode gerar doenças como foto-queratite, conjuntivite aguda e eritema.

O estudo das radiações é comumente dividido em três partes, efeito fotoelétrico, efeito Compton e produção de pares, para o melhor entendimento do tema e para a interpretação física do efeito predominante em nosso trabalho, uma breve explicação de cada efeito será apresentada nos próximos sub-capítulos, (EISBERG; RESNICK, 1979)

2.1.1 Efeito Compton

Arthur Holly Compton confirmou em 1923 a natureza corpuscular da matéria através de suas experiências direcionadas ao tema. Para a comprovação do comportamento em questão, ele incidiu um feixe de raios-X de um dado comprimento de onda sobre um alvo de grafite (EISBERG; RESNICK, 1979), nesta experiência foi analisada a intensidade de raios-X refletida em função de seu comprimento de onda e ângulo de reflexão.

A resposta obtida apresentou dois conjuntos majoritários de comprimentos de onda, um com comprimento de onda igual ao do feixe incidente λ e um com comprimento de onda mais longo, que apresentava uma variação $\Delta\lambda$, esta variação do comprimento de onda não pode ser compreendida a partir da teoria clássica visto que na teoria clássica a onda eletromagnética incidente sobre os elétrons os faz vibrar com uma frequência f , deste modo o tornando um emissor secundário de frequências de mesmo valor f , o que ocasionaria em um mesmo comprimento de onda λ .

Por este motivo, Compton concluiu que o feixe de elétrons não se comportava como uma onda de frequência f , mas como um conjunto de fótons de energia, demonstrado pelo teorema 1, e que os fótons coincidiam com os elétrons livres do alvo, cedendo parte de sua energia no momento do impacto, a energia recebida no impacto eleva o elétron impactado a um nível de

energia temporário, que após um certo tempo é deixado pelo elétron excitado através da emissão de um fóton. Como no momento do impacto os pacotes de raio-X cedem apenas parte de sua energia, o fóton emitido tem uma menor energia e conseqüentemente um menor comprimento de onda, este menor comprimento de onda encontrado, demonstra de onde vem a variação $\Delta\lambda$ observada, diferentemente do efeito fotoelétrico, no efeito Compton, os fótons de raios-X não são absorvidos, mas espalhados devido à transferência parcial de energia.

Teorema 1 – Relação de Planck-Einstein (KLEIN, 1961).

$$E = \frac{h \times c}{\lambda} \quad (1)$$

onde:

E é Energia da onda;

h é Constante de Planck;

c é Velocidade da luz no vácuo;

λ é Comprimento de onda.

Após algumas considerações Compton chegou à conclusão de que o deslocamento Compton $\Delta\lambda$ não depende do comprimento de onda do fóton incidente e sim do ângulo de colisão.

Outra característica do espalhamento Compton está relacionada à energia do elétron alvo, se o elétron estiver fracamente ligado ao átomo, o fóton espalhado tem seu comprimento de onda alterado, porém, se os elétrons alvo estiver fortemente ligado a estrutura, o fóton espalhado não tem o seu comprimento de onda alterado, visto que a energia de colisão não foi grande o suficiente para arrancar os elétrons da estrutura. Este último espalhamento é conhecido como espalhamento Thomson, devido a sua interpretação qualitativa ser semelhante a teoria clássica proposta por Thomson em 1900 sobre o espalhamento de raios-x por átomos.

No caso de situações onde o comprimento de onda do feixe incidente seja relativamente grande se comparado ao deslocamento Compton, que possui valor de $0,0243 \text{ \AA}$ (Ångströms), as teorias clássica e quântica iram entrar em conflito e o espalhamento Thomson será predominante, em contrapartida, em situações onde o comprimento de onda é relativamente pequeno e o feixe de fótons possui energias consideravelmente elevadas, os elétrons sempre serão arrancados da estrutura e deste modo o espalhamento Compton será predominante.

Existe também um meio termo, onde tanto a teoria clássica (espalhamento Thomson) quanto a teoria quântica (espalhamento Compton) apresentam comportamentos anômalos, ge-

rando uma zona cinzenta de explicações onde nenhuma das teorias conseguem prever o comportamento de forma aceitável e é neste ponto que se encontra a radiação UV.

2.1.2 Efeito fotoelétrico

Em meados de 1887 Heinrich Hertz realizou experiências que ficaram conhecidas por confirmarem a existência do que conhecemos como ondas eletromagnéticas, bem como pelo auxílio na fundamentação das teorias de propagação de Maxwell, em uma destas experiências, Hertz analisou a descarga elétrica entre dois condutores e durante este experimento ele analisou os efeitos da incidência de radiação ultravioleta sobre o sistema, nesta ocasião, foi constatado que, ao se incidir luz UV sobre o sistema, o mesmo representava uma maior facilidade no fenômeno de descarga elétrica devida à maior facilidade de os elétrons fluírem da região do catodo (EISBERG; RESNICK, 1979).

Para entendermos este fato, devemos olhar através do ponto de vista da teoria conhecida como efeito fotoelétrico. Através da teoria mencionada, os elétrons possuem maior facilidade de se mover devido à incidência de fótons de luz UV, que são responsáveis por ceder parte de sua energia, fazendo com o que os elétrons sejam conduzidos a um estado livre, onde possuem menor força de ligação com o núcleo do átomo, e deste modo, estão mais suscetíveis a força induzida pelo campo elétrico decorrente da diferença de potencial elétrico.

Anos após este fato, Einstein motivado por tais experimentos postulou a teoria quântica sobre o efeito fotoelétrico, que surgiu como uma crítica à teoria das ondas eletromagnéticas. Em sua teoria a energia não se espalhava sob a forma de ondas, mas em pacotes quantizados, que foram nomeados como fótons. Ele dizia que o comportamento, até então conhecido, das ondas eletromagnéticas, havia sido testado apenas para situações em que existia um grande número de fótons e, deste modo, este fenômeno representava a média da interação entre diversos fótons. Para ele, quando uma grande quantidade de fótons era analisada como um todo, estas partículas perdiam o caráter do comportamento quântico e se comportavam de modo que as teorias clássicas como refração e difração pudessem prever o seu comportamento de forma bastante precisa.

Nos dias de hoje, notamos que ambas as teorias estavam corretas, dependendo de seus parâmetros de ocorrência, o que deu origem à interpretação dual da matéria, que diz que em algumas circunstâncias a mesma se comporta como onda eletromagnética e em outras como partícula, tornando relevante tanto à teoria clássica, como à teoria quântica.

Após a difusão da teoria de Einstein, a interpretação do efeito fotoelétrico passou a ser utilizada em todo o espectro eletromagnético e não mais apenas no espectro visível, devido à compreensão de que nem sempre os fótons arrancariam elétrons da estrutura, mas que esta interação dependeria de sua energia, que está diretamente ligada ao seu comprimento de onda.

2.1.3 Produção de pares

Outro efeito de interação com a matéria a ser considerado é o efeito de produção de pares. O fóton com alto valor de energia colide com um núcleo cedendo sua energia por completo e conseqüentemente produzindo um par elétron/pósitron, que é ejetado do núcleo devido à energia cinética que também é cedida por parte da energia perdida pelo fóton, (EISBERG; RESNICK, 1979).

Após entendermos os três tipos de interação, é possível compreender que o efeito fotoelétrico faz referência a interações de baixa energia, o efeito Compton a interações de médias energias e a produção de pares a altas energias. É comum observar-se mais de um efeito simultaneamente em interações da radiação com a matéria, dependendo do nível de energia da interação.

2.2 Esterilização por Radiação UV-C

A esterilização consiste em uma técnica que visa a eliminação total da vida microbiana. Quando realizada através de radiação, tem como princípio o aproveitamento da energia emitida na forma de radiação eletromagnética, ou particular para uma interação destrutiva com a matéria (EISBERG; RESNICK, 1979).

Existem duas formas de esterilização por radiação:

- a) Esterilização por radiação ionizante: Onde os fótons da radiação emitida possuem energia suficiente para arrancar elétrons da estrutura da matéria esterilizada, comumente denominada esterilização por ionização
- b) Esterilização por radiação não ionizante: Onde os fótons emitidos não possuem energia suficiente para ionizar a matéria irradiada.

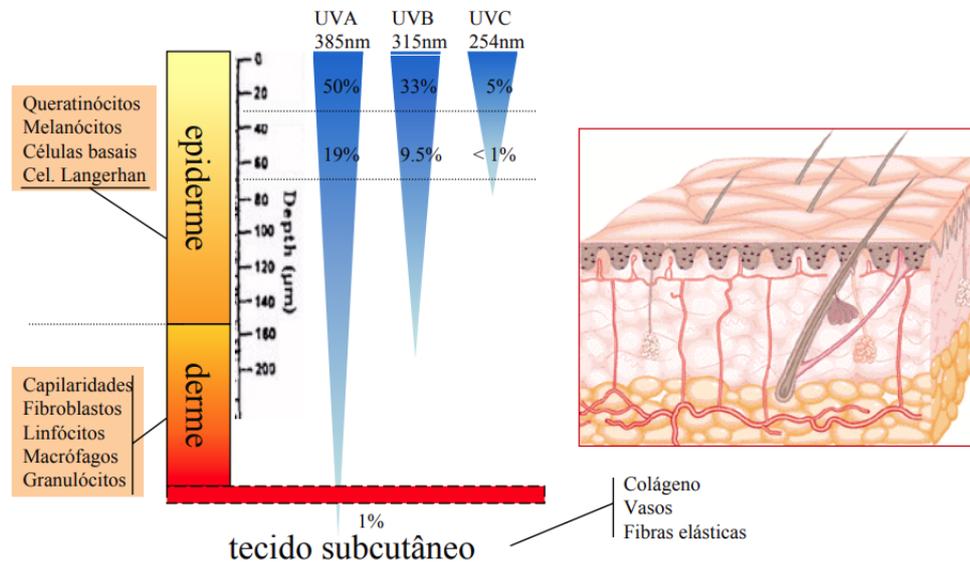
Dentre as técnicas de esterilização por radiação não ionizante existe a esterilização por dano fotoquímico utilizando radiação ultravioleta, a qual será utilizada em nosso projeto. A radiação ultravioleta é comumente dividida em três conjuntos (SILVA, 2018), sendo eles:

- a) UV-A: Possui comprimento de onda entre 315 e 400nm. É comumente associada ao envelhecimento das células devido sua capacidade de mutação genética que afeta o gene responsável pelo controle do ciclo celular gerando uma morte celular programada. Este tipo de radiação é o que possui menor energia devido ao maior comprimento de onda, porém esta radiação é a que possui maior nível de profundidade de penetração e a isto está associada sua capacidade de mutação genética.
- b) UV-B: Possui comprimento de onda entre 280 e 315nm. Pode ser associada a alterações genéticas que conduzem ao câncer devido à sua profundidade de penetração, que comumente ultrapassa a camada da epiderme. É na camada da epiderme onde encontram-se células como as de Langherans, que são dendríticas provenientes da medula óssea. Essas células possuem diversas funções, dentre elas a proteção contra infecções e a proteção contra a proliferação de células epidérmicas. Tais células estão diretamente ligadas à proteção imunológica da pele e a UV-B impacta diretamente na redução de sua concentração. Trabalhos experimentais realizados em camundongos associam esta depressão causada nas células de Langherans ao aumento da susceptibilidade ao câncer de pele e supõe-se que o mesmo aconteça aos humanos (OKUNO; VILELA, 2005)
- c) UV-C: Possui comprimento de onda entre 100 e 280nm. A profundidade de penetração e o dano ao DNA/ácido ribonucleico (RNA) estão diretamente ligados ao comprimento de onda. Quanto menor for o comprimento de onda, menor será a profundidade de penetração e uma quantidade maior de radiação atingirá os materiais genéticos. Seu efeito no material genético está comumente associado ao rompimento das ligações de base, que tornam inviável sua reprodução devido a criação de erros recombinatórios, ocasionando a criação de um material genético mutante e na produção do ácido ribonucleico (RNA) que atua na produção de enzimas e proteínas, desativando os microrganismos (SILVA, 2018).

A figura 1 sintetiza o escrito acima.

Figura 1 – Níveis de penetração da radiação UV

Efeitos da radiação ultravioleta sobre os seres humanos



Fonte: Gomes, Furtado e Souza (2018)

Dispositivos de desinfecção por radiação comumente utilizam lâmpadas padronizadas de 254nm. Tal comprimento de onda proporciona grande eficiência de desinfecção por emitir de forma predominante comprimentos de onda que coincidem com os comprimentos de onda de máxima absorvância do DNA – alvo germicida dos fóton UV, (CHATTERLEY; LINDEN, 2010); a este método de esterilização damos o nome de UVGI.

Como mencionado na abordagem sobre os efeitos da radiação com a matéria, em tais interações é possível notar a presença de mais de um efeito, dependendo do nível de energia. O método de desinfecção aplicado nesse projeto é algo que representa bem esta circunstância, pois a luz UV encontra-se na região de contorno entre radiação não ionizante e radiação ionizante. Por este motivo é provável, que ao analisarmos este fenômeno de desinfecção, encontremos tanto interações ionizantes (elétrons sendo arrancados da estrutura) como radiações não ionizantes (onde não ocorre a formação de íons). Porém, devido ao nível de energia utilizado é esperado que encontremos predominância de interação não ionizante.

Em contrapartida, segundo a comissão internacional de unidades de medidas de radiação (ALLISY et al., 1998) as definições de energia ionizante e não ionizante são feitas pelo tipo de aplicação e para aplicações radio biológicas a radiação UV está classificada como não ionizante.

2.3 Esterilização de Embalagens

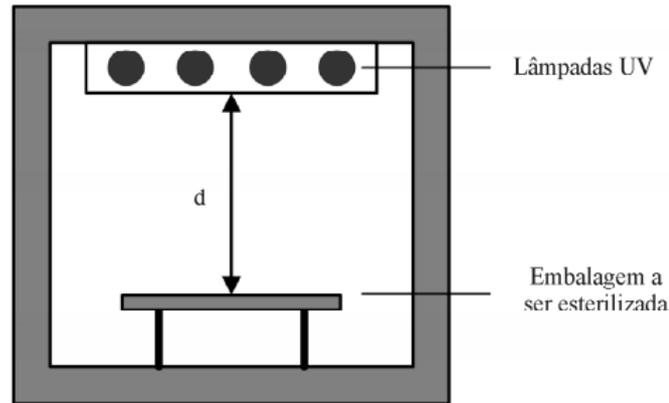
Supermercados, restaurantes, barbearias, farmácias, indústrias de pequeno à grande porte etc. tiveram que lidar com a limpeza frequente de produtos, embalagens e superfícies afim de não deixar as culturas microbiológicas se estabelecerem e criarem um risco de serem transmitidos diretamente para o ser humano. Porém, para que tudo isso seja feito de forma eficaz é necessário recursos que demandam tempo, insumos e mão de obra apta.

Existem diversas formas comprovadas de se esterilizar um ambiente ou superfície, dentre elas tem o uso de soluções alcoólicas que inativam rapidamente um vasto espectro de patógenos além de serem viáveis em locais onde a população não tem acesso à água descontaminada e sabão, (SEQUINEL et al., 2020).

Tem crescido então o uso de radiação UV-C para o propósito de tratamento e controle microbiológico de ambientes, principalmente os hospitalares onde há uma maior concentração de pessoas infectadas por doenças, incluindo a COVID-19. O efeito micro-biocida causado pela irradiação só será eficaz se feito da maneira correta, ou seja, tendo a intensidade, tempo e distancia correta durante a aplicação. Qualquer fonte com comprimento de onda inferior a 200nm será ineficiente para esse uso e finalidade específica, visto que há uma absorção pela água e pelo oxigênio extremamente rápidas. Os comprimentos mais eficientes ficam na faixa de 210nm e 330nm pois é quando ocorre a absorção das ondas pelas proteínas e ácidos nucleicos, provocando mutações genéticas, rompimento de cromossomos e inativação das enzimas, (ALEXANDRE; FARIA; CARDOSO, 2008).

Claro que a eficácia do processo irá depender de diversos fatores, foi utilizado então como base um estudo feito em 2008, (ALEXANDRE; FARIA; CARDOSO, 2008) que media a eficácia de esterilização de embalagens plásticas irradiadas por uma luz UV-C. A metodologia do ensaio foi projetada para realizar o ensaio de 10 amostras de filme plástico de polietileno de baixa densidade, usualmente empregados por indústrias de alimentos, a fim de verificar se eles apresentavam alguma contaminação inicial ao serem expostos ao ar ambiente. Para testar a eficácia da radiação ultra violeta, os pedaços de filme foram contaminados inicialmente por uma suspensão de esporos de *Bacillus subtilis*. A partir de então, foi testado diversas intensidades e tempos de exposição dentro de uma cabine projetada, conforme a figura 2 mostra, para se obter a melhor eficiência do método aplicado.

Figura 2 – Cabine capaz de fornecer uma radiação UV-C a 254 nm



Fonte: Alexandre, Faria e Cardoso (2008)

Não serão relatados em detalhes todos os procedimentos experimentais do artigo citado, iremos tomar como base as conclusões encontradas dos testes, os resultados mostrados na tabela 1 e como iremos tratar os dados obtidos em nosso projeto. A lâmpada utilizada para a irradiação possuía 30W, com um comprimento de onda de 254nm, do modelo LE F30T10/GL.

Tabela 1 – Resultados em termos de distância da fonte até o objeto e tempo de exposição

Experimentos	Tempo (s)	distância (cm)	Reduções decimais
1	15	21,00	2,40
2	30	21,00	5,33
3	20	21,00	4,00
4	15	9,50	2,00
5	15	10,50	4,62

Fonte: Alexandre, Faria e Cardoso (2008)

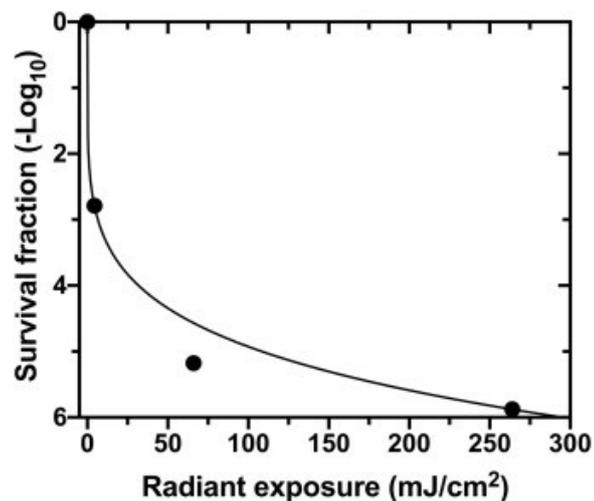
Quanto maior o tempo de exposição, maior é o efeito e neste estudo utilizado como base para o projeto, quando o tempo foi superior a 30 s houve uma redução total da carga microbiana. Portanto foi possível concluir que esse sistema de esterilização de superfície de embalagens é eficaz, principalmente quando o tempo de exposição do material à irradiação UV-C de 254 nm for superior a 30s. Concluiu-se também que a distância da superfície a ser irradiada deve ser a mínima possível para aumentar o efeito germicida das fontes emissoras de radiação (ALEXANDRE; FARIA; CARDOSO, 2008).

Agora que já foi criado uma base sólida para o início do protótipo, é necessário observar o comportamento do vírus SARS COV-2 sob o efeito da emissão UV-C e se os tempos de exposição e distância são compatíveis ou se é necessário mais que 30s de irradiação para inativar o vírus. Foi usado como base um outro artigo científico, (SABINO et al., 2020) que trata

exatamente as relações citadas acima e qual o grau de eficácia de acordo com a dose aplicada (que está diretamente ligada com a distância entre a fonte e o objeto) e o tempo de exposição.

Para comprovar a eficácia do processo, foram utilizadas vinte e quatro amostras que continham culturas do vírus que foram preparados e incubados propriamente para os testes e depois irradiadas com diferentes intensidades e tempos de exposição (SABINO et al., 2020). Conforme os resultados iam aparecendo, foi possível gerar um gráfico das taxas de inibição do vírus mediante a radiação exposta como mostra a figura 3 e também uma tabela de valores contendo as doses letais necessárias para se atingir certas porcentagens de inativação viral.

Figura 3 – Comportamento de inativação do SARS COV-2 promovida pela radiação UV-C a 254 nm



Fonte: Sabino et al. (2020)

A tabela 2 exhibe os resultados dos experimentos.

Tabela 2 – Doses letais de UV-C para SARS COV-2

Inativação viral (%)	Dose de radiação UV-C (mJ/cm ²)	Tempo de exposição (s)
90	0,016	0,01
99	0,706	0,32
99,9	6,556	2,98
99,99	31,880	14,49
99,999	108,714	49,42

Fonte: Sabino et al. (2020)

Pesquisas mais recentes nesse mesmo seguimento de esterilização estão visando comprovar agora a eficácia da radiação de 222nm pois é menos nociva a pele e também aos olhos. Isso se dá ao fato de seu comprimento de onda não conseguir penetrar tecidos, atingir células

humanas e mesmo assim ser capaz de destruir vírus e bactérias de tamanhos microscópicos (BUONANNO et al., 2020).

2.4 Tipos de Lâmpada UV-C

Uma lâmpada germicida produz (UV-C), em um comprimento de onda que varia de 200nm à 280nm, existem 4 modelos no mercado atualmente que se enquadram nesta categoria de lâmpada, segue abaixo:

Lâmpadas de mercúrio de baixa pressão: Semelhante a uma lâmpada fluorescente comum, porém seu tubo não contém fósforo fluorescente. Além disso, em vez de ser feito de vidro de borossilicato comum, o tubo é feito de quartzo fundido ou soft glass, permitindo que a luz ultravioleta de 200nm à 254nm, produzida pelo arco de mercúrio passe para fora da lâmpada sem modificação, sua temperatura de operação é na casa de 45°C, cerca de 35% da potência de entrada da lâmpada é de fato emitida em luz UV-C e seu tempo de vida costuma girar em torno de 9000h à 18000h.

Lâmpadas de mercúrio de alta pressão: As lâmpadas de média pressão são mais semelhantes às lâmpadas de descarga de alta intensidade (HID), do que as fluorescentes. Essas lâmpadas irradiam radiação UV-C de banda larga, são amplamente utilizados no tratamento de água, por serem fontes de radiação muito intensas, possuem temperatura de operação de 600 à 900°C, são menos efetivas do que as lâmpadas de baixa pressão, cerca de de 8 à 10% e possuem tempo de vida em cerca de 1000h à 4000h.

Lâmpadas Excimer: Emitem radiação UV-C de banda estreita e radiação ultravioleta a vácuo em uma comprimentos de onda de 207nm à 222nm. Não possuem mercúrio e atingem a potência total mais rápido do que uma lâmpada de mercúrio e geram menos calor. Além de serem mais seguras do que a radiação germicida tradicional de 254nm, devido à penetração muito reduzida desses comprimentos de onda na pele humana.

LED's UV-C: Tecnologia mais recente, se baseiam de materiais semicondutores em sua composição para produzir a luz, o comprimento de onda pode ser reajustado conforme a química a ser empregada no material, o que acaba sendo uma vantagem em relação aos demais tipos, porém sua potência é inferior, devido a pequena área de superfície, este modelo é muito empregado em dispositivos médicos, por ter uma tamanho reduzido, baixo consumo de energia e pouca dissipação de calor.

2.5 Dosagem

Para chegar nos valores teóricos de irradiação necessária e tempo de exposição, iremos utilizar o teorema 2, que é recomendado para calcular a produção de UV-C por uma lâmpada germicida de 254nm, a figura 4, exemplifica o cenário que o teorema apresenta.

Teorema 2 – Equação de Keitz - Cálculo de Potência UV (KEITZ, 1971).

$$P = \frac{E \times 2 \times \pi^2 \times D \times L}{2 \times \alpha + \text{sen}(2 \times \alpha)} \quad (2)$$

onde:

P é a potência do comprimento de onda UV-C (W);

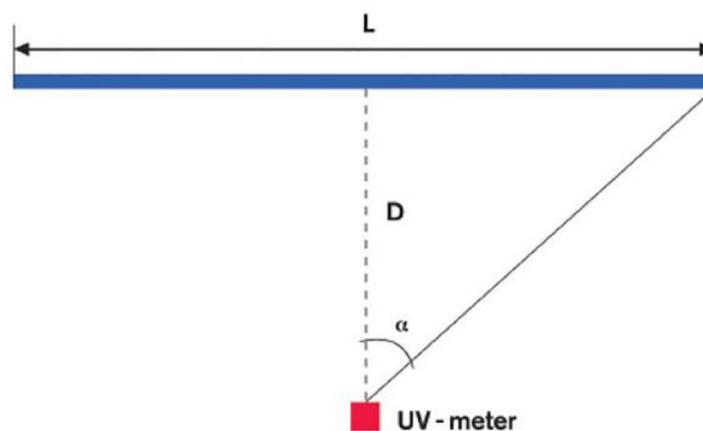
E é a irradiação (W/m^2);

D é a distância do centro lâmpada ao ponto de incidência (m);

L é o comprimento da ponta de um eletrodo a outra ponta de eletrodo da lâmpada (m);

α é o ângulo formado entre a distancia do centro da lâmpada ao ponto de incidência e a distancia do extremo da lâmpada ao ponto de incidência.

