

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

Pedro Teixeira Xavier da Silva

Protótipo para avaliação das armações de óculos de sol no auxílio do bloqueio
da radiação ultravioleta espalhada no ambiente para proteção ocular

São Carlos

2024

Pedro Teixeira Xavier da Silva

Protótipo para avaliação das armações de óculos de sol no auxílio do bloqueio da radiação ultravioleta espalhada no ambiente para proteção ocular

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Elétrica com Ênfase em Eletrônica, da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof^a. Dr^a. Liliane Ventura

São Carlos

2024

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. EESC/USP com os dados inseridos pelo(a) autor(a).

Rodrigues

S586p Silva, Pedro Teixeira Xavier da Silva
Protótipo para avaliação das armações de óculos de sol no auxílio do bloqueio da radiação ultravioleta espalhada no ambiente para proteção ocular / Pedro Teixeira Xavier da Silva Silva; orientadora Liliane Ventura. São Carlos, 2024.

Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica com ênfase em Eletrônica) -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2024.

1. Óculos de Sol. 2. proteção ultravioleta. 3. armação de óculos. 4. ISO 12312-1. I. Título.

Eduardo Graziosi Silva - CRB - 8/8907

FOLHA DE APROVAÇÃO

Nome: Pedro Teixeira Xavier da Silva

Título: "Protótipo para avaliação das armações de óculos de sol no auxílio do bloqueio da luz ultravioleta espalhada no ambiente para proteção ocular"

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado
em 21/06/24

com NOTA 10,0 (dez, zero), pela Comissão
Julgadora:

Profa. Associada Liliane Ventura - Orientadora - SEL/EESC/USP

Prof. Titular Alberto Cliquet Junior - SEL/EESC/USP

Dr. Artur Duarte Loureiro - Pós-Doutorando EESC/USP

Coordenador da CoC-Engenharia Elétrica - EESC/USP:
Professor Associado José Carlos de Melo Vieira Júnior

DEDICATÓRIA

Ao meu tudo, pelo amor e apoio incondicionais.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pelo apoio financeiro na forma da bolsa PIBIC, fundamental para o meu desenvolvimento acadêmico.

A FAPESP, processo 2021/