Figura 4 – Relação Geométrica da fórmula de Keitz



Fonte: Wedeco et al. (2008)

Após ter como base os teoremas envolvendo os cálculos de irradiação, é possível fazer uma relação com a dose de UV-C e tempo, conforme o teorema 3 mostra.

Teorema 3 – Dosagem-Tempo (BALUJA et al., 2020).

$$DoseUV - C(J/cm^2) = Irradiação(W/cm^2) \times Tempo(s) \quad (3)$$

3 METODOLOGIA

Este protótipo visa eliminar os riscos de pessoas sofrerem uma infecção viral ou bacteriana ao terem contato com produtos de supermercados, transportadoras, correios, lojas entre outros. Dado isso foi pensado em construir um protótipo que esterilizasse tais produtos de maneira segura e cômoda, melhorando o bem-estar das pessoas. A ideia consiste em fazer com que uma esteira transporte o produto a ser esterilizado por dentro de um túnel que possua lâmpadas UV-C, fazendo com que a luz esterilizante atinja a maior parte das superfícies do produto possíveis. Por questões de segurança o protótipo contará com uma capa em seu túnel para garantir que a radiação UV-C não vaze para o exterior, garantindo que o equipamento seja totalmente seguro à saúde humana.

Para o desenvolvimento do protótipo, a metodologia foi separada em quatro partes principais sendo elas eletrônica, mecânica, painel elétrico e questionário de satisfação.

3.1 Parte Mecânica

Como todo projeto em desenvolvimento, foi necessário o levantamento da estrutura mecânica como um todo, onde teremos como base a união de todas as peças que compõem o sistema, tendo entre elas a esteira transportadora, estrutura metálica para apoio e fixação das lâmpadas UV-C, visto que também esta sendo contemplado os painéis elétricos, suportes, fixadores e conexões necessárias para a união do conjunto.

3.1.1 Esteira

A esteira transportadora é composta pelos roletes, correia transportadora de material e bases de fixação em uma base plana. Diversos conceitos de transporte de carga de alta capacidade também são aplicáveis dentro do contexto do nosso projeto, tendo em vista que, temos que garantir o alinhamento entre os roletes (sendo de vital importância a área mais crítica, sendo a região de desinfecção), e dentre os roletes da correia transportadora, onde será transportado os objetos destinados a desinfecção.

Os roletes são de formato cilíndrico e de material alta dureza, onde suas extremidades são fixadas nas paredes do transportador fazendo com que eles fiquem livremente soltos, podendo girar no mesmo sentido de movimento e velocidade do ciclo de esterilização.

A correia transportadora dentro de sua composição possui materiais levemente rígidos e elásticos, visto que esse componente passará por toda extensão (superior e inferior) da estrutura de apoio fixada na superfície do solo, mesa de teste ou afins.

3.1.2 Túnel

O túnel será responsável pela área de desinfecção, onde as lâmpadas UV-C estarão dispostas, centradas e posicionadas em uma peça denominada túnel metálico, que é composto em chapas de aço inoxidável com pintura eletroestática, tendo o comprimento ideal para as lâmpadas UV-C.

O espaço físico para os produtos passarem no túnel terá largura máxima de 40 cm e altura máxima de 45 cm e foi projetado no software SolidWorks, que será visto em seção 4.3.

3.1.3 Lâmpadas

Serão 8 lâmpadas do modelo TUV 180W XPT SE UNP/20, (ilustrado na figura 5), da empresa Philips, além disso será necessário ter um reator e soquete para cada lâmpada. A tabela 3 contém a ficha técnica da lâmpada.

Tabela 3 – Ficha técnica da lâmpada TUV 180W XPT SE UNP/20

Descrição	Valor
Tensão nominal	90 V
Corrente nominal	2,1 A
Potência nominal	180 W
Diâmetro	19 mm
Comprimento	1032 mm
Vida útil	12000 h
Soquete	G10.2Q
Peso	0,208 kg

Fonte: Philips, 2021

Figura 5 – Lâmpada Germicida UV-C - TUV 180W XPT SE UNP/20



Fonte: Philips, 2021

Para alimentar as lâmpadas, será utilizado o reator TUV 180W XPT, também da Phillips, suas características são exibidas na tabela 4 e é ilustrado na figura 6.

Tabela 4 – Especificações técnicas dos reatores Phillips TUV 180W XPT lamp driver

Descrição	Valor
Tensão nominal	110 - 277 V (AC)
Potência nominal	180W
Corrente	1,9 A (120 V) 0,8 A (277V)
Eficiência	>93%

Fonte: Phillips, 2021

Figura 6 – Reator TUV 180W XPT



Fonte: Philips, 2021

3.1.4 Moto-polia

O motor utilizado é fabricado pela Interroll, modelo 80S DC, do tipo moto-polia (ilustrado na figura 7), um modelo já existente e muito utilizado na área de check-out.

Tabela 5 – Ficha técnica da motopolia INTERROLL Drum Motor 80S DC

Descrição	Valor
Tensão nominal	24 V (DC)
Potência nominal	0,44 KW
Peso	4,1 kg
Raio da polia	0,0405 m
Velocidade de funcionamento	0,15 m/s

Fonte: INTERROLL

Figura 7 – Motopolia



Fonte: Autor (2021)

3.2 Parte Eletrônica

Esta sessão especifica toda a parte da metodologia do sistema de controle, alimentação, dos sensores e dos atuadores do projeto.

O desenvolvimento da parte eletrônica teve início com o software online e gratuito AUTODESK Tinkercad® onde o sistema foi elaborado com a ajuda da placa de prototipagem Arduino UNO. Após a fase inicial de testes com o Tinkercad® iniciamos a montagem de três placas dedicadas ao projeto utilizando a ferramenta AUTODESK FUSION 360, são elas: placa de alimentação, placa de controle e placa do display LCD.

3.3 Painel elétrico

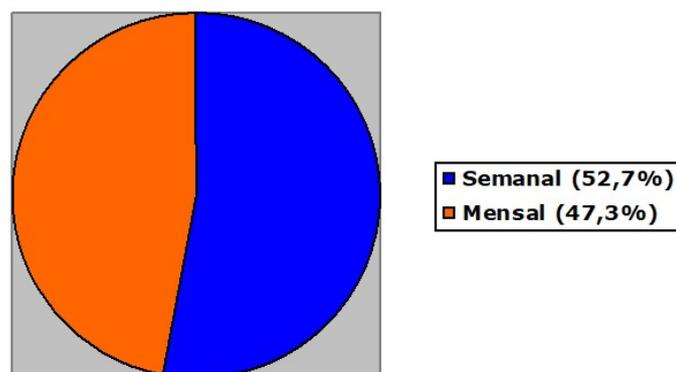
O painel elétrico tem com objetivo fazer o elo entre os sinais de entrada e saída do sistema, visto que estará disposto o disjuntor de proteção de alimentação, reatores para as lâmpadas, placa principal de controle, placa da fonte DC, calhas elétricas, trilhos de fixação e bornes elétricos. Para o projeto do painel elétrico foi utilizado o software CAD 3D SolidWorks, da multinacional Dassault Systèmes.

3.4 Questionário de satisfação

Com o intuito de efetuar um levantamento estatístico sobre a características de campo aos quais o projeto será aplicado, levamos aos consumidores de supermercados um questionamento com o objetivo de obter características perante a visão do consumidor aos quais o desenvolvimento do produto pretende atuar. Na plataforma Google Forms foram disponibilizadas 6 perguntas de múltipla escolha tendo como foco os tópicos chave, onde o consumidor de estabelecimentos de pequeno, médio e grande de materiais de consumo se preocupam tendo em vista o cenário atual de calamidade na saúde publica mundial. Dentre as seis perguntas disponibilizadas ao público, obtivemos um retorno de trezentas e trinta respostas, conforme índices estatísticos apresentados abaixo:

- a) Quando assunto é sobre compras domésticas, você se organiza para adquirir os produtos de forma semanal ou mensal?

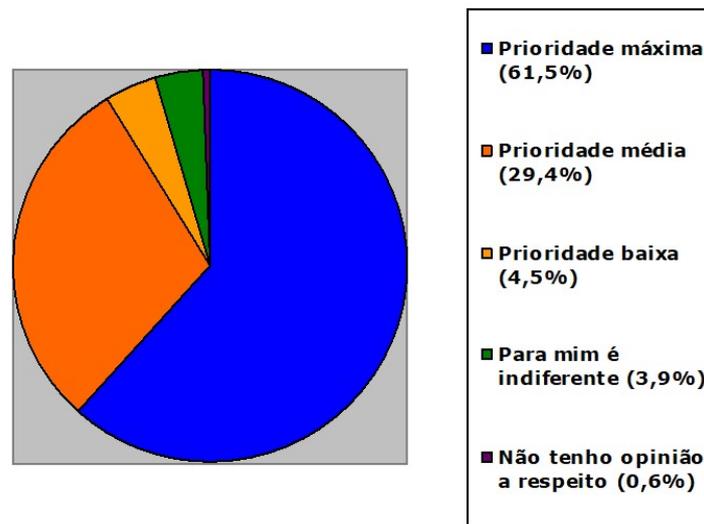
Figura 8 – Porcentagem de pessoas que adquirem produtos de forma mensal/semanal



Diante ao montante de 330 pessoas, em um primeiro instante podemos observar que 52,7% efetuam as compras de insumos de forma semanal, entretanto, 47,3% deste público se organiza de forma mensal.

- b) Diante ao cenário atual do COVID-19, qual a importância que pode ser dada para a esterilização dos objetos antes que seja utilizado em sua residência?

Figura 9 – Porcentagem de pessoas que dão prioridade a esterilização de produtos comprados para uso doméstico

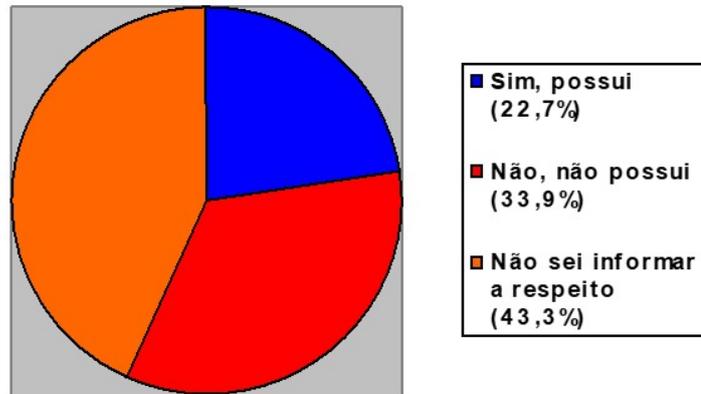


Fonte: Autor (2021)

Diante a importância da esterilização dos objetos perante o público, 61,5% assume como prioridade máxima, 29,4% como prioridade média, 4,5% prioridade baixa, 3,9% tem como postura ser indiferente e 0,6% não possui opinião a respeito.

- c) Os mercados de pequeno, médio ou grande porte aos quais você frequenta, possui alguma preocupação e/ou procedimento de esterilização dos objetos que estão sendo vendidos ao público?

Figura 10 – Preocupação dos mercados em garantir a segurança higiênica dos produtos do ponto de vista dos consumidores

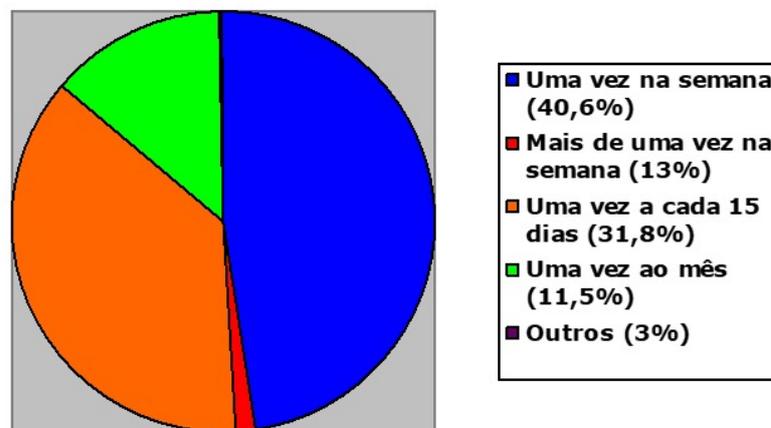


Fonte: Autor (2021)

Perante os estabelecimentos frequentado pelo público, tendo em vista a preocupação com protocolos ou procedimentos para esterilização dos meios de consumos destinados ao público, 22,7% possuem algum procedimento para esterilização, 33,9% não possui e 43,3% do público não sabe informar.

d) Com qual frequência você frequenta o ambiente de supermercados?

Figura 11 – Frequência que as pessoas frequentam supermercados

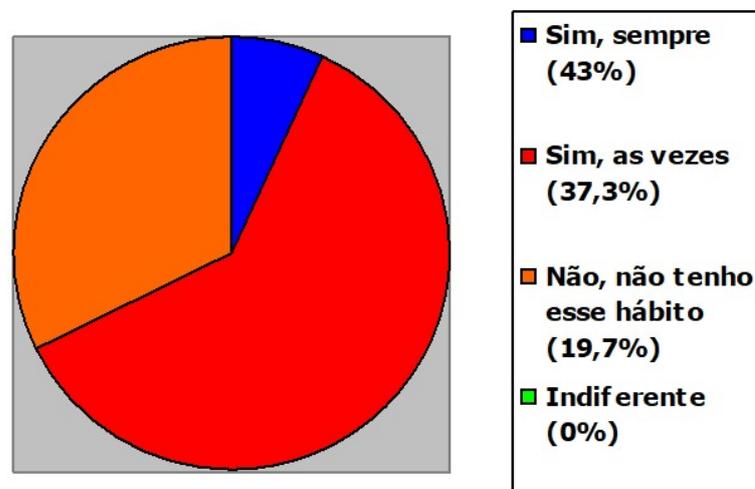


Fonte: Autor (2021)

Com relação a frequência com que as pessoas frequentam os estabelecimentos, podemos perceber que, 40,6% uma vez a semana, 13% mais de uma vez a semana, 31,8% a cada 15 dia, 11,5% uma vez ao mês e 3% com uma frequência não listada (outros).

- e) Você costuma esterilizar manualmente os produtos adquiridos ao chegar em sua residência?

Figura 12 – Índice manual de esterilização dos entrevistados

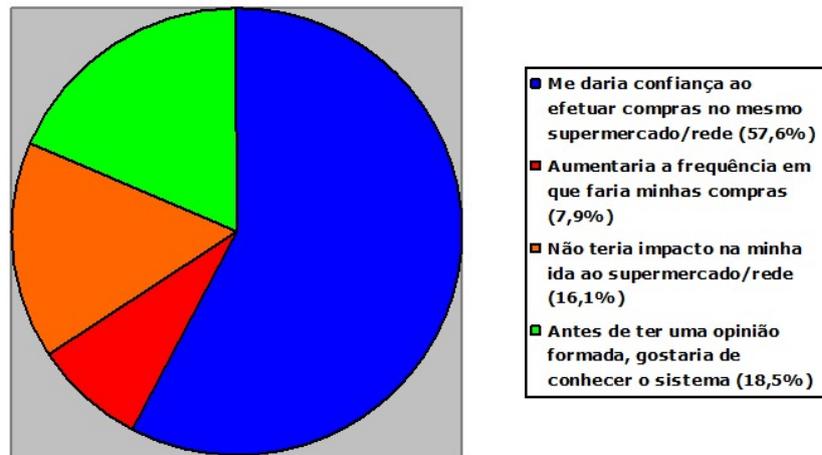


Fonte: Autor (2021)

Tendo em vista a preocupação dos consumidores com os produtos comprado, efetuando a esterilização manual, 43% sempre fazem, 37,3% as vezes efetuam, 19,7% não possuem o hábito e 0% tratam como indiferente.

- f) Se os responsáveis das redes de supermercados divulgassem que adquiriram um sistema de esterilização para os seus consumidores, eu provavelmente....

Figura 13 – Índice de aceitação sobre o sistema de esterilização proposto



Fonte: Autor (2021)

Como uma última questão apresentada ao público, se o estabelecimento adquirisse um sistema de esterilização das superfícies dos objetos e divulgasse aos clientes, 57,6% sentiram confiança ao efetuar compras na mesma rede de supermercados, 7,9% aumentaria a frequência em que faria suas compras, 16,1% não sentiria impacto a ida ao supermercado e 18,5% antes de ter uma opinião formada sobre o assunto, gostaria de conhecer o sistema.

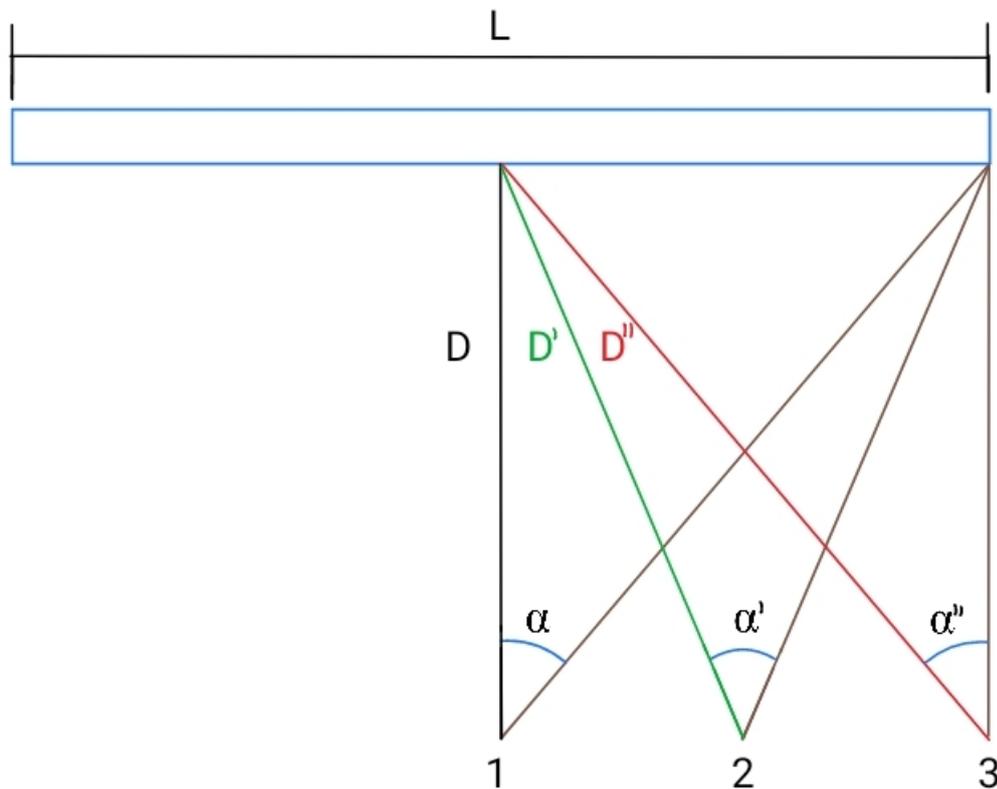
4 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

4.1 Cálculo de irradiação de uma lâmpada

Os valores teóricos que serão desenvolvidos neste capítulo podem variar um pouco em relação a prática, pois a produção de radiação das lâmpadas de mercúrio de baixa pressão dependem fortemente da temperatura e vida útil, por isso, testes serão feitos com os softwares Rhino e Photopia®, que possuem a capacidade de medir a irradiação de lâmpadas no comprimento de onda UV-C.

Utilizando o teorema 2 e tendo como base a figura 14, será calculada a irradiação média que uma lâmpada possui por todo seu comprimento.

Figura 14 – Vista superior de uma Lâmpadal



Fonte: Autor (2020)

O ponto médio de incidência de luz para considerar o D , será 25 cm, as lâmpadas possuem L de 93 cm e P de 180 W.

No ponto 1:

$$D = 25 \text{ cm} \quad (4)$$

$$\alpha = \arctan \frac{L}{2 \times D} = \arctan \frac{93}{2 \times 25} = 1,078 \text{ rad} \quad (5)$$

$$E = \frac{P \times (2 \times \alpha + \text{sen}(2 \times \alpha))}{2 \times \pi^2 \times D \times L} = \frac{180 \times (2 \times 1,078 + \text{sen}(2 \times 1,078))}{2 \times \pi^2 \times 25 \times 93} = 11,72 \text{ mW/cm}^2 \quad (6)$$

No ponto 2:

$$D' = \sqrt{\frac{L^2}{4^2} + D^2} = \sqrt{\frac{93^2}{4^2} + 25^2} = 34,14 \text{ cm} \quad (7)$$

$$\alpha' = 2 \times \arctan \frac{L}{4 \times D} = 2 \times \arctan \frac{93}{4 \times 25} = 1,5 \text{ rad} \quad (8)$$

$$E' = \frac{P \times (2 \times \alpha' + \text{sen}(2 \times \alpha'))}{2 \times \pi^2 \times D' \times L} = \frac{180 \times (2 \times 1,5 + \text{sen}(2 \times 1,5))}{2 \times \pi^2 \times 34,14 \times 93} = 9,02 \text{ mW/cm}^2 \quad (9)$$

No ponto 3:

$$D'' = \sqrt{\frac{L^2}{2^2} + D^2} = \sqrt{\frac{93^2}{2^2} + 25^2} = 52,79 \text{ cm} \quad (10)$$

$$\alpha'' = \arctan \frac{L}{2 \times D} = \arctan \frac{93}{2 \times 25} = 1,078 \text{ rad} \quad (11)$$

$$E'' = \frac{P \times (2 \times \alpha'' + \text{sen}(2 \times \alpha''))}{2 \times \pi^2 \times D'' \times L} = \frac{180 \times (2 \times 1,078 + \text{sen}(2 \times 1,078))}{2 \times \pi^2 \times 52,79 \times 93} = 5,55 \text{ mW/cm}^2 \quad (12)$$

Portanto a média de irradiação ao longo da lâmpada pode ser aproximada à:

$$E_{med} = \frac{11,72 + 2 \times 9,02 + 2 \times 5,55}{5} = 8,17 \text{ mW/cm}^2 \quad (13)$$

4.2 Simulações das lâmpadas UV-C

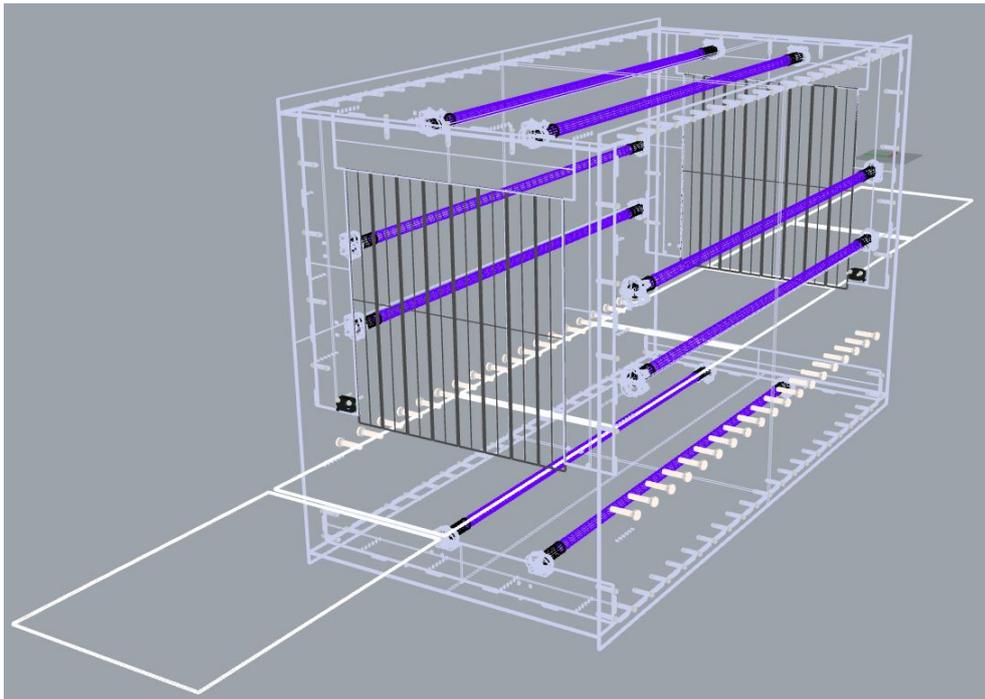
Devido as condições da pandemia do COVID-19 não foi possível construir o projeto fisicamente, o que nos levou buscar alternativas para que o nosso desenvolvimento teórico fosse testado. Inicialmente foi necessário achar um software que fosse capaz de simular a emissão

de radiação UV-C gerada pelas lâmpadas e a sua aplicação em superfícies de objetos. Depois de muita procura foi encontrado um programa produzido pela Itoptics chamado de Photopia® que tem como objetivo criar designs ópticos através da modelagem 3D de ambientes.

Ele pode ser utilizado como extensão de alguns softwares modeladores tais como Solidworks e Rhino. No nosso caso o projeto foi desenhado em sua grande parte no Solidworks, porém o Photopia® tem uma melhor usabilidade dentro do Rhino por possuir algumas funções visuais extra inexistentes no outro modelador. Com uma vasta biblioteca de lâmpadas UV-C, o software nos proporcionou após uma série de passos a simulação de como nosso ambiente iria se comportar dentro das características já calculadas anteriormente.

Primeiramente foi necessário replicar a estrutura principal do nosso túnel e inserir as lâmpadas provenientes da biblioteca do Photopia®, figura 15 . Importante ressaltar que modelos CAD pré existentes de um outro lugar não nos permitem realizar a simulação.

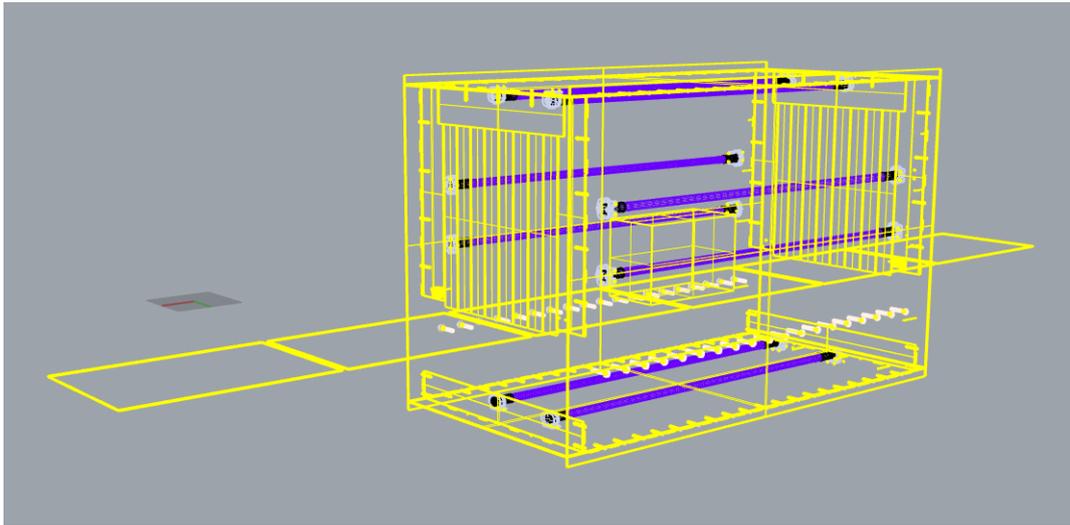
Figura 15 – Túnel com as lâmpadas no software Rhino



Fonte: Autor (2021)

Assim que todas as fontes luminosas foram posicionadas foi necessário então criar a uma superfície de luminância que será nosso alvo de estudo. No nosso caso, além da superfícies dos produtos, consideramos todas as paredes internas e também a esteira de apoio, figura 16.

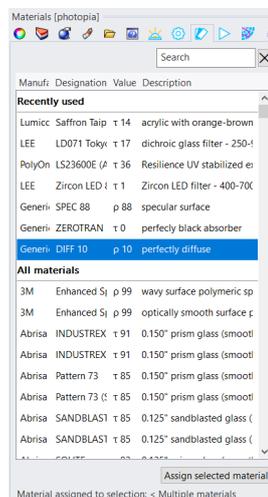
Figura 16 – Planos que terão sua propriedade alterada para realizar a simulação



Fonte: Autor (2021)

Os planos de luminância são necessários para determinarmos quanto de radiação está sendo aplicada. É possível ainda alterar as propriedades dos materiais afim de simular perfeitamente superfícies que absorvem ou refletem a luminosidade, figura 17. Nas faces internas está sendo considerado um alumínio polido anodizado capaz de refletir até 88 por cento da incidência de luz, a esteira do protótipo está configurada com uma composição polimérica de sílica amorfa sintética fundida (GOMES; FURTADO; SOUZA, 2018), capaz de transpassar os raios de 254nm fornecidos pelas lâmpadas inferiores, são poucos os materiais refrativos capazes de transportar essa faixa de radiação UV-C.

Figura 17 – O Photopia® possui uma longa lista de materiais com diferentes propriedades



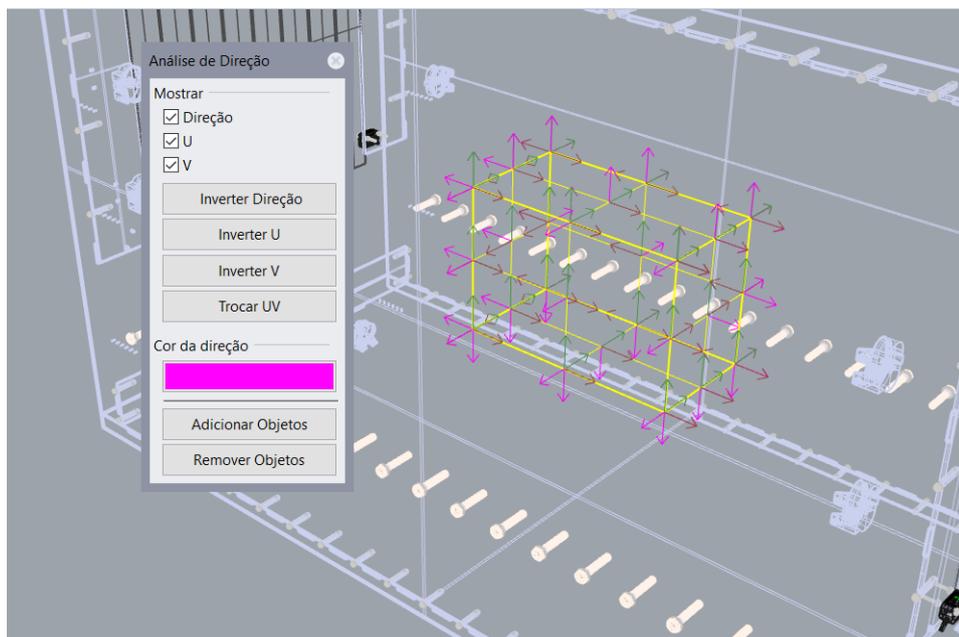
Fonte: Autor (2021)

Por ultimo, os produtos, parafusos de sustentação e os conectores das lâmpadas foram configurados com um material fosco que refletia apenas 10 por cento da luz incidida.

Os resultados de maior interesse no nosso projeto são os valores de irradiância em todas as superfícies dos objetos alvo. Esses serão obtidos configurando as superfícies que definem esses objetos como "gravadores de superfície". O Photopia® é capaz de registrar a iluminância ou irradiância em cada lado de qualquer superfície óptica no modelo, bem como a saída em cada lado da superfície. Devemos então confirmar as orientações, seus nomes e sua resolução de malha.

As setas magenta, figura 18, indicam as normais da superfície do “lado frontal” das superfícies. Portanto a parte frontal está voltada para o lado de fora desses objetos. Este é o resultado de como eles foram criados, já que ambos os objetos são sólidos explodidos. Podemos usar a caixa de diálogo em pop-up se precisarmos alterar as orientações da superfície.

Figura 18 – Orientações das superfícies do nosso objeto de estudo

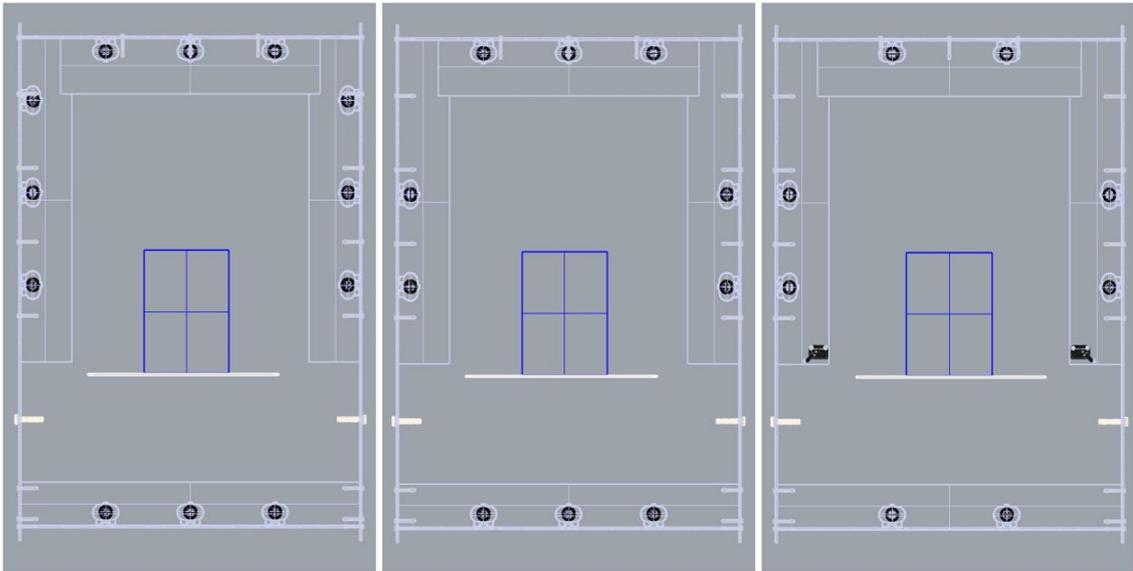


Fonte: Autor (2021)

Os nomes de superfície podem ser definidos no próprio painel de propriedades do Rhino e servirão principalmente para separar os resultados em tabelas. Eles são predefinidos neste modelo de amostra e você pode ver seus nomes no painel Configurações do Photopia®.

De forma em otimizar ao máximo a razão entre quantidade de lâmpadas e tempo de exposição dos produtos, foram feitos 3 tipos de simulações, com o túnel possuindo 12, 10 e 8 lâmpadas, respectivamente, conforme mostra a figura 19.

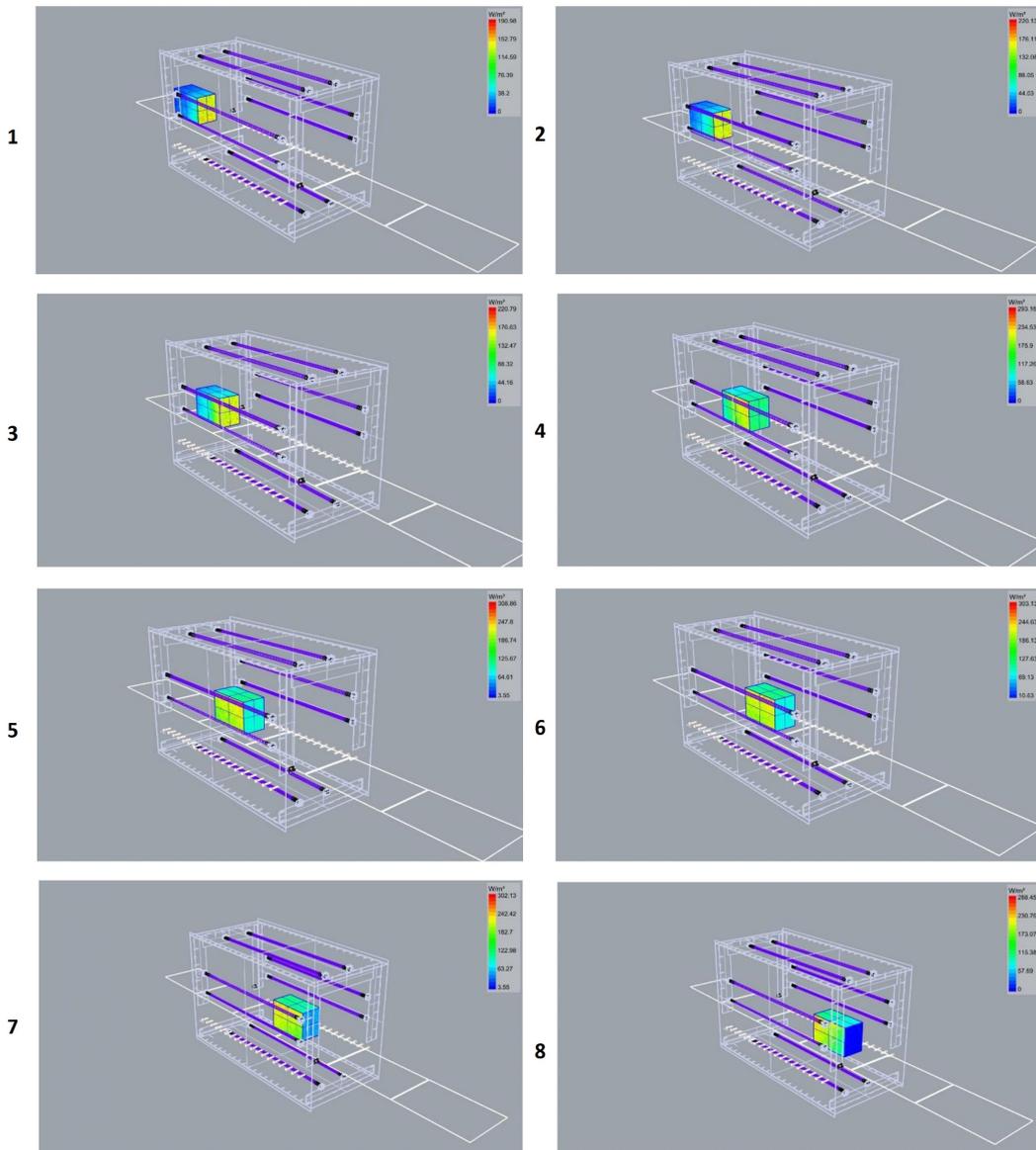
Figura 19 – 3 modos de disposição de lâmpadas no túnel



Fonte: Autor (2021)

A simulação foi feita em oito etapas contemplando oito posições diferentes do produto em relação ao túnel, conforme pode ser visto na figura 20, sendo o primeiro ponto, $d=0\text{m}$, logo a frente da cortina de entrada, e o último ponto, $d=1,08\text{m}$, no final do comprimento das lâmpadas. Tudo isso é necessário para que se possa medir a eficiência do projeto nas superfícies e identificar os pontos com menores incidências de radiação. Além disso será a partir dos resultados obtidos que a esteira terá sua velocidade definida, nesse caso optamos por configurar um valor fixo que não se alterará.

Figura 20 – Simulação de um produto ao longo do túnel

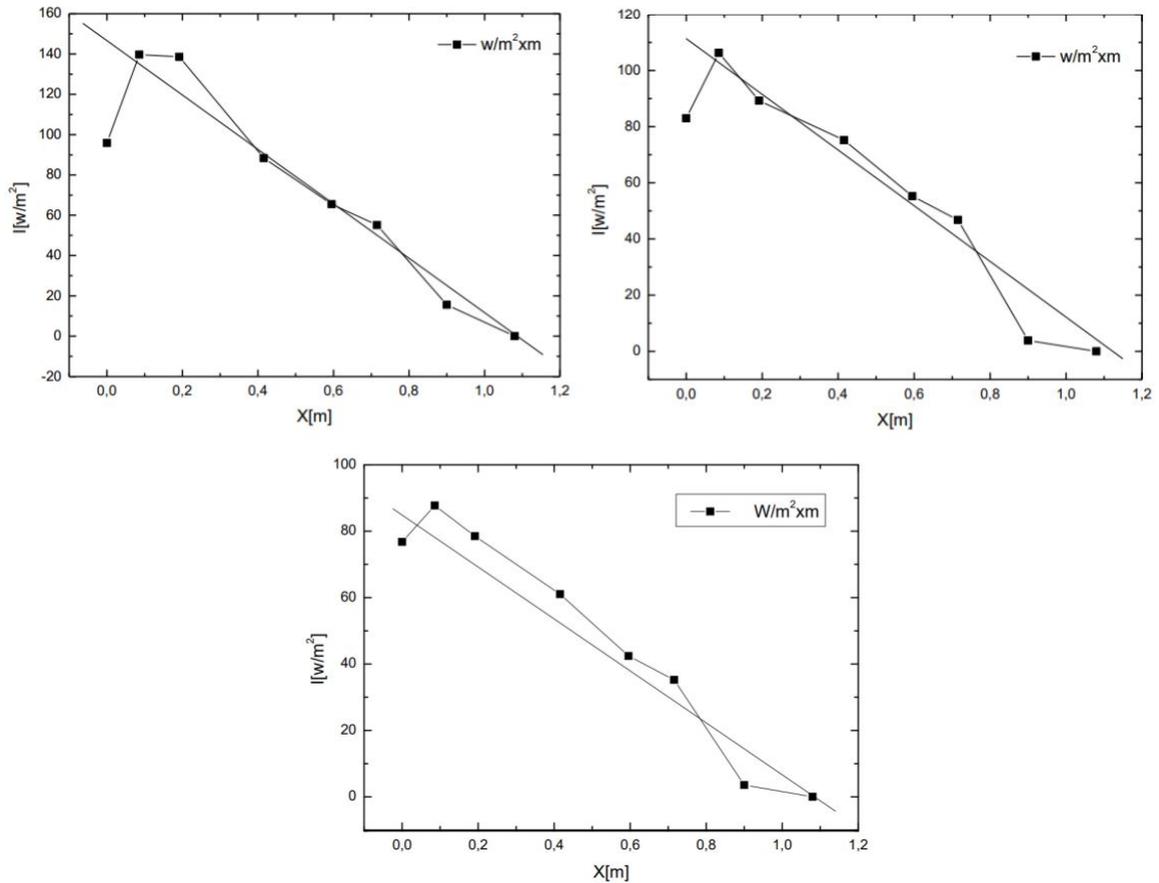


Fonte: Autor (2021)

Tendo como base de simulação as 6 faces do produto, foi possível analisar a irradiação ao longo delas e os resultados mostraram que as "tampas" frontal e traseira possuem o menor índice de irradiação, pois estão em um eixo perpendicular à todas as lâmpadas. As outras 4 faces, cada uma, estão no eixo paralelo de 2 lâmpadas, possuindo assim uma melhor distribuição de irradiação ao longo do comprimento das lâmpadas. A parte de baixo do produto, sob a esteira, possui um nível de irradiação maior ao longo do túnel do que as tampas frontal e traseira, isso foi possível devido ao baixo nível de absorção da manta de esteira utilizada.

Com isso, o limitante do sistema ficou na parte frontal e traseira e foram gerados os valores das 3 simulações da parte frontal com quantidades de lâmpadas diferentes, 12, 10 e 8, na tabela 6 e plotados em gráficos de acordo com a figura 21.

Figura 21 – Gráficos "Irradiação x Distância"(12, 10 e 8 Lâmpadas)



Fonte: Autor (2021)

Tabela 6 – Irradiação x Distância das 3 simulações

Distância (m)	Irradiação 12 (W/m ²)	Irradiação 10 (W/m ²)	Irradiação 8 (W/m ²)
0	95,84	83	76,77
0,086	139,64	106,3	87,73
0,19161	138,54	89,27	78,51
0,41561	88,31	75,21	61,06
0,59561	65,48	55,29	42,41
0,71561	55,07	46,76	35,22
0,9	15,57	3,89	3,55
1,08	0	0	0

Fonte: Autor (2021)

Dos gráficos foi possível gerar uma função linear de unidade W/m^3 , portanto ao integrar esta função nos domínios de distância utilizados, chegamos no valor médio de irradiação ao longo do comprimento útil para a face frontal.

Simulação com 12 lâmpadas:

$$E_{med} = \int_0^{1,08} (-121,22 \times x + 135,18) \times dx = 75,3 W/m^2 \text{ ou } 7,53 mW/cm^2 \quad (14)$$

Simulação com 10 lâmpadas:

$$E_{med} = \int_0^{1,08} (-94,426 \times x + 104,49) \times dx = 57,8 W/m^2 \text{ ou } 5,78 mW/cm^2 \quad (15)$$

Simulação com 8 lâmpadas:

$$E_{med} = \int_0^{1,08} (-83,907 \times x + 89,946) \times dx = 48,2 W/m^2 \text{ ou } 4,82 mW/cm^2 \quad (16)$$

Com estas informações e a dose necessária para inativação do SARS COV-2 visto na tabela 2, com a inativação viral em 99,99 % utilizaremos o teorema 3. Onde será possível chegar no tempo mínimo necessário de exposição de luz UV-C no túnel, utilizando o teorema 3, além da velocidade do sistema.

Simulação com 12 lâmpadas:

Utilizando:

$$UV = 31,88 (mJ/cm^2)$$

$$I = 7,53 (mW/cm^2)$$

$$d = 1,08 m$$

$$t = \frac{UV}{I} = \frac{31,88}{7,53} = 4,23 s ; \quad v = \frac{d}{t} = \frac{1,08}{4,23} = 0,25 m/s \quad (17)$$

Simulação com 10 lâmpadas:

Utilizando:

$$UV = 31,88 (mJ/cm^2)$$

$$I = 5,78 (mW/cm^2)$$

$$d = 1,08 m$$

$$t = \frac{UV}{I} = \frac{31,88}{5,78} = 5,52 s ; \quad v = \frac{d}{t} = \frac{1,08}{5,52} = 0,2 m/s \quad (18)$$

Simulação com 8 lâmpadas:

Utilizando:

$$UV = 31,88 \text{ (mJ/cm}^2\text{)}$$

$$I = 4,82 \text{ (mW/cm}^2\text{)}$$

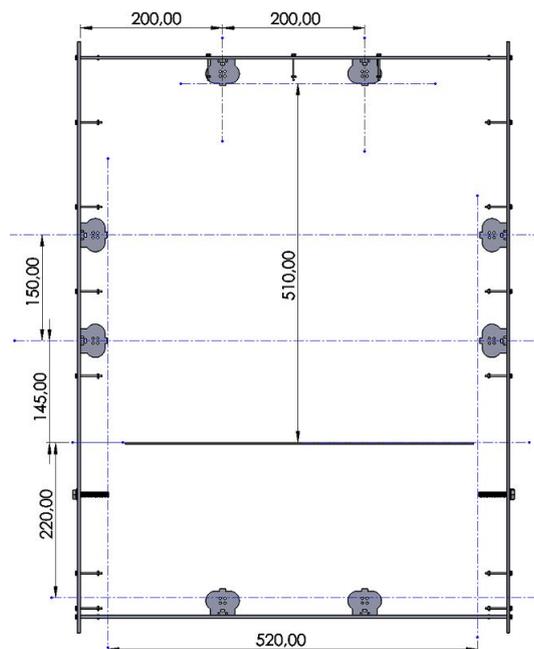
$$d = 1,08 \text{ m}$$

$$t = \frac{UV}{I} = \frac{31,88}{4,82} = 6,61 \text{ s} ; \quad v = \frac{d}{t} = \frac{1,08}{6,61} = 0,16 \text{ m/s} \quad (19)$$

Com estes dados optamos por seguir com a configuração de 8 lâmpadas, pois possui uma velocidade de operação compatível com as de esteiras de supermercado, além de economizar energia em relação as outras configurações, por possuir menos lâmpadas.

As lâmpadas serão dispostas em duplas por parede com uma distância de 15 cm entre elas no eixo vertical e 20 cm no eixo horizontal. Ao longo do túnel (ilustrado na figura 22), as lâmpadas localizadas nas 2 laterais do túnel estão separadas por uma distância de 52 cm. Portanto o ponto médio entre elas será de 25 cm, além de a primeira lâmpada dos pares estar a 14,5cm da parte de cima da esteira. As lâmpadas localizadas na parte superior estão separadas por uma distância de 51 cm em relação a parte de cima da esteira. Por fim, as lâmpadas localizadas na parte inferior estão separadas por uma distância de 22 cm em relação a parte de cima da esteira.

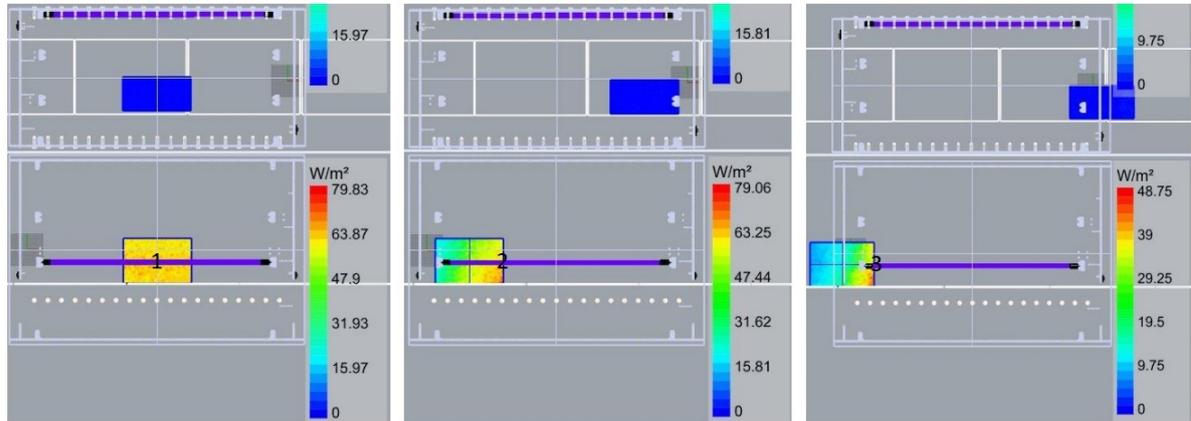
Figura 22 – Posicionamento das lâmpadas



Fonte: Autor (2021)

Em relação aos cálculos teóricos de irradiação média feitos na seção 4.1, foram feitas 3 simulações para verificação da precisão dos dados, conforme mostra a figura 23.

Figura 23 – Simulação de 3 pontos da Lâmpada para média de irradiação



Fonte: Autor (2021)

O lado da caixa do produto nesta simulação está paralelo a lâmpada, onde a mesma está bem no centro da caixa, com estas 3 posições mostradas na figura 23 é possível fazer um média de irradiação e verificar a irradiação média ao longo da lâmpada, permitindo comparar com o resultado da equação 13. A tabela 7 mostra os resultados obtidos da simulação.

Tabela 7 – Simulação de 3 pontos da Lâmpada para média de irradiação

Ponto	Irradiação (mW/cm ²)
1	9,59
2	7,01
3	4,12

Fonte: Autor (2021)

Portanto a média de irradiação ao longo da lâmpada pode ser aproximada à:

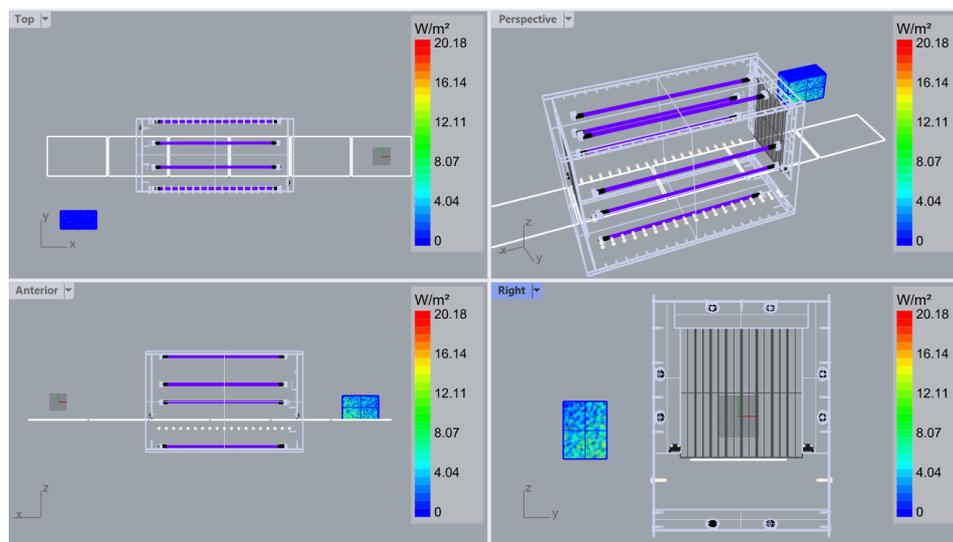
$$E_{med} = \frac{9,59 + 7,01 + 4,12}{3} = 6,87 \text{ mW/cm}^2 \quad (20)$$

Consequentemente o erro entre a teoria e simulação pode ser visto na equação 21.

$$Erro = \frac{8,17 - 6,87}{8,17} \times 100 = 15,79\% \quad (21)$$

As cortinas da entrada e da saída são feitas de um material chamado de "TECATRON PVX black", constituído de sulfeto de polifenileno (PPS) aditivado com fibra de carbono, politetrafluoretileno (PTFE) e grafite fornecido pela empresa Ensinger. Os aditivos do composto PPS resultam em um coeficiente de atrito mais baixo, o que acaba facilitando o deslize das superfícies dos produtos e também uma maior resistência aos efeitos dos raios UV (PLASTICS, 2018). Utilizaremos ainda um produto químico chamado Datisorb 723 da empresa Datiquim (DATIQUIM, 2004), durante o processo de fabricação que nos proporcionará uma maior absorção da radiação emitida. A figura 24 demonstra a simulação, com o produto demonstrando um raio de segurança para pessoas, o valor médio foi de $0,45 \text{ mW/cm}^2$, o que é bem baixo para uma distância de cerca de 25cm do início do túnel, e este valor residual será atenuado com a inserção de uma proteção de acrílico junto a esteira, que será visto na seção 4.3.

Figura 24 – Simulação de material da cortina



Fonte: Autor (2021)

Por fim, foi feito o cálculo de velocidade do motor em RPM, baseado nos resultados anteriores, e se utilizando da equação 22.

$$Vel = \frac{v}{2 \times \Pi \times R} \times 60 \quad (22)$$

onde:

Vel é Velocidade em RPM;

v é Velocidade em m/s;

R é raio da polia;

Aproveitando as informações do motor na seção 3.1.4, iremos utilizar os seguintes dados:

$$v = 0,15 \text{ m/s}$$

$$R = 0,0405 \text{ m}$$

Substituindo os valores na equação 23, temos:

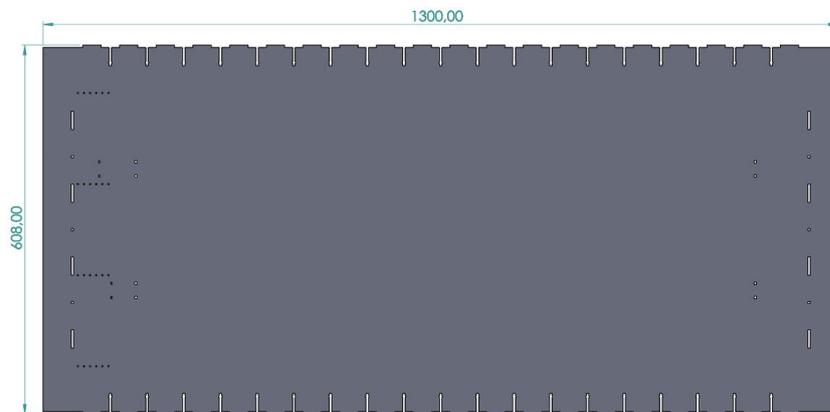
$$Vel = \frac{0,15}{2 \times \Pi \times 0,04025} \times 60 = 35,58 \text{ RPM} \quad (23)$$

4.3 Montagem do túnel com caixa de supermercado

Devido a impossibilidade de montagem física a simulação da montagem foi feita no software SolidWorks, o desenvolvimento do túnel foi feito paralelamente com as simulações das lâmpadas.

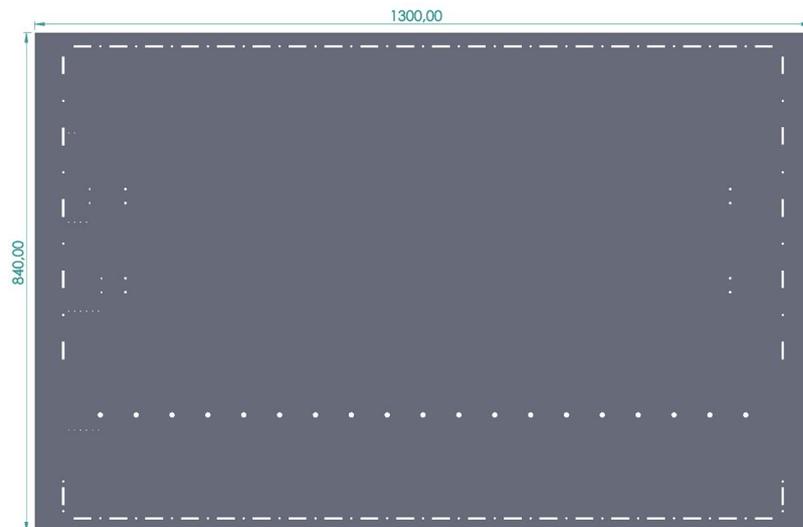
O túnel possui como base central pares de 2 peças, representadas pelas figuras 25 e 26 que possuem 4mm de espessura, onde irão se unir através de encaixes definidos em sua construção. Além de 76 parafusos M3x30mm hexagonais, 76 porcas M3 e 76 arruelas M3.

Figura 25 – Peça Horizontal



Fonte: Autor (2021)

Figura 26 – Peça Vertical



Fonte: Autor (2021)

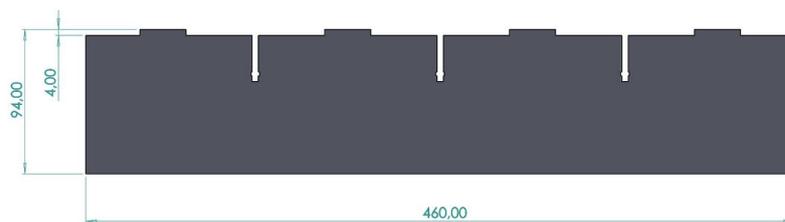
Este layout de furos e rasgos ao longo das peças foram feitos para poder acomodar os soquetes das lâmpadas (que serão vistos na seção 3.1.3), ordenação dos cabos, furos para fixação do conjunto junto a base da esteira e peças de bloqueio de exposição das lâmpadas (para proteção dos clientes e funcionários próximos ao túnel, sendo 4 verticais, figura 27, 2 horizontais superiores, figura 28 e 2 horizontais inferiores, figura 29).

Figura 27 – Peça vertical Block de Irradiação



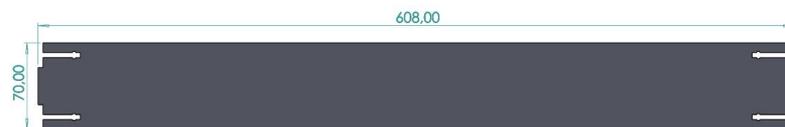
Fonte: Autor (2021)

Figura 28 – Peça horizontal superior Block de Irradiação



Fonte: Autor (2021)

Figura 29 – Peça horizontal inferior Block de Irradiação

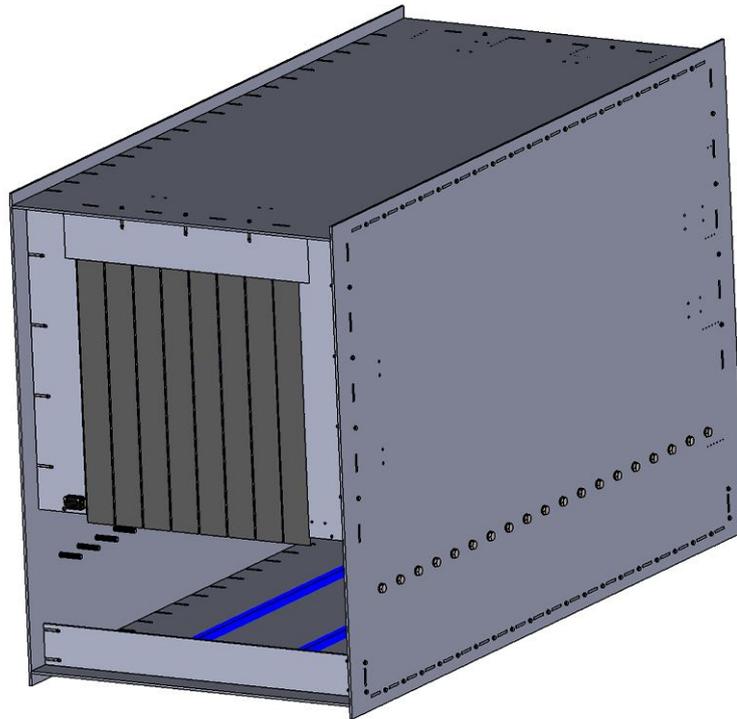


Fonte: Autor (2021)

Todos esses conjuntos citados de block serão fixados junto ao túnel, serão necessários 30 parafusos M3x30 mm hexagonais, 30 porcas M3 e 30 arruelas M3. As peças verticais de block irradiação servirão também como base de fixação para os sensores de laser (que foram vistos no item 2) e as peças horizontais superiores de block irradiação servirão também como base de fixação para as cortinas anti-irradiação.

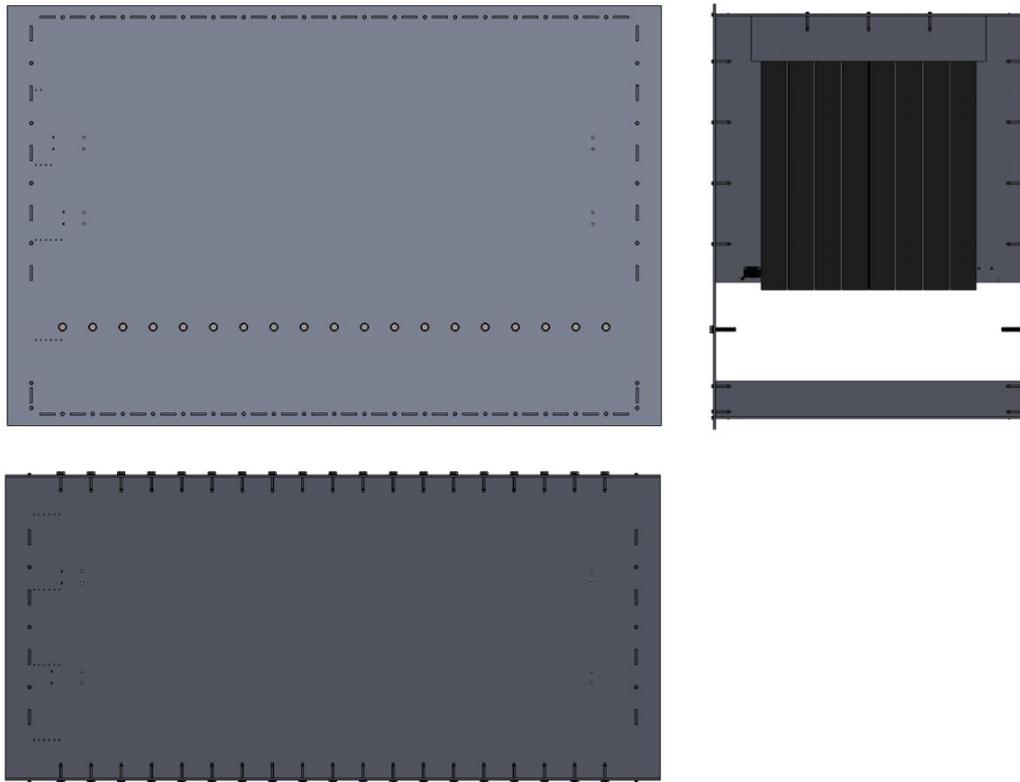
Com todas as peças modeladas, montamos o túnel conforme mostra as figuras 30 e 31.

Figura 30 – Modelo do Túnel no CAD



Fonte: Autor (2021)

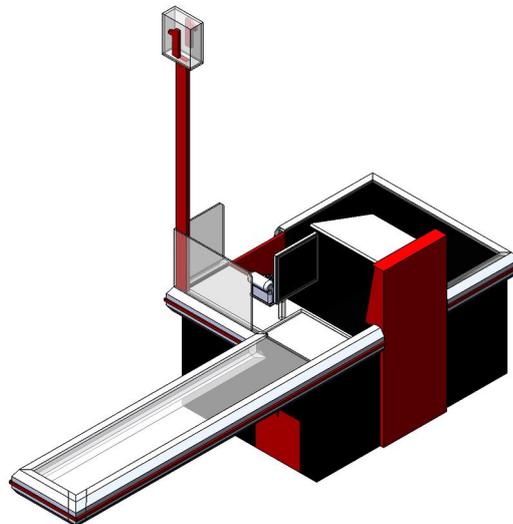
Figura 31 – Modelo do Túnel no CAD - 3 Vistas



Fonte: Autor (2021)

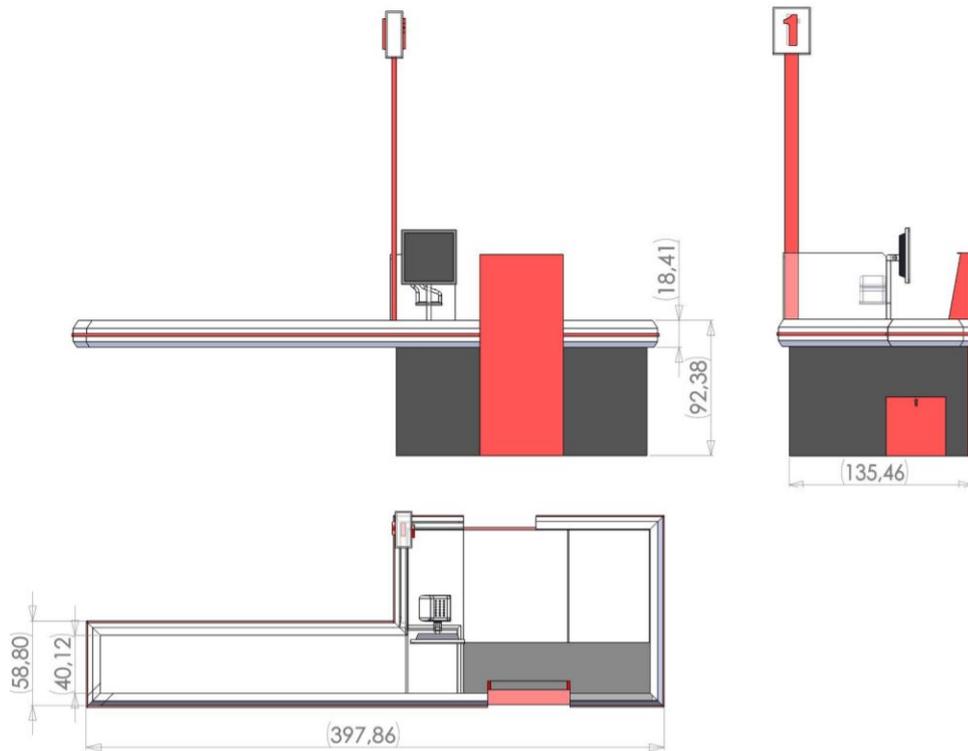
Com o túnel feito, foi escolhido um caixa de supermercado padrão (SATVILKAR, 2017) que é demonstrado na figura 32. As medidas do caixa (em cm) estão representados na figura 33.

Figura 32 – Caixa de supermercado



Fonte: Satvilkar (2017)

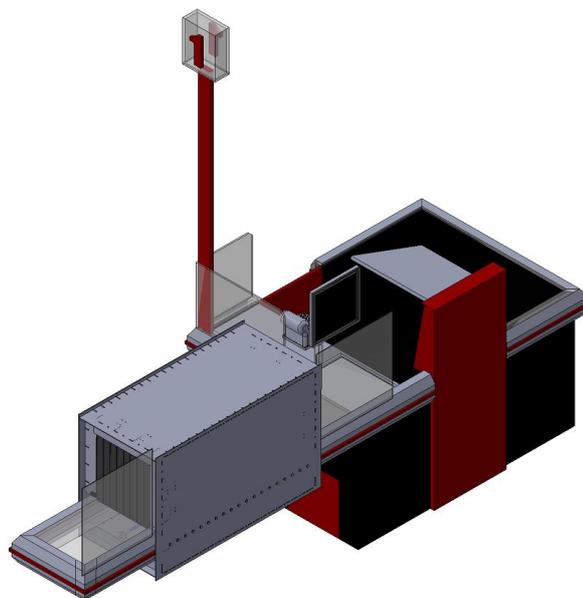
Figura 33 – Medidas do caixa



Fonte: Satvilkar (2017)

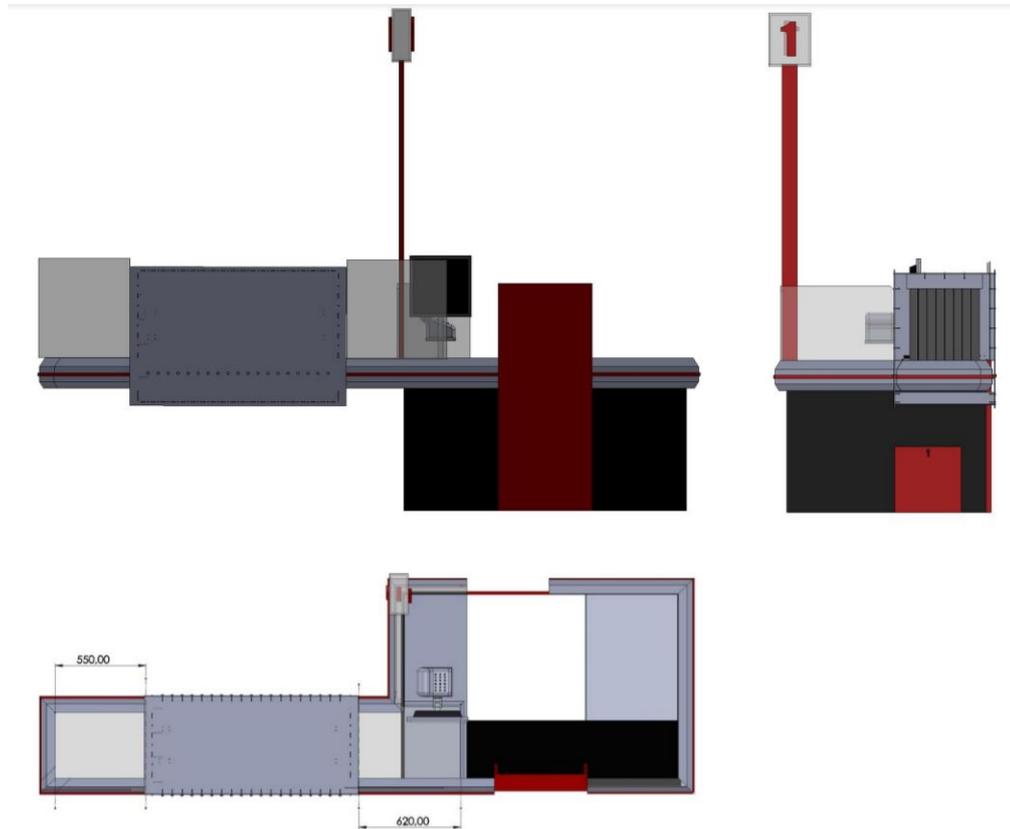
Posteriormente foi feita a montagem dos dois blocos (túnel e caixa de supermercado), conforme ilustrado nas figuras 34 e 35.

Figura 34 – Montagem túnel com caixa de supermercado - Vista Panorâmica



Fonte: Autor (2021)

Figura 35 – Montagem túnel com caixa de supermercado - 3 Vistas



Fonte: Autor (2021)

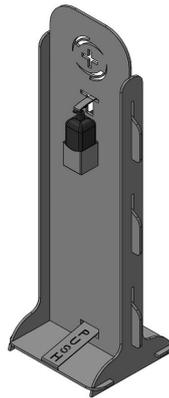
O túnel possui furos de 9 mm em suas 2 laterais conforme visto na figura 26, que são os pontos de ancoragem junto à carcaça do caixa/esteira, se utilizando de parafusos M8x15 mm hexagonais e 38 porcas e arruelas M8 é feita a fixação.

Após a montagem, o cliente possuirá 55 cm de espaço para colocar um produto e o operador possuirá cerca de 60 cm entre seu espaço e o final do túnel, além de ter uma proteção de acrílico lateral junto à base da esteira para atenuar a irradiação no lado que irá passar os consumidores.

4.3.1 Totem de álcool em gel

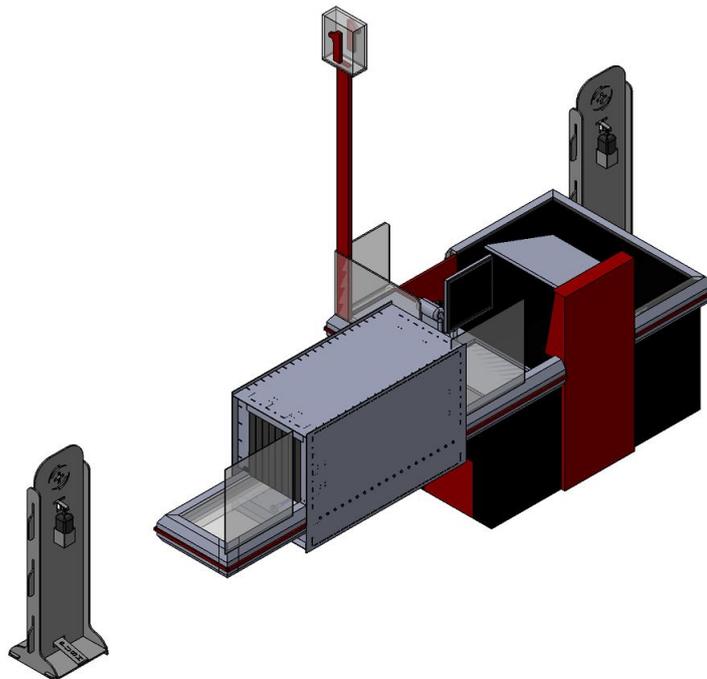
Foram colocados 2 totens de álcool em gel no processo, conforme na figura 36. O primeiro irá ficar na entrada da esteira e o segundo junto ao depósito dos produtos já processados pelo caixa, representado na figura 37.

Figura 36 – Totem para higienizador de mãos com pedal



Fonte: Sinan (2020)

Figura 37 – Montagem túnel com caixa de supermercado com totem



Fonte: Autor (2021)

4.4 Montagem da parte eletrônica

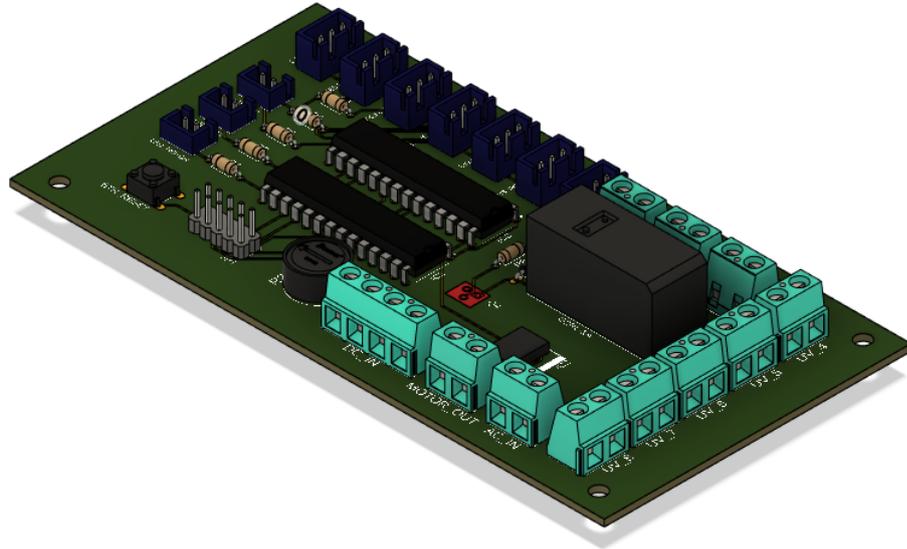
Nos anexos estarão todos os esquemáticos, layouts 2D e 3D das placas mencionadas, estão divididos por:

- a) Placa de controle
 - Anexo .1: Esquemático
 - Anexo .2: Layout 2D
 - Anexo .3: Layout 3D
- b) Placa de alimentação
 - Anexo .4: Esquemático
 - Anexo .5: Layout 2D
 - Anexo .6: Layout 3D
- c) Placa LCD
 - Anexo .7: Esquemático
 - Anexo .8: Layout 2D
 - Anexo .9: Layout 3D

4.4.1 Placa de controle

A placa de controle, figura 38, utiliza dois microcontroladores ATMEGA 328, sendo que um controla a lógica responsável pela interpretação dos sensores e pelo esforço de controle e o outro microcontrolador opera o display LCD. O motivo em utilizar dois microcontroladores se dá pelo fato de um microcontrolador não possuir pinos I/O suficientes para cuidar da leitura de sensores, controlar os atuadores e o display LCD. Uma alternativa para esse problema seria utilizar o microcontrolador do Arduino MEGA (ATMEL 2560) que possui pinos I/O suficientes, porém o custo de empregá-lo no projeto seria maior que o custo de empregar dois ATMEGA 328.

Figura 38 – Placa de controle



Fonte: Autor (2021)

Podemos dividir a placa de controle em seções, são elas:

- a) Controle do motor
- b) Controle das lâmpadas UV-C
- c) Controle do display LCD
- d) Saída dos LEDs
- e) Entradas
- f) Entrada de energia

CONTROLE DA MOTO-POLIA:

Para tal, utilizamos o dispositivo TLE 5205-2 fabricado pela Infineon. É uma ponte H que serve pra fazer a interface entre o microcontrolador e a moto-polia.

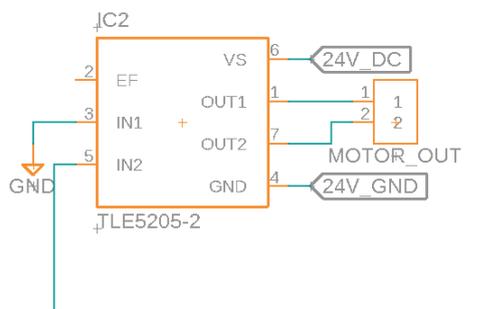
Para a escolha desse componente foram utilizados alguns critérios tais como tensão máxima de operação e corrente máxima de saída, dado que a maioria das ponte H disponíveis no mercado operam com corrente menor que a requisitada pela moto-polia utilizada. A tensão de operação da moto-polia é de $V = 24VDC$, a potencia nominal é de $P = 0,44KW$, a corrente nominal de operação pode ser achada através do uso da formula de potência.

$$I = \frac{P}{V} \quad (24)$$

$$I = \frac{44}{24} = 1,833A \quad (25)$$

O esquema elétrico do componente é ilustrado na figura 39 e as características fornecidas no folheto do fabricante da ponte H são ilustradas na figura 40.

Figura 39 – Esquema elétrico do componente TLE 5205-2



Fonte: Autor (2021)

Figura 40 – Datasheet do componente TLE 5205-2 (Ponte H)

3 Electrical Characteristics

3.1 Absolute Maximum Ratings

$-40\text{ }^{\circ}\text{C} < T_j < 150\text{ }^{\circ}\text{C}$

Parameter	Symbol	Limit Values		Unit	Remarks
		min.	max.		

Voltages

Supply voltage	V_S	-0.3	40	V	-
		-1	40	V	$t < 0.5\text{ s}; I_S > -5\text{ A}$
Logic input voltage	$V_{IN1,2}$	-0.3	7	V	$0\text{ V} < V_S < 40\text{ V}$
Diagnostics output voltage	V_{EF}	-0.3	7	V	-

Currents of DMOS-Transistors and Freewheeling Diodes

Output current (cont.)	$I_{OUT1,2}$	-5	5	A	-
Output current (peak)	$I_{OUT1,2}$	-6	6	A	$t_p < 100\text{ ms}; T = 1\text{ s}$
Output current (peak)	$I_{OUT1,2}$	-	-	A	$t_p < 50\text{ }\mu\text{s}; T = 1\text{ s};$ internally limited; see overcurrent

Fonte: Autor (2021)

CONTROLE DAS LÂMPADAS UV-C:

Primeiramente foi feito o cálculo da corrente total consumida pelos reatores, utilizando as informações fornecidas na tabela 8.

Tabela 8 – Especificações técnicas dos reatores Phillips TUV 180W XPT lamp driver

Descrição	Valor
Tensão nominal	110 - 277 V (AC)
Potência nominal	180W
Corrente	1,9 A (120 V) 0,8 A (277V)
Eficiência	>93%

Fonte: Phillips, 2021

O cálculo da corrente total foi feito para a tensão de alimentação especificada pelo projeto de $V = 220V(AC)$, levando em conta parâmetros de potência, eficiência e quantidade total de 8 reatores, conforme mostrado na fórmula 26.

$$P = \frac{180 \times 100}{93} = 193,55W \quad (26)$$

Com a potência corrigida podemos calcular a corrente total consumida pelos 8 reatores, utilizando a fórmula da potência e multiplicando por 8 (número de reatores) conforme mostrado na fórmula 27.

$$P = \frac{8 \times 193,55}{220} = 7,1A \quad (27)$$

Para ligar o conjunto dos 8 reatores utilizamos um relé que é operado pelo microcontrolador através de um transistor, que funciona como chave. O relé utilizado é do modelo G2RL-1A feito pela OMRON, suas características técnicas são exibidas na tabela 9.

Tabela 9 – Especificações técnicas do relé G2RL-1A

Descrição	Valor
Tensão da bobina	5V (DC)
Consumo da bobina	80mA
Resistência da bobina	62,5 Ω
Tensão no contato	250VAC
Corrente no contato	12A

Fonte: OMRON (2021)

O transistor escolhido para chavear o funcionamento foi o BC547, que possui as características indicadas na tabela 10.

Tabela 10 – Especificações técnicas do transistor BC547

Descrição	Valor
Corrente de coletor máxima (I_c)	100mA
Tensão emissor-coletor (V_{ce})	45V
Tensão base-emissor máxima (V_{be})	0,7V
Ganho Beta mínimo (β)	110
Ganho Beta típico (β)	180
Ganho Beta máximo (β)	220

Fonte: RECTRON

Para terminar a interface feita, foi calculado o resistor que conecta a base do transistor ao pino do microcontrolador, conforme mostrado na fórmula 28.

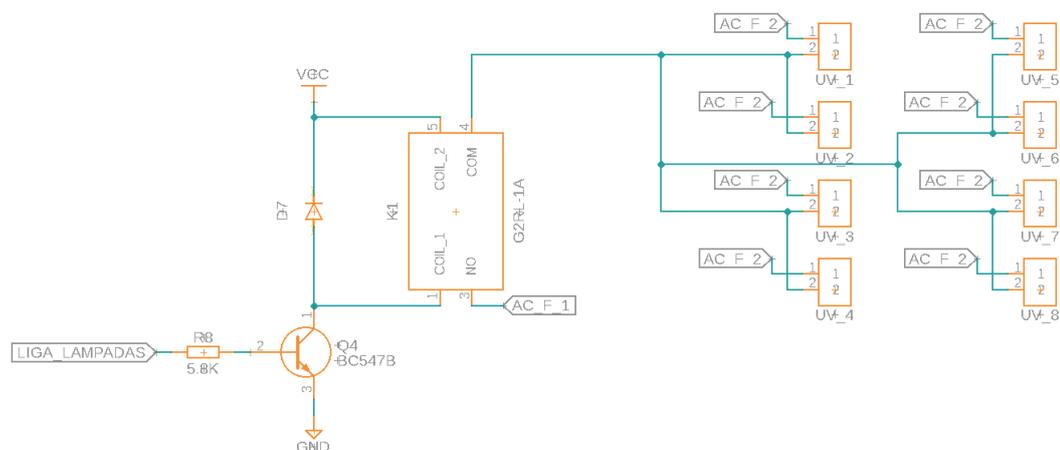
$$R = \frac{(V_s - V_{be}) \times \beta}{I_c} \quad (28)$$

Onde V_s é a tensão de alimentação do relé e I_c a corrente de alimentação de sua bobina. O valor do resistor (adaptado para os valores comerciais) foi calculado conforme ilustrado no cálculo 29.

$$R = \frac{(5 - 0,7) \times 110}{0,08} = 5800\Omega \quad (29)$$

A interface feita é ilustrada na figura 41 e a conexão com as lâmpadas se dá por conectores de 2 vias, onde será parafusado o par de fios de alimentação dos reatores utilizados.

Figura 41 – Transistor e relé controladores das lâmpadas

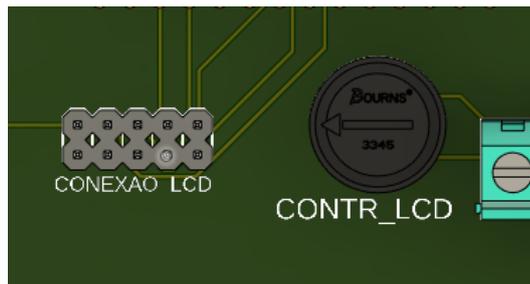


Fonte: Autor (2021)

CONTROLE DO DISPLAY LCD:

O display LCD de 16 colunas e 2 linhas a ser utilizado é fabricado pela Tuxgraphics, ele é externo à placa de controle. Sendo que na própria placa de controle ele possui um potenciômetro para o controle do contraste da tela e um conector, conforme ilustrado na figura 42.

Figura 42 – Conector e potenciômetro exibidos na placa

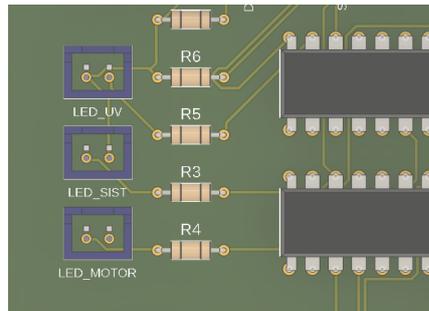


Fonte: Autor (2021)

SAÍDA DOS LEDS:

Os LEDs indicam ao usuário se o sistema encontra-se ligado e se o motor e as lâmpadas UV-C estão ativos. São conectados à placa mãe através de conectores de duas vias, conforme ilustrado na figura 43.

Figura 43 – Conectores dos três leds utilizados.



Fonte: Autor (2021)

ENTRADAS:

As entradas da placa de controle são os sensores e botões do sistema, suas conexões com a placa serão feitas através de conectores de 3 vias, onde temos:

a) Sensores piezo elétricos:

Irão detectar quando o usuário pisar no totem de álcool em gel, o sensor funciona em conjunto com uma placa de interface, conforme ilustrado na figura 44.

Figura 44 – Sensor piezo-elétrico e interface



Fonte: Auto Core Robótica (2021)

b) Sensores de passagem:

Para detectar a passagem dos produtos na entrada e saída do tunel serão utilizados os sensores fotoelétricos Metaltex PAB-5MDP. O sensor é ilustrado na figura 45.

Figura 45 – Sensor fotoelétrico Metaltex PAB-5MDP

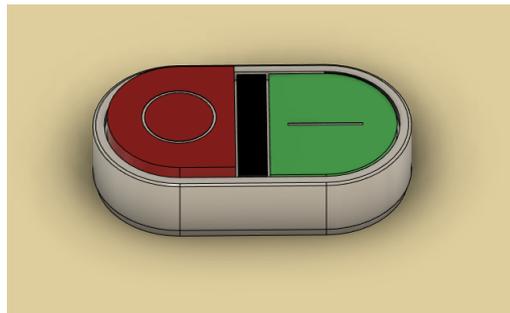


Fonte: ELETROPEÇAS (2021)

c) Botão de liga e desliga da moto-polia.

Servem para dar início ao processo de esterilização do produto, são ilustrados na figura 46

Figura 46 – Botão de liga e desliga

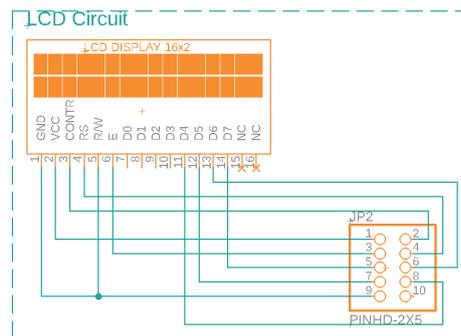


Fonte: Autor (2021)

4.4.2 Placa do display LCD

A placa do display LCD foi desenvolvida separada da placa de controle para que ela possa ser posicionada em um lugar de fácil visualização do usuário. A placa, em si, possui somente dois componentes: o próprio display e um conector para comunicação com a placa de controle, conforme ilustrado na figura 47.

Figura 47 – Esquemático do display LCD



Fonte: Autor (2021)

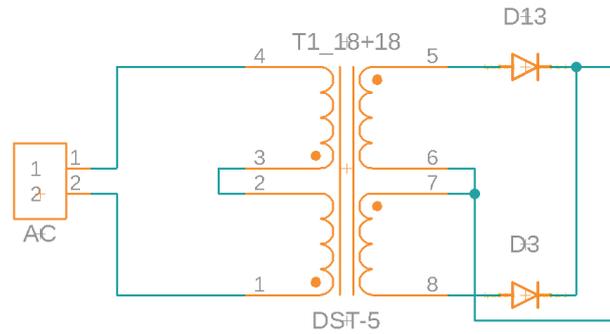
4.4.3 Placa de alimentação

Foi desenvolvida uma placa que fornece a alimentação para as outras placas e a moto-polia utilizadas. A nossa fonte fornece 24V DC para a moto-polia e para os sensores de passagem do produto. Fornece também 5V DC para o resto da placa de controle e da placa do display LCD.

Ela utiliza um transformador 220V/18V+18V, onde no enrolamento secundário foi feita uma retificação com dois diodos utilizando center-tap, conforme ilustrado na figura 48.

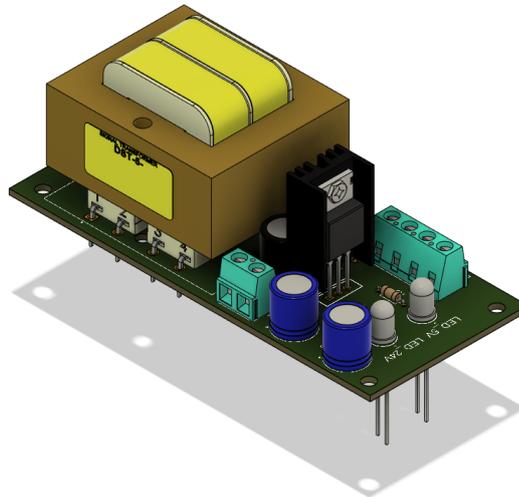
Foi utilizado o regulador de tensão LM7805 para fornecer 5V DC em conjunto com um filtro de capacitor. Para indicar o funcionamento das linhas de 24V e de 5V, a placa conta com dois LEDs indicativos do funcionamento. A vista geral da placa é ilustrada na figura 49.

Figura 48 – Esquema elétrico da placa de alimentação



Fonte: Autor (2021)

Figura 49 – Vista geral da placa de alimentação



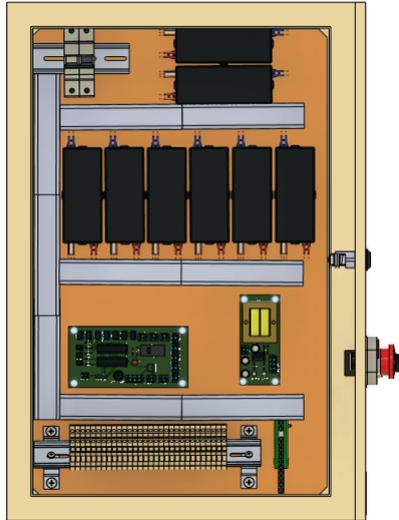
Fonte: Autor (2021)

4.5 Montagem do painel elétrico

O painel foi desenvolvido para comportar os reatores, placa de controle, placa de alimentação, disjuntores, botões e possui dispositivos que auxiliam na ligação entre os componentes, tais como calhas e bornes de ligação.

Ele foi inicialmente projetado no SolidWorks e foi finalizado no Fusion 360 com a inserção das placas de controle e alimentação. As figuras 50 e 51 ilustram ele pronto.

Figura 50 – Vista frontal do painel elétrico



Fonte: Autor (2021)

Figura 51 – Vista da lateral direita do painel elétrico



Fonte: Autor (2021)

Conforme no anexo .13 pode-se visualizar as dimensões do painel.

O painel pode ser separado em sessões, onde cada uma será detalhada.

a) Painel Elétrico:

O painel elétrico utilizado para a montagem com conjunto possui 600 mm de comprimento, 400 mm de largura e 250 mm de profundidade, com pintura eletrostática em toda sua carcaça e bandeja interna de fixação. A bandeja de fixação

possui medida de 152 mm de comprimento e 905 mm de comprimento, tendo como principal função fornecer a área útil de fixação dos componentes internos.

b) Eletrocalha:

A calha plástica tem como principal função efetuar a organização dos fios e cabos destinados as conexões e interligações elétricas do projeto, com 23,6 mm de altura e 27 mm de largura para a passagem dos condutores, sendo um total de nove calhas.

c) Reatores:

O reator elétrico tem como principal função produzir um impulso elétrico causando uma diferença de potencial nos receptáculos das lâmpadas, fazendo com que as mesmas gerem luz UVC, além disso, mantem a corrente elétrica de consumo necessária para o funcionamento dos dispositivos luminosos.

d) Disjuntor:

O disjuntor elétrico tem como principal função oferecer segurança aos dispositivos e condutores em casos de súbito de energia e sobrecargas elétricas, abrindo o circuito caso o valor da corrente seja expedito ao nominal. Com alimentação em 220Volts A.C., e, levando em consideração o consumo total do sistema, será utilizado um disjuntor bipolar de corrente nominal de x Amperes.

e) Trilho metálico:

O trilho metálico tem como função oferecer uma base de fixação para os bornes e disjuntor, com 34,5 mm de largura e comprimento ajustável para o encaixe de cada componente, totalizando duas peças.

f) Régua de Borne:

A régua de borne está disposta na parte inferior do painel, onde será responsável para realizar a conexão dos sinais externos com os internos, como alimentação elétrica, pulso dos sensores, comando da placa de controle e afins, totalizando 30 peças.

g) Régua de Aterramento:

Para garantir o sistema de aterramento do sistema, está localizado no canto inferior direito a régua de aterramento na cor verde, tendo como objetivo efetuar a interligação entre o cabo de aterramento do cliente e o sistema completo de esterilização.

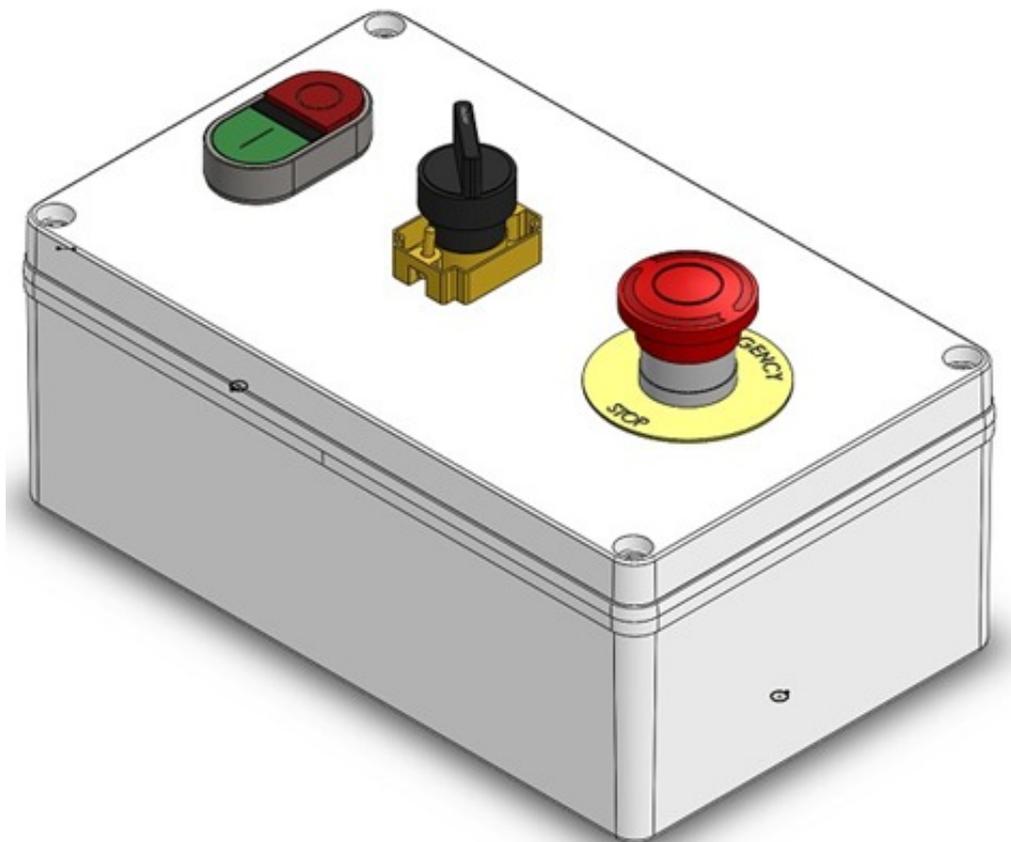
h) Botões de Comando:

Disposto de quatro botões de comando para enviar um pulso a placa de controle habilitando o funcionamento do equipamento, dentre eles iniciar, parar, emergência e autorização de funcionamento.

i) Caixa remota de comando:

Dispositivo externo, com objetivo de executar os comandos para o ciclo de esterilização, de uma forma mais prática para o operador, conforme mostra figura 52.

Figura 52 – Dispositivo de comando externo

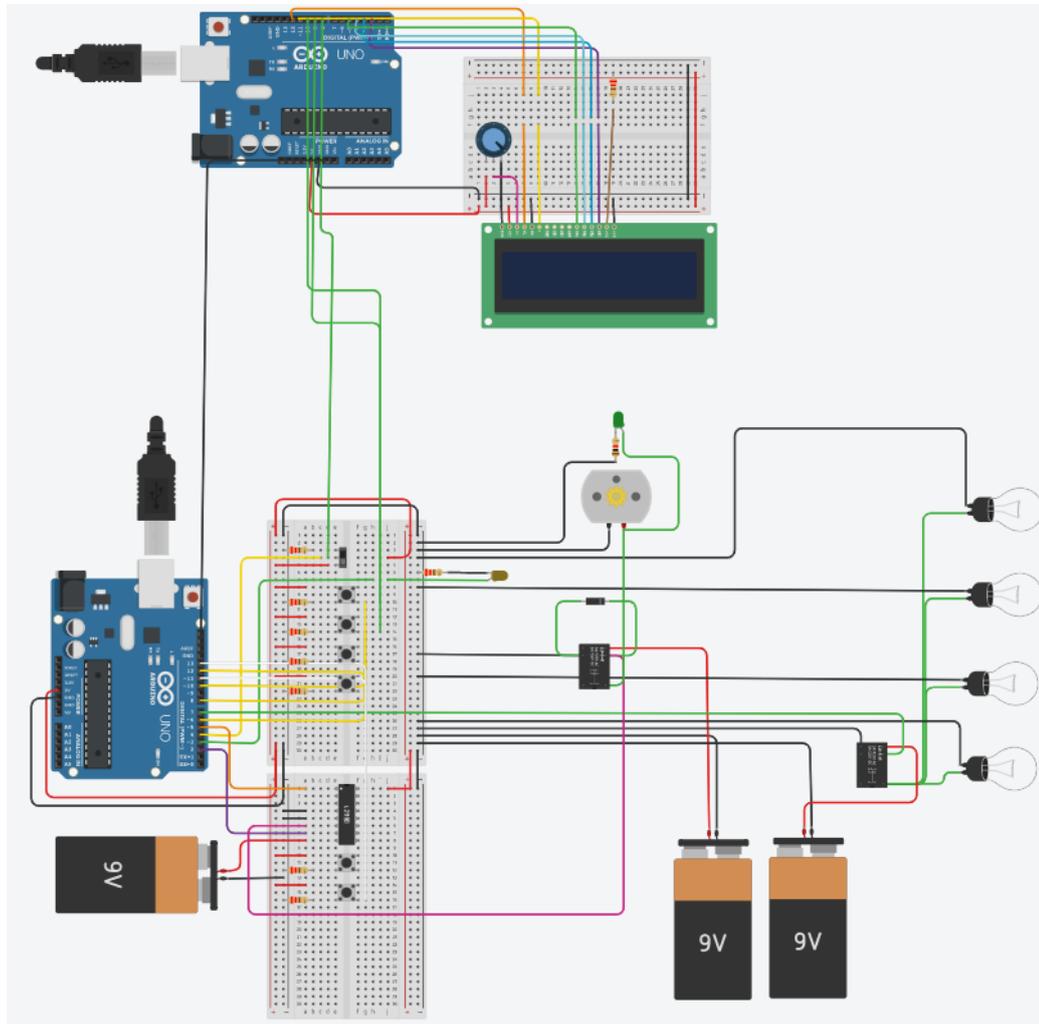


Fonte: Autor (2021)

4.6 Programação do sistema

Para que nosso túnel funcione da maneira adequada é necessário criar uma automação segura que seja capaz de garantir estabilidade ao sistema. Pensando nisso utilizaremos a linguagem C juntamente com a placa desenvolvida anteriormente e simularemos dentro do Tinkercad® para uma melhor visualização conforme a figura 53.

Figura 53 – Ambiente de simulação do projeto dentro do Tinkercad®



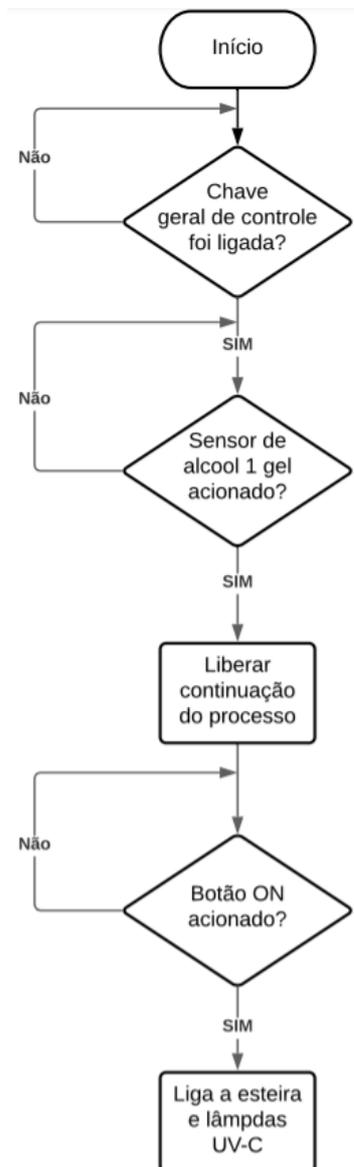
Fonte: Autor (2021)

O programa é relativamente simples, ele interpreta os sinais de entrada analógicos e digitais e proporciona uma saída condizente com a lógica. Optamos por dividi-lo em duas partes: uma apenas para o acionamento das lâmpadas, sensores, motor e botões e a outra parte foca no tratamento de mensagens no display LCD 16x2. Apresentaremos através do fluxograma de controle as etapas de maneira detalhada e o código desse processo poderá ser consultado no anexo .11.

Inicialmente é necessário programar a chave geral do nosso protótipo onde sem o acionamento dela não há a possibilidade das lâmpadas e dos motores funcionarem. Sem muitas dificuldades na primeira parte, agora é necessário atribuir a lógica de funcionamento do motor e dos reatores. Colocando as amarrações provindas da chave geral, do sensor de álcool em gel Nº1, do botão de liga e do botão de desliga foi utilizado o condicional "if" para garantir que

o motor e as lâmpadas só liguem atendendo a combinação dos elementos apresentados acima. Esse trecho do fluxograma pode ser ilustrado na figura 54 .

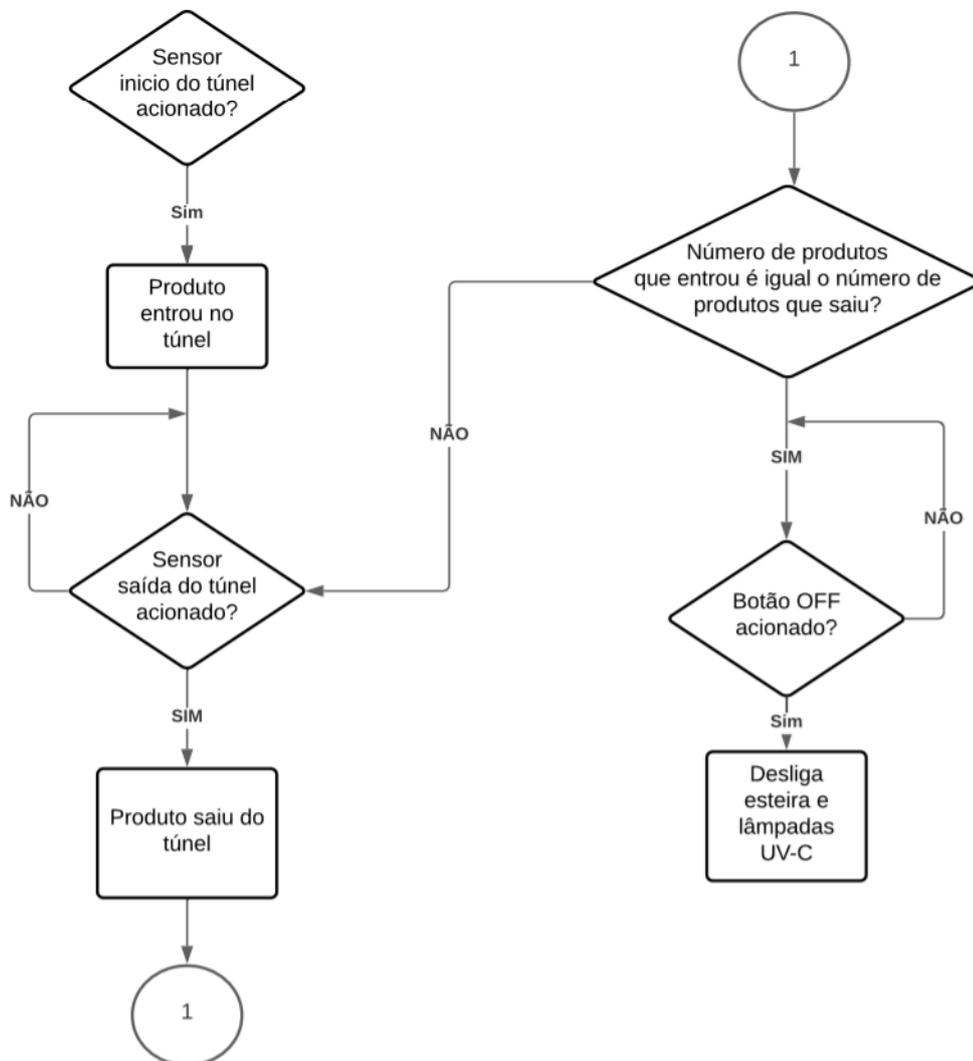
Figura 54 – Fluxograma representando a parte inicial do controle, ou seja, chave geral, sensor de álcool gel e botão ON



Fonte: Autor (2021)

Seguindo a sequencia de execução do programa, continuamos utilizando o "if" como ferramenta para gerar nossas condições de automação da esterilização. Na entrada e saıda do tnel foram instalados sensores 3pticos que ir3o funcionar como contadores dos produtos. Os desligamentos s3o ser3o permitidos uma vez que a quantidade de produtos na saıda for igual a quantidade de produtos na entrada, garantindo que todo elemento que entrou pelo tnel tenha sido esterilizado ilustrado na figura 55.

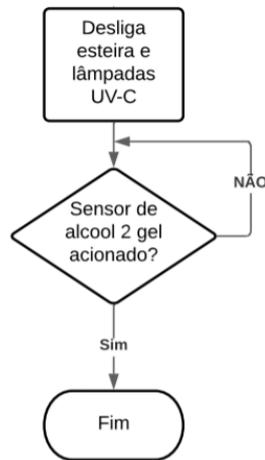
Figura 55 – Bloco respons3vel pela automação da esterilização, onde somente se ser3o dado como concluıdo se a quantidade de produtos da entrada for igual a quantidade de produtos da saıda



Fonte: Autor (2021)

A conclusão do processo completo se dará como finalizada quando o sensor de álcool gel Nº2 for acionado conforme figura 56.

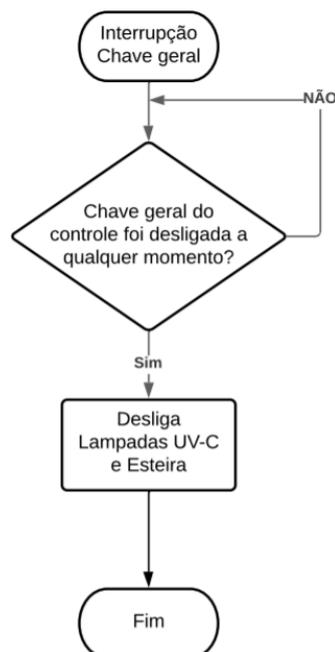
Figura 56 – Parte final do processo que contará com o acionamento do sensor no totem de álcool gel da saída da esteira.



Fonte: Autor (2021)

Para deixarmos o sistema mais seguro, foi inserido uma interrupção referente a posição da chave geral, onde uma vez que a mesma não estiver mais na posição de acionamento serão desligadas todas as lâmpadas e também o motor. Essa interrupção não zera os contadores anteriores conforme figura 57.

Figura 57 – Interrupção utilizando a chave geral.



Fonte: Autor (2021)

Partindo para a tratativas das mensagens que irão aparecer no LCD, utilizaremos as seguintes condições e textos:

- a) Ao ligar o sistema - Sistema ligado, esteira desligada
- b) Ao ligar o motor - Esteira ligada
- c) Ao ativar o sensor de entrada do túnel - Produto entrou
- d) Ao ativar o sensor de saída do túnel - Produto saiu
- e) Ao desligar o motor - Fim da esterilização, obrigado!
- f) Ao desligar o sistema - Sistema desligado

Seguiremos com um algoritmo padrão para esse tipo de situação que possui todas as configurações necessárias para exibição das mensagens conforme exemplo da figura 58. Esse também pode ser encontrado no fim desse documento no apêndice .12.

Figura 58 – Exibição de uma das mensagens considerada em nossos sistema.



Fonte: Autor (2021)

5 CONCLUSÕES

O projeto inteiro foi idealizado para se tornar um protótipo físico em que se fosse possível realizar uma série de medições e testes envolvendo diversos tipos de situações, incluindo um possível teste com culturas bacterianas reais e o uso de um radiômetro para medição da radiação UV em diferentes pontos do equipamento. Porém, com a chegada da pandemia tivemos que nos adaptar e pensar qual seria o melhor caminho para se obter os resultados desejados de uma maneira plenamente satisfatória.

Medir a radiação nas superfícies dos produtos não era uma tarefa fácil pois os programas luminotécnicos mais tradicionais como Dialux e Relux não possuíam ferramentas dedicadas para o estudo de UV. As orientações foram em tentar medir apenas a intensidade de um conjunto de lâmpadas com potências semelhantes a da lâmpada UV-C escolhida em um ambiente similar ao túnel, mas isso não nos trazia dados concretos e suficientes para afirmar que nosso projeto estava realmente funcionando.

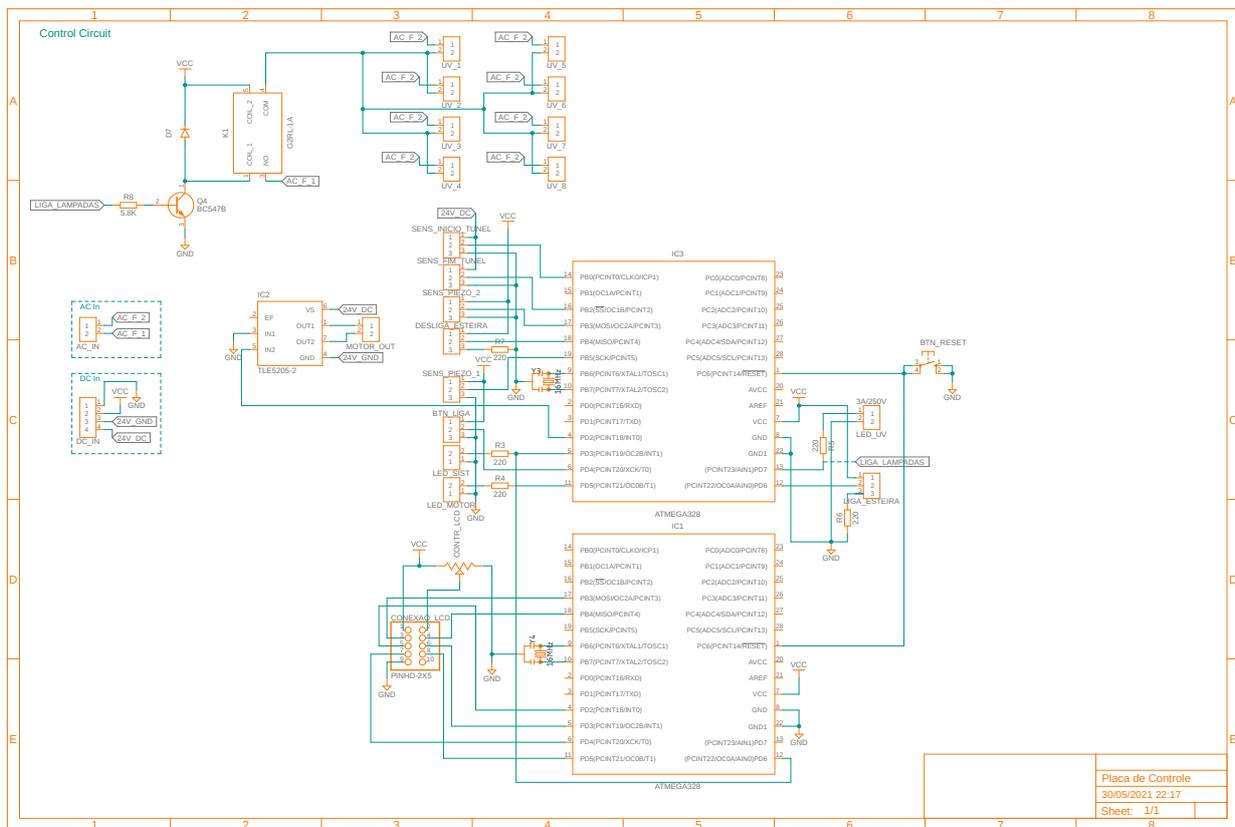
Foi então que depois de muitas pesquisas em diversos sites um programa chamado Photopia® poderia por fim ser a saída do nosso problema. A surpresa de ter um representante nacional de um software desconhecido acabou nos proporcionando mais segurança para uma possível obtenção da licença para utilização e continuação testes do projeto. A Lablux (representante em questão) se prontificou em nos atender assim que o primeiro contato foi feito e nos disponibilizou uma versão "trial" e nos explicou ainda que o Photopia® poderia ser utilizado como uma extensão no Solidworks (programa utilizado para modelar o projeto mecânico) e em um outro software chamado Rhino que possuía outras funções extras ideias para nosso protótipo. Com isso em mãos foi feita uma migração da estrutura do túnel para o Rhino e inserido todas as lâmpadas provindas de uma vasta bibliotecas de itens desse seguimento.

Os resultados obtidos nos agradaram e também nos proporcionou pensar em mudanças para a otimização do projeto, podendo ser diminuído o número de lâmpadas dentro do ambiente de esterilização. O erro de apenas 22,03% entre a irradiação média ao longo da lâmpada do valor teórico e simulado é aceitável, pelo fato de ter variáveis de temperatura, tempo de vida da lâmpada, umidade do local e reflexão interna do túnel, que só seriam possíveis ter uma exatidão com a utilização de um radiômetro, a simulação se mostrou confiável, se utilizando de parâmetros próximos da realidade, em composição de material do túnel, parafusos, soquetes de lâmpadas, esteira e produto. O controle do sistema apesar de simples se mostrou seguro e atendeu nossas expectativas. Foi pensando em separar o projeto em dois programas com cada

um em um controlador para um melhor diagnóstico em caso de falhas. Utilizando o ambiente virtual Tinkercad® da Autodesk foi possível adaptar e simular o funcionamento da esteira, dos sensores, dos botões de comando e também do display LCD para exibição de mensagens simples. A velocidade fixa do motor foi garantida com o uso de uma ponte H em conjunto com o algoritmo desenvolvido especificamente para o nosso projeto.

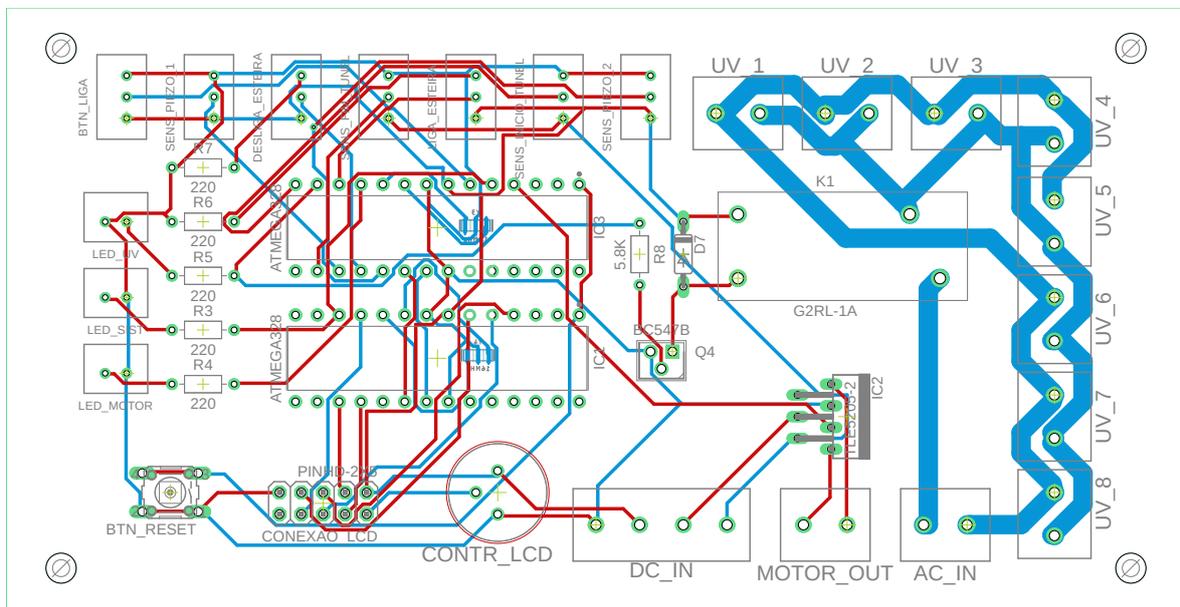
Apesar de termos conseguido alcançar os resultados buscados, gostaríamos de ter tido mais tempo para um desenvolvimento mais profundo e uma possível construção física do protótipo. Seria bem possível localizar falhas que ao nosso ver não são tão perceptíveis apenas com simulações virtuais. Outras otimizações também acabam ficando de fora tal como um processo de melhoria continua que buscaria sempre o melhor resultado, eficiência energética, usabilidade e custo de fabricação. Por fim, foi possível notar através da pesquisa de mercado como é importante o desenvolvimento dentro da área de esterilização de embalagens e superfícies. Esperamos ter conseguido atingir as expectativas da banca avaliadora e também ter contribuído com um trabalho que possa servir para as próximas gerações de formandos da FEI.

.1 Esquema elétrico da placa de controle



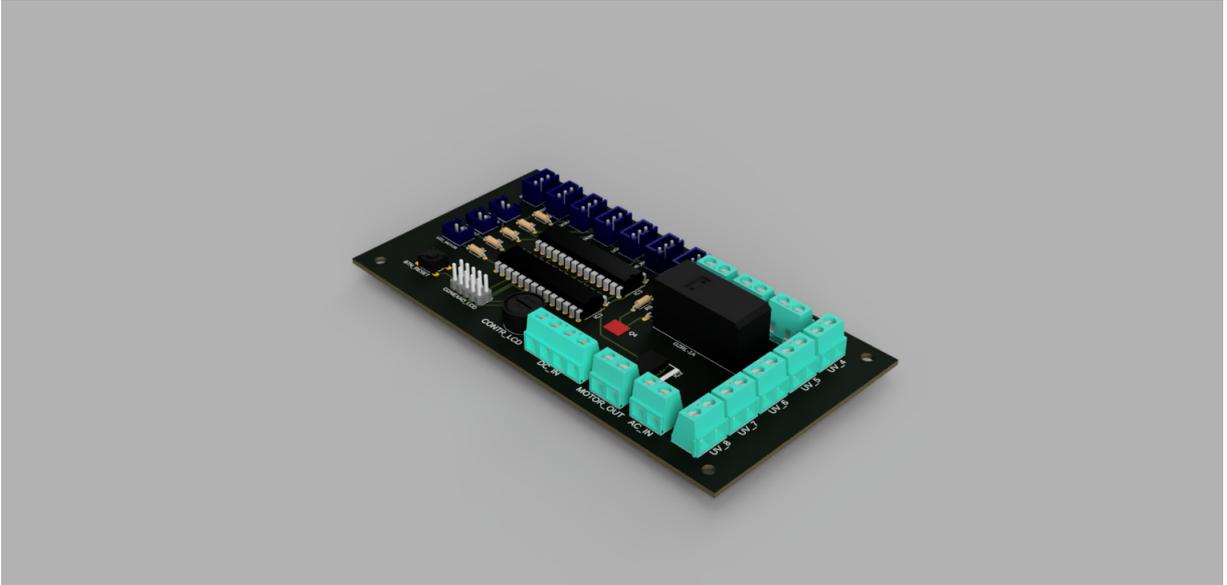
Placa de Controle	
30/05/2021 22:17	
Sheet:	1/1

.2 Layout 2D da placa de controle



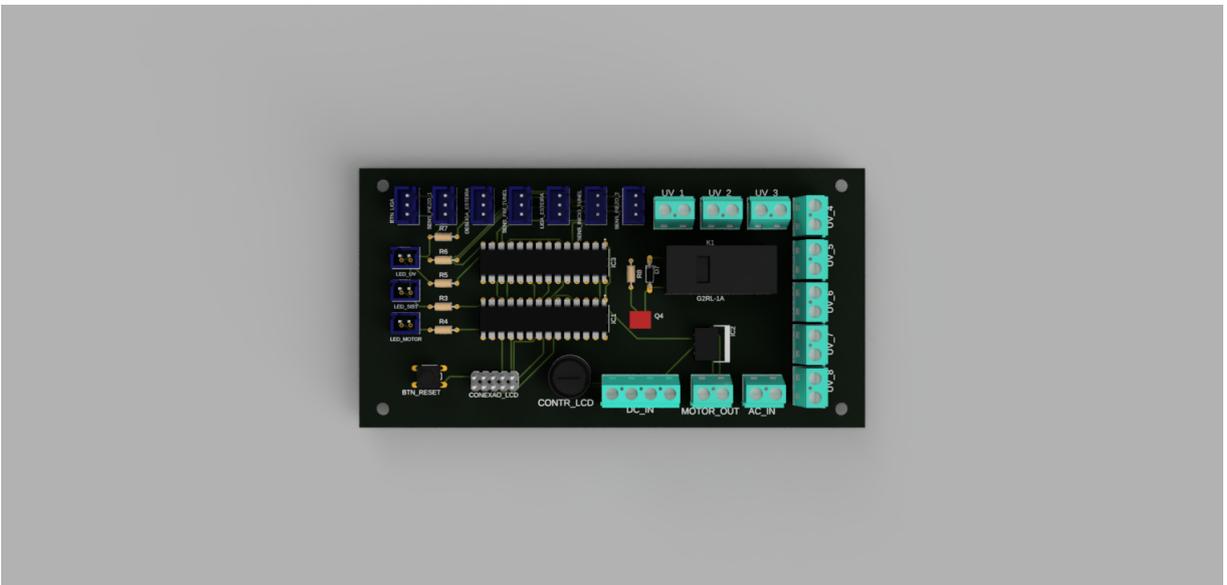
.3 Layout 3D da placa de controle

Figura 59 – Vista geral da placa de controle.



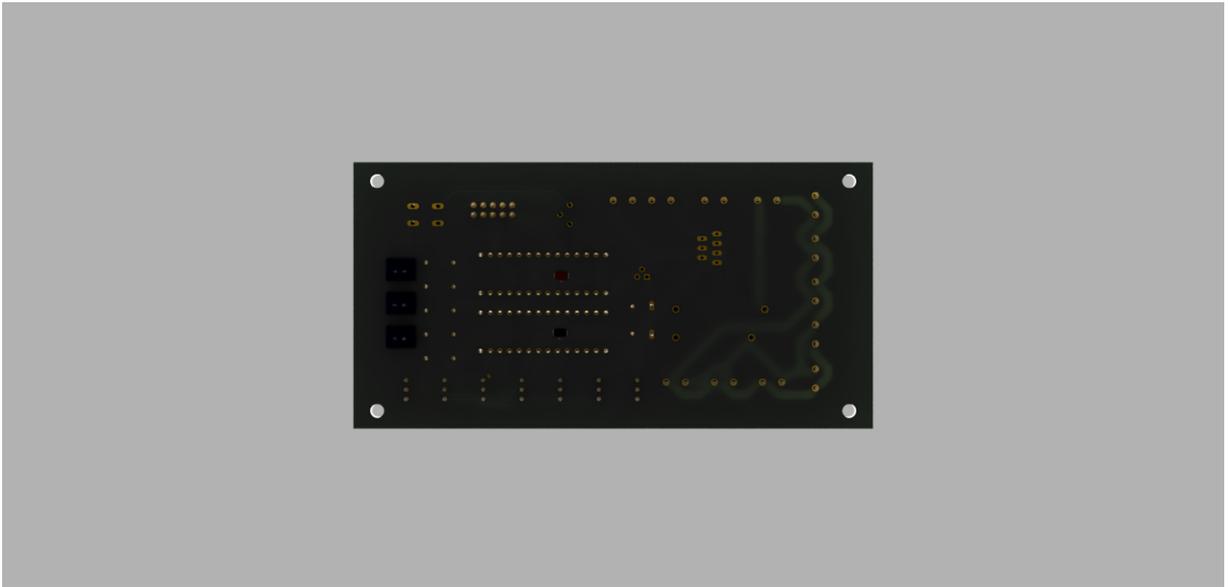
Fonte: Autor (2021)

Figura 60 – Vista de cima da placa de controle.



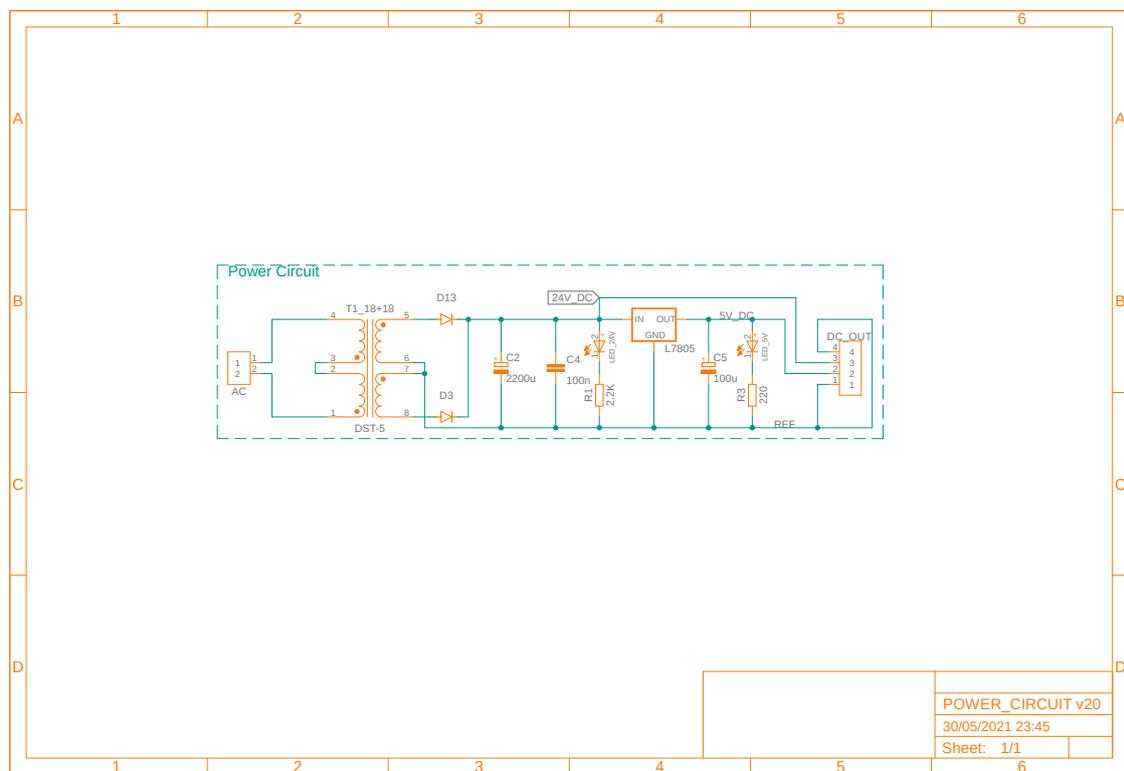
Fonte: Autor (2021)

Figura 61 – Vista de baixo da placa de controle.

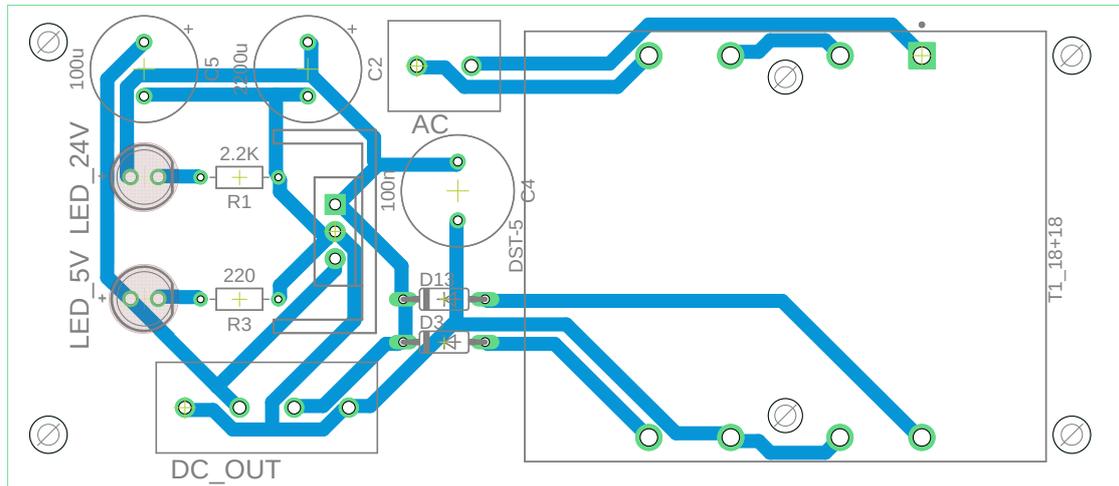


Fonte: Autor (2021)

.4 Esquema elétrico da placa de alimentação

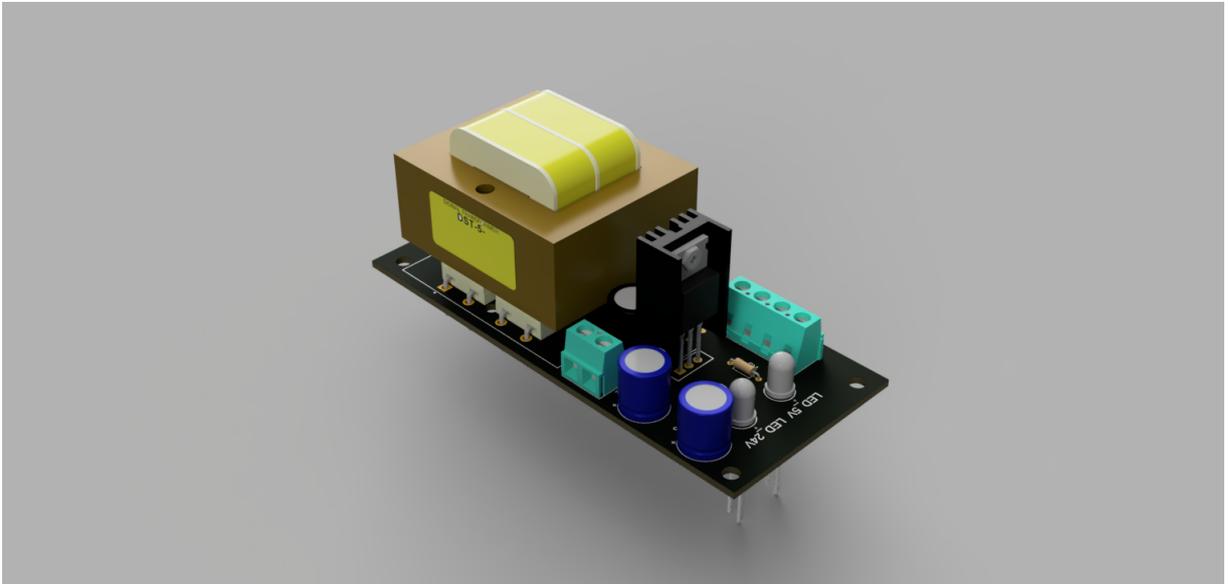


.5 Layout 2D da placa de alimentação



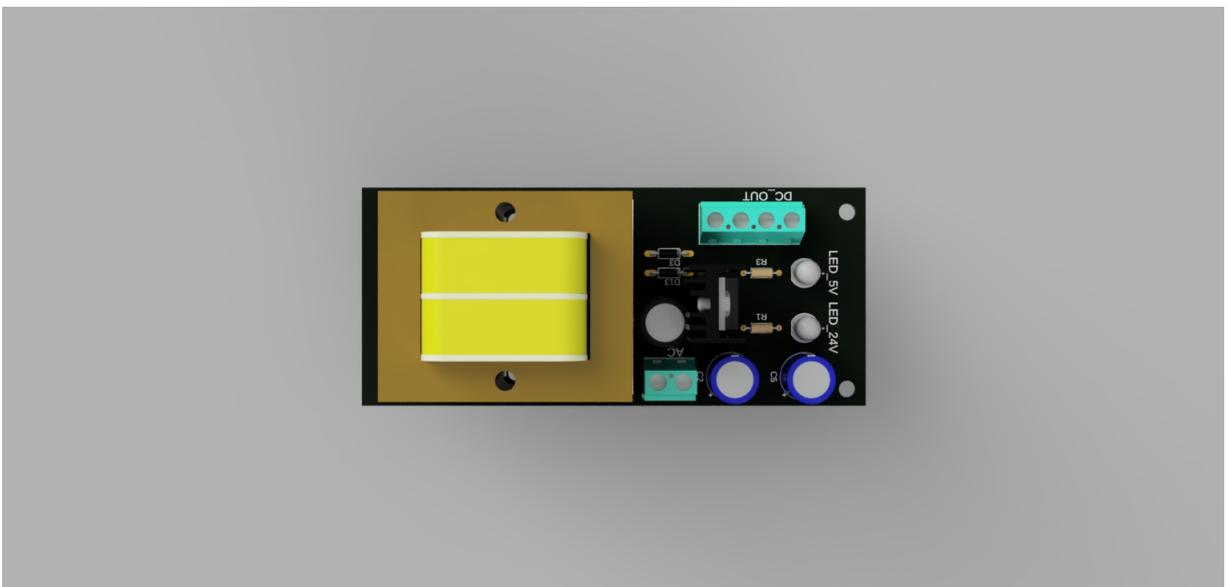
.6 Layout 3D da placa de controle

Figura 62 – Vista geral da placa de alimentação.



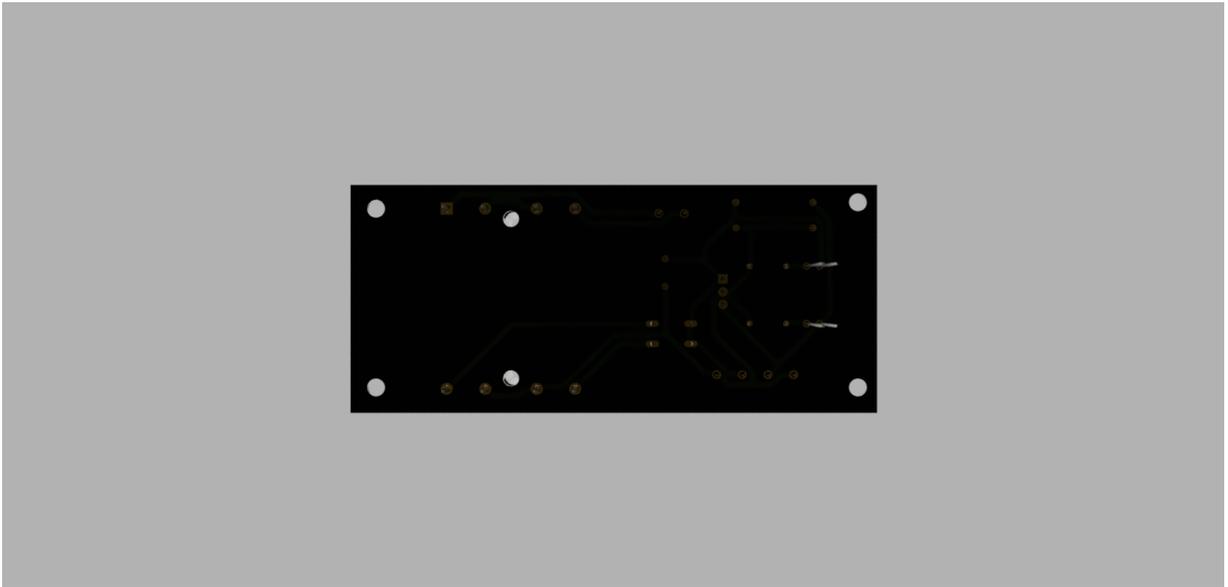
Fonte: Autor (2021)

Figura 63 – Vista de cima da placa de alimentação.



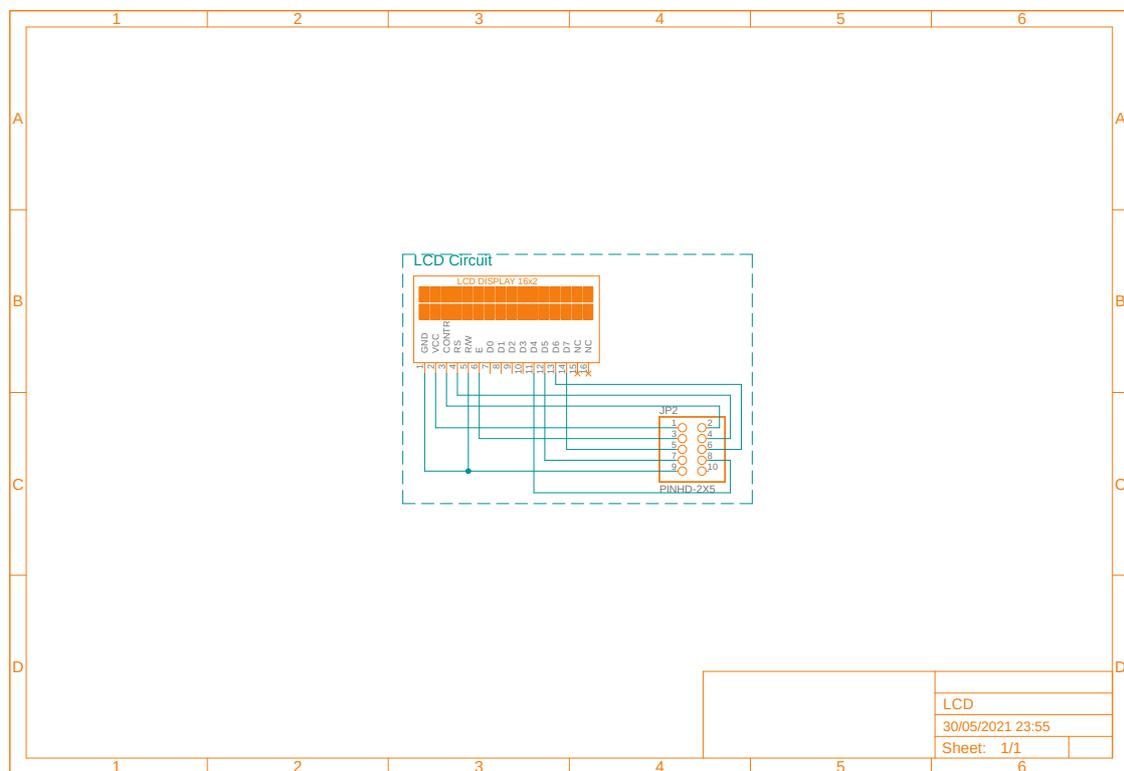
Fonte: Autor (2021)

Figura 64 – Vista de baixo da placa de alimentação.

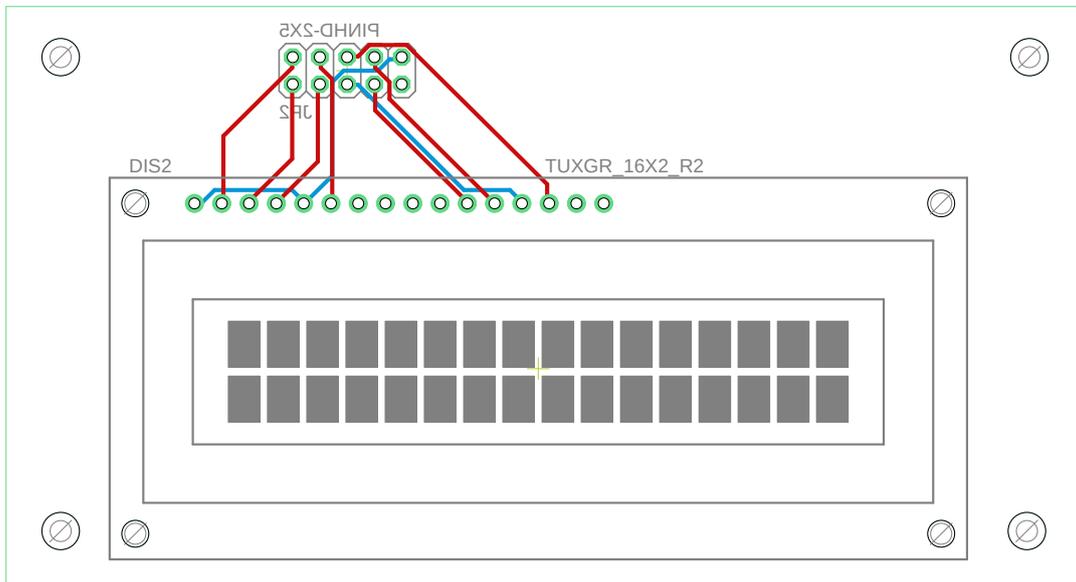


Fonte: Autor (2021)

.7 Esquema elétrico da placa LCD

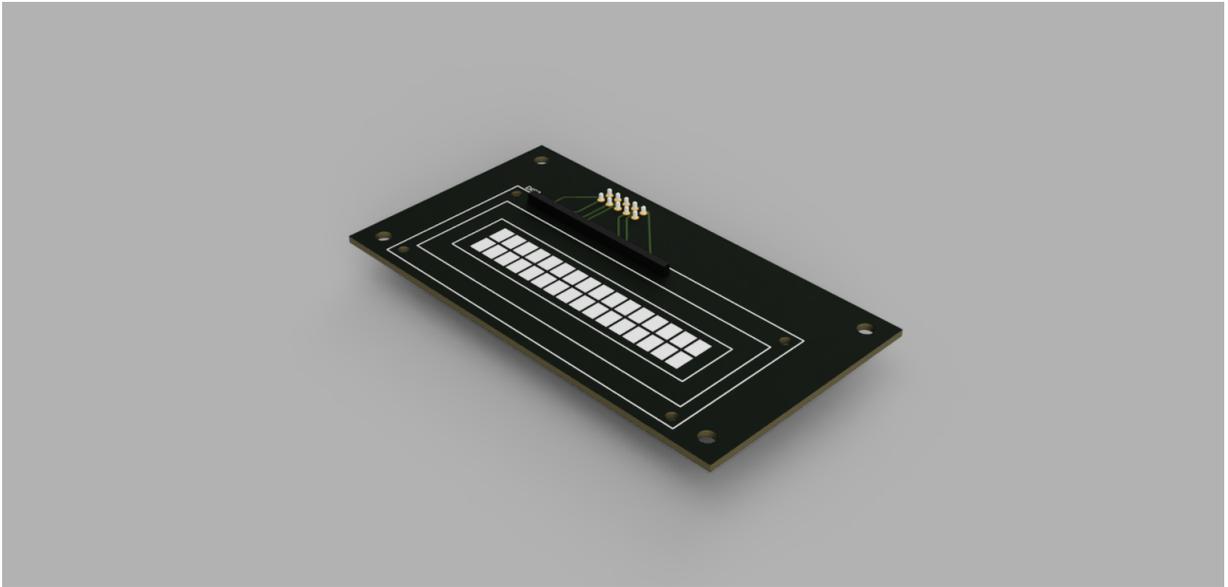


.8 Layout 2D da placa LCD



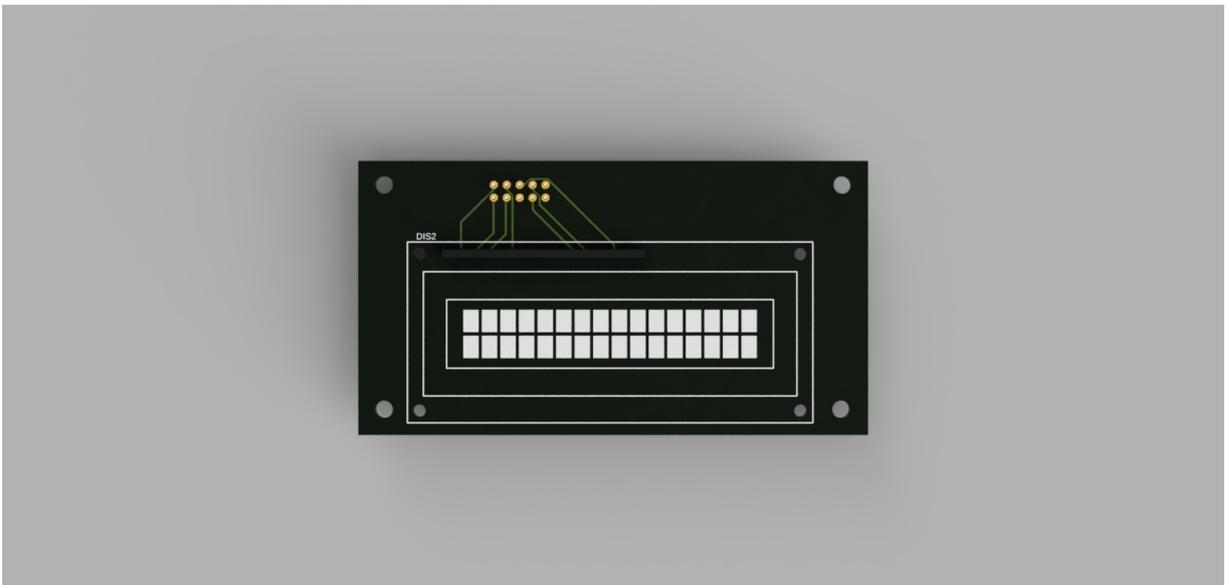
.9 Layout 3D da placa de controle

Figura 65 – Vista geral da placa LCD.



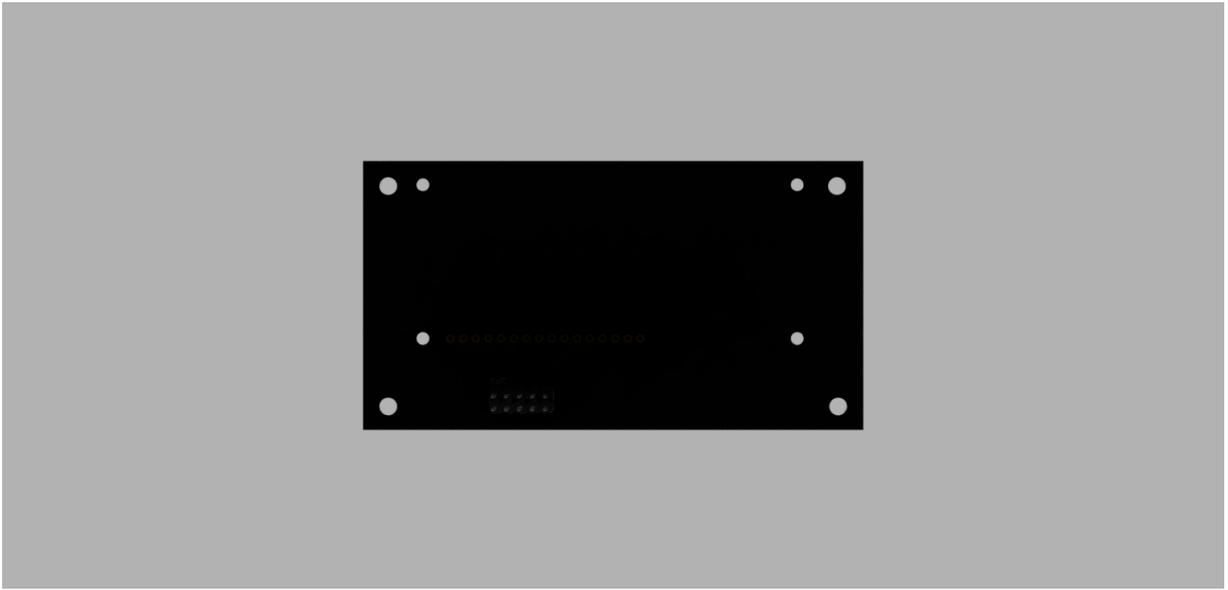
Fonte: Autor (2021)

Figura 66 – Vista de cima da placa LCD.



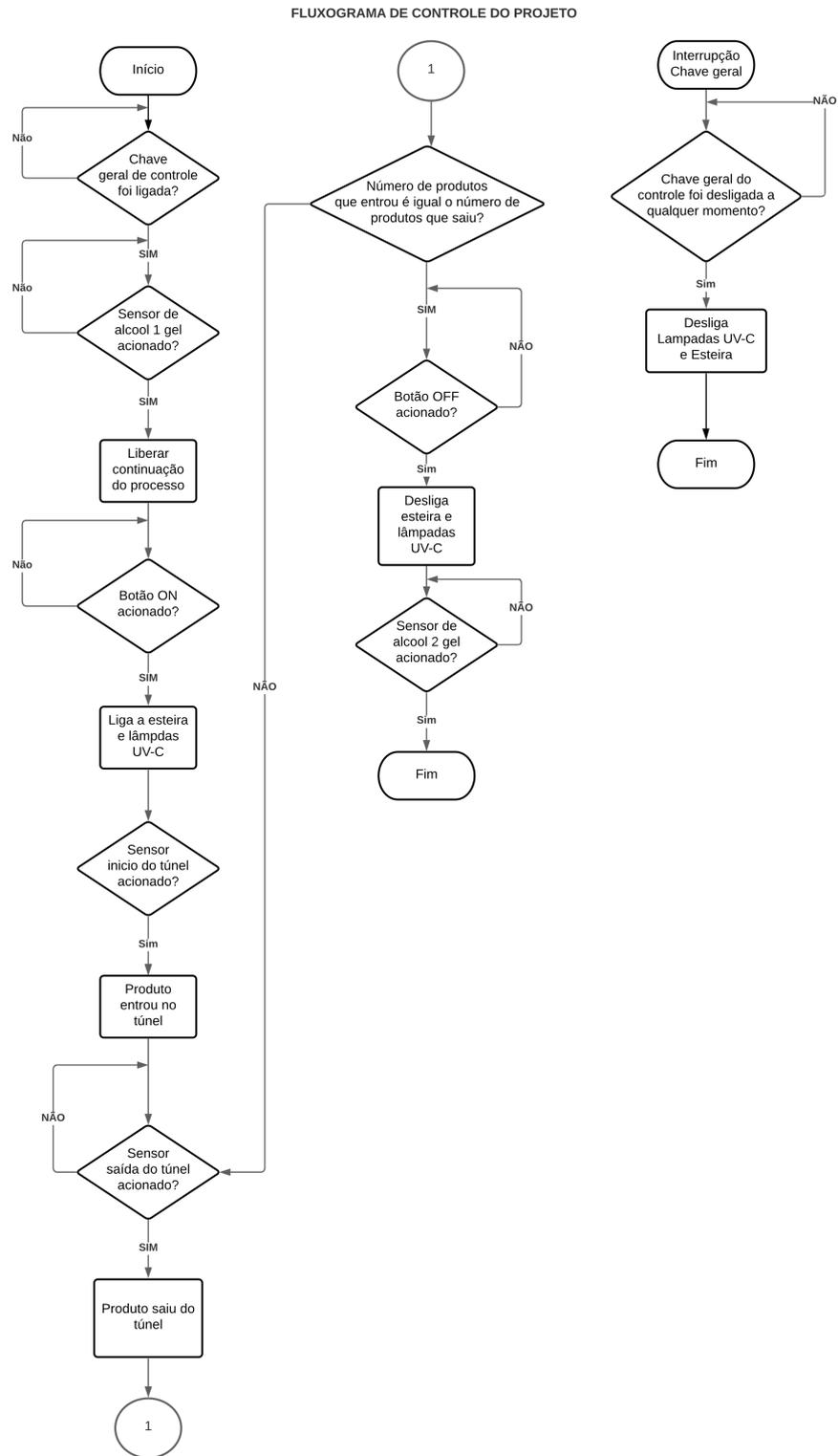
Fonte: Autor (2021)

Figura 67 – Vista de baixo da placa LCD.



Fonte: Autor (2021)

.10 Fluxograma de controle



.11 Código de controle

```

/*
  TCC - Esterilização por lampada UV-C
  AUTOR: Alan Silva, Everton Silva, Felipe Borba, Gabriel Lima,
  Reana Milat
  SKETCH: Esterilização por lampada UV-C
  DATA: 31/03/2021
  ATUALIZACAO: 30/05/2021

*/

// PINAGEM E VARIAVEIS

#define SISTEMA_LIGADO 3
#define VELOCIDADE 5
#define INTERRUPTOR 4
#define LIGA_MOTOR 2
#define LIGA_ESTEIRA 6
#define LIGA_LAMPADA 7
#define SENSOR_ENTRADA 8
#define SENSOR_SAIDA 10
#define DESLIGA_ESTEIRA 12
#define SENSOR_ALCOOL1 11
#define SENSOR_ALCOOL2 13
bool estadoMotor = false;
bool estadoLampada = false;
unsigned long delaySensor;
bool BOTAO_ON;
bool estadoSensorLampada1;
bool estadoSensorLampada2;
bool BOTAO_OFF;
int produto_entrou = 0;
int produto_saiu = 0;
int usodoalcool=0;
int vel=0;

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  pinMode(INTERRUPTOR, INPUT);
  pinMode(VELOCIDADE, OUTPUT);

```

```

pinMode(SISTEMA_LIGADO, OUTPUT);
pinMode(LIGA_MOTOR, OUTPUT);
pinMode(LIGA_ESTEIRA, INPUT_PULLUP);
pinMode(LIGA_LAMPADA, OUTPUT);
pinMode(SENSOR_ENTRADA, INPUT_PULLUP);
pinMode(SENSOR_SAIDA, INPUT_PULLUP);
pinMode(DESLIGA_ESTEIRA, INPUT_PULLUP);
pinMode(SENSOR_ALCOOL1, INPUT);
pinMode(SENSOR_ALCOOL2, INPUT);
analogWrite(VELOCIDADE, vel);
digitalWrite(LIGA_MOTOR, LOW);

}

void loop()
{
  //CHAVE GERAL
  int chave = digitalRead(INTERRUPTOR);
  if(chave!=0)
  {
    digitalWrite(SISTEMA_LIGADO, HIGH);
  }
  else
  {
    digitalWrite(SISTEMA_LIGADO, LOW);
    digitalWrite(LIGA_MOTOR, LOW);
    digitalWrite(LIGA_LAMPADA, LOW);
  }

  //SENSOR ALCOOL EM GEL DE ENTRADA E SAÍDA

  int alcool1 = digitalRead(SENSOR_ALCOOL1);
  if (alcool1>0 && chave>0)
  {
    usodoalcool=1;
  }
  int alcool2 = digitalRead(SENSOR_ALCOOL2);
  if (alcool2>0 && chave>0)
  {

```

```

    usodoalcool=0;
    produto_entrou = 0;
    produto_saiu = 0;
}

//MOTOR E LAMPADAS

BOTAO_ON=digitalRead(LIGA_ESTEIRA);
if( chave>0 && BOTAO_ON==HIGH && usodoalcool==1)
{
    vel=1.75;
    analogWrite(VELOCIDADE, vel);
    digitalWrite(LIGA_MOTOR, HIGH);
    digitalWrite(LIGA_LAMPADA, HIGH);
    estadoMotor=!estadoMotor;
}
BOTAO_OFF=digitalRead(DESLIGA_ESTEIRA);
if (BOTAO_OFF==HIGH && produto_saiu==produto_entrou)
{

    digitalWrite(LIGA_MOTOR, LOW);
    digitalWrite(LIGA_LAMPADA, LOW);
    estadoMotor=!estadoMotor;
}

//CONTROLE DE ENTRADA E SAÍDA
estadoSensorLampada1=digitalRead(SENSOR_ENTRADA);
estadoSensorLampada2=digitalRead(SENSOR_SAIDA);
if( chave>0 && estadoSensorLampada1==HIGH && produto_entrou==0)
{
    produto_entrou=1;
    Serial.println(produto_entrou);
    delay(100);
}
if (chave>0 && estadoSensorLampada2==HIGH && produto_saiu==0)
{
    produto_saiu=1;
    Serial.println(produto_saiu);
    delay(100);
}

```

```
    if( chave>0 && estadoSensorLampada1==HIGH && produto_saiu==1
&& produto_entrou==1)
    {
        produto_entrou=0;
        Serial.println(produto_entrou);
        delay(100);
    }
    if( chave>0 && estadoSensorLampada2==HIGH && produto_saiu==1
&& produto_entrou==0)
    {
        produto_saiu=0;
        Serial.println(produto_entrou);
        delay(100);
    }
}
```

.12 Código do Display LCD

```

/*
  TCC - Esterilização por lampada UV-C
  AUTOR: Alan Silva, Everton Silva, Felipe Borba, Gabriel Lima,
  Reana Milat
  SKETCH: Display LCD 16x2 para o projeto de Esterilização com
  lâmpadas UV-C
  DATA: 31/03/2021
  ATUALIZACAO: 30/05/2021

*/

// include the library code:
#include <LiquidCrystal.h>

//PINAGEM

const int INTERRUPTOR = 8;      // the number of the pushbutton pin
const int LIGA_ESTEIRA = 9;
const int SENSOR_ENTRADA = 10;
const int SENSOR_SAIDA = 7;
const int DESLIGA_ESTEIRA = 6; // the number of the LED pin
int ligar_sistema = 0;         // variable for reading th
int ligar_esteira = 0;
int sensor_entrada = 0;
int sensor_saida = 0;
int desliga_esteira = 0;
int produto_entrou = 0;
int produto_saiu = 0;
bool esteira=0;
bool lampada=0;
const int ledPin = 13;        // the number of the LED pin
// variable for reading th

// initialize the library with the numbers of the interface pins
LiquidCrystal lcd(12, 11, 5, 4, 3, 2);

void setup() {

  pinMode(INTERRUPTOR, INPUT);
  pinMode(LIGA_ESTEIRA, INPUT);

```

```

pinMode(SENSOR_ENTRADA, INPUT);
pinMode(SENSOR_SAIDA, INPUT);
pinMode(DESLIGA_ESTEIRA, INPUT);
// set up the LCD's number of columns and rows:
lcd.begin(16, 2);
// Print a message to the LCD.
lcd.clear();
pinMode(ledPin, OUTPUT);
}

void loop() {
  // set the cursor to column 0, line 1
  // (note: line 0 is the second row, since counting begins with
  0):
  ligar_sistema = digitalRead(INTERRUPTOR);
  ligar_esteira = digitalRead(LIGA_ESTEIRA);
  sensor_entrada = digitalRead(SENSOR_ENTRADA);
  sensor_saida = digitalRead(SENSOR_SAIDA);
  desliga_esteira = digitalRead(DESLIGA_ESTEIRA);

  //CHAVE GERAL, MOTOR E LAMPADAS!

  if(ligar_sistema == HIGH && ligar_esteira == LOW && esteira==0)
  {
    // delay(200);
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Esteira Desligada");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Sistema ligado!!");
    delay(100);
  }
  if(ligar_sistema == LOW)
  {
    // delay(200);
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Esteira Desligada");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Sistema Desligado");
    delay(100);
    esteira=0;
  }
}

```

```

}
  if(ligar_sistema == HIGH && ligar_esteira == HIGH )
  {
// delay(200);
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("Esteira Ligada!!");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("Sistema ligado!!");
  esteira=1;
  delay(100);
}

//CONTROLE DE ENTRADA E SAÍDA

  if( ligar_sistema == HIGH && sensor_entrada ==HIGH &&
produto_entrou==0)
  {
    produto_entrou=1;
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Produto Entrou");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Sistema ligado!!");
    delay(100);
  }

  if (ligar_sistema == HIGH && sensor_saida==HIGH &&
produto_saiu==0)
  {
    produto_saiu=1;
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Produto saiu!!");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Sistema ligado!!");
    delay(100); ;
  }

  if( ligar_sistema == HIGH && sensor_entrada==HIGH &&
produto_saiu==1 && produto_entrou==1)
  {
    produto_entrou=0;
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Produto Entrou");

```

```

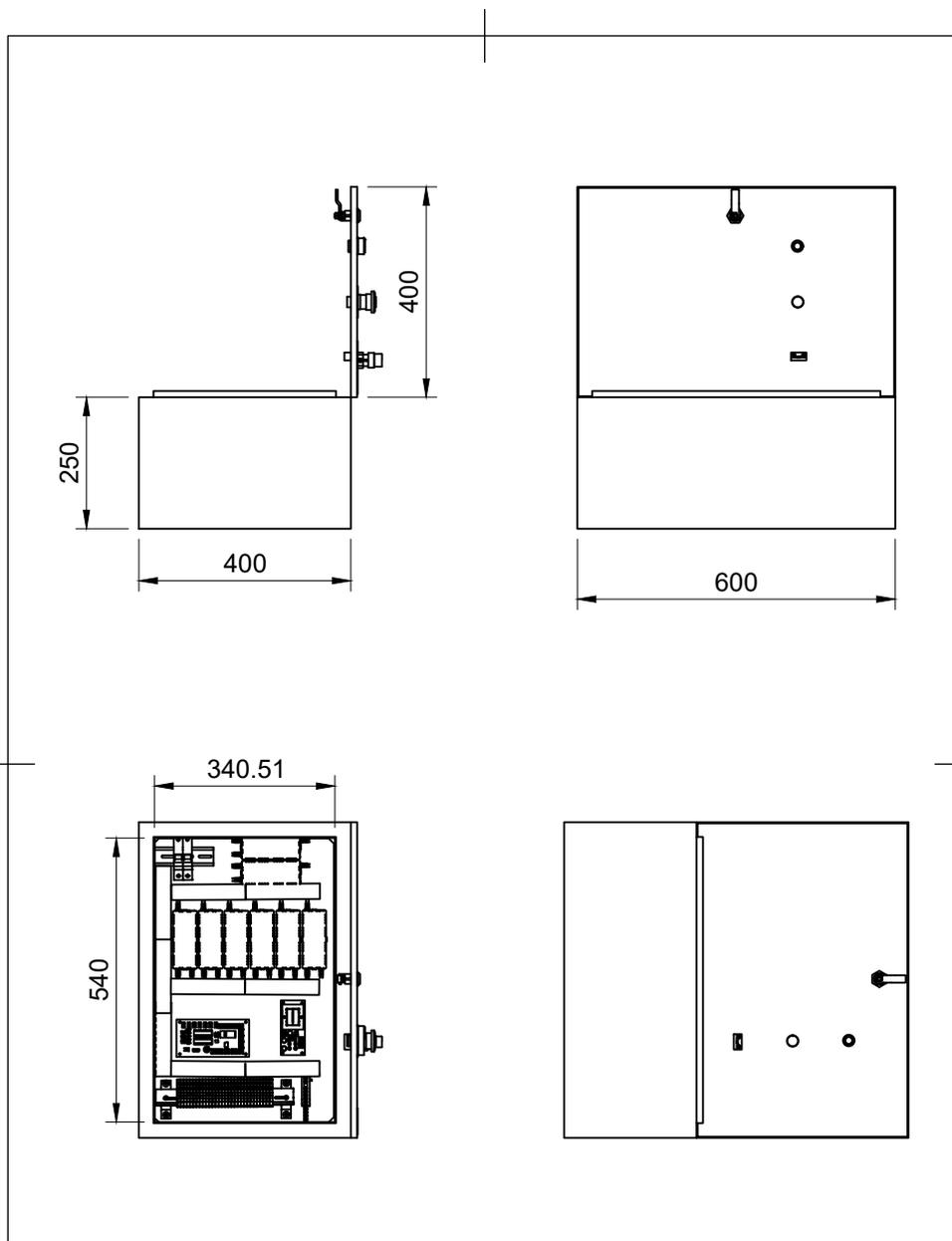
        lcd.setCursor(0, 1);
        lcd.print("Sistema ligado!!");
        delay(100);
    }
    if( ligar_sistema == HIGH && sensor_saida==HIGH &&
produto_saiu==1 && produto_entrou==0)
    {
        produto_saiu=0;
        produto_saiu=0;
        lcd.setCursor(0, 0);
        lcd.print("Produto saiu!!");
        lcd.setCursor(0, 1);
        lcd.print("Sistema ligado!!");
        delay(100);
    }

    //FIM DO SISTEMA

    if (ligar_sistema == HIGH && desliga_esteira==HIGH &&
produto_saiu==produto_entrou)
    {
        lcd.setCursor(0, 0);
        lcd.print("Fim da Esterilizacao");
        lcd.setCursor(0, 1);
        lcd.print("Muito Obrigado!!");
        delay(100);
        produto_entrou = 0;
        produto_saiu = 0;
    }
}

```

.13 Painel elétrico



Dept.	Technical reference	Created by Renan Silva Stanic Milat 03/06/2021	Approved by
		Document type	Document status
		Title painel_final	DWG No.
		Rev.	Date of issue
			Sheet 1/1

REFERÊNCIAS

ALEXANDRE, Fernanda Antunes; FARIA, José de Assis Fonseca; CARDOSO, Claudio Fernandes. Avaliação da eficiência da radiação ultravioleta na esterilização de embalagens plásticas. pt. **Ciência e Agrotecnologia**, scielo, v. 32, p. 1524–1530, out. 2008. ISSN 1413-7054. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-70542008000500025&nrm=iso>.

ALLISY, A. et al. Report 60. **Journal of the International Commission on Radiation Units and Measurements**, SAGE Publications, os31, n. 1, np–np, dez. 1998. DOI: 10.1093/jicru/os31.1.report60. Disponível em: <<https://doi.org/10.1093/jicru/os31.1.report60>>.

BALUJA, Aurora et al. UV light dosage distribution over irregular respirator surfaces. Methods and implications for safety. **Journal of Occupational and Environmental Hygiene**, v. 17, n. 9, p. 390–397, 2020. ISSN 15459632. DOI: 10.1080/15459624.2020.1786576.

BEDELL, Kurt; BUCHAKLIAN, Adam H.; PERLMAN, Stanley. Efficacy of an Automated Multiple Emitter Whole-Room Ultraviolet-C Disinfection System Against Coronaviruses MHV and MERS-CoV. **Infection Control and Hospital Epidemiology**, Cambridge University Press, v. 37, n. 5, p. 598–599, 2016. DOI: 10.1017/ice.2015.348.

_____. Efficacy of an automated multiple emitter whole-room Ultraviolet-C disinfection system against coronaviruses MHV and MERS-CoV. **Infection Control and Hospital Epidemiology**, v. 37, n. 5, p. 598–599, 2016. ISSN 15596834. DOI: 10.1017/ice.2015.348.

BUONANNO, Manuela et al. Far-UVC light (222 nm) efficiently and safely inactivates airborne human coronaviruses. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, p. 1–8, 2020. ISSN 20452322. DOI: 10.1038/s41598-020-67211-2.

CHATTERLEY, Christie; LINDEN, Karl. Demonstration and evaluation of germicidal UV-LEDs for point-of-use water disinfection. **Journal of Water and Health**, v. 8, n. 3, p. 479–486, mar. 2010. ISSN 1477-8920. DOI: 10.2166/wh.2010.124. eprint: <https://iwaponline.com/jwh/article-pdf/8/3/479/397504/479.pdf>. Disponível em: <<https://doi.org/10.2166/wh.2010.124>>.

DATIQUIM. **Datisorb 723**. Portugues. [S.l.: s.n.], nov. 2004. Disponível em: <<https://www.datiquim.com.br/ctp-datiqum/datisorb-723.pdf>>.

EISBERG, Robert; RESNICK, Robert. Física quântica: átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas. **Elsevier**, p. 928, 1979.

FUTEMA, Fabiana. **Cansou de higienizar as compras? Carrefour lança túnel de UV para carrinho**. Ago. 2020. Disponível em: <<https://6minutos.uol.com.br/negocios/cansou-de-higienizar-as-compras-carrefour-lanca-tunel-de-uv-para-carrinho-saiba-se-funciona/>>.

GOMES, L. S.; FURTADO, A. C. R.; SOUZA, M. C. A Sílica e Suas Particularidades. **Revista Virtual de Química**, v. 10, n. 4, p. 22, 2018. Disponível em: <<http://rvq.sbq.org.br>>.

KEITZ, H. A. E. Light Calculations and Measurements. **Light Calculations and Measurements**, 1971. DOI: 10.1007/978-1-349-00012-8.

KLEIN, Martin J. Max Planck and the beginnings of the quantum theory. **Archive for History of Exact Sciences**, Springer Science e Business Media LLC, v. 1, n. 5, p. 459–479, out. 1961. DOI: 10.1007/bf00327765. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/bf00327765>>.

MILLS, Devin et al. Ultraviolet germicidal irradiation of influenza-contaminated N95 filtering facepiece respirators. **American Journal of Infection Control**, Mosby Inc., v. 46, e49–e55, 7 jul. 2018. ISSN 15273296. DOI: 10.1016/j.ajic.2018.02.018.

OKUNO, Emico; VILELA, Maria Aparecida Constantino. **Radiação ultravioleta: características e efeitos**. [S.l.]: Editora Livraria da Física, 2005.

OPAS. **Folha informativa COVID-19 - Escritório da OPAS e da OMS no Brasil**. 2020. Disponível em: <<https://www.paho.org/pt/covid19>>.

PATIENTS, Lesbian et al. c o r r e s p o n d e n c e Niacin Compared with Ezetimibe. **The New England Journal of Medicine**, p. 0–3, 2020.

PLASTICS, Ensinger. **TECATRON PVX black**. Portuguese. [S.l.: s.n.], fev. 2018. Disponível em: <<https://www.ensingerplastics.com/pt-br/semiacabados/produtos/tecatron-pvx-black>>.

SABINO, Caetano P. et al. UV-C (2542009nm) lethal doses for SARS-CoV-2. **Photodiagnosis and Photodynamic Therapy**, v. 32, p. 101995, 2020. ISSN 1572-1000. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pdpdt.2020.101995>. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1572100020303495>>.

SATVILKAR, Alim. CHECKOUT COUNTER. **Grabcad**, p. 1–2, abr. 2017. Disponível em: <<https://grabcad.com/library/checkout-counter-2>>.

SAUDE, Ministerio da. **Coronavírus Brasil - Sobre a doença**. 2020. Disponível em: <<https://coronavirus.saude.gov.br/sobre-a-doenca>>.

SEQUINEL, Rodrigo et al. SOLUÇÕES A BASE DE ÁLCOOL PARA HIGIENIZAÇÃO DAS MÃOS E SUPERFÍCIES NA PREVENÇÃO DA COVID-19: COMPÊNDIO INFORMATIVO SOB O PONTO DE VISTA DA QUÍMICA ENVOLVIDA. **Química Nova**, SBQ, v. 43, p. 679–684, 5 2020. ISSN 01004042. DOI: 10.21577/0100-4042.20170553. Disponível em: <http://quimicanova.sbq.org.br/audiencia_pdf.asp?aid2=9105&nomeArquivo=AG2020-0202.pdf>.

SILVA, Uyara Nunes de Medeiros. A Radiação UVC como alternativa no tratamento de água, 2018.

SINAN. **Modular Hand Sanitizer Stand with Pedal**. English. [S.l.: s.n.], jan. 2020. Disponível em: <<https://grabcad.com/library/modular-hand-sanitizer-stand-with-pedal-1>>.

WEDECO, Oliver Lawal et al. PROPOSED METHOD FOR MEASUREMENT OF THE OUTPUT OF MONOCHROMATIC (254 nm) LOW PRESSURE UV LAMPS. **IUVA news**, v. 10, n. 1, p. 14–17, 2008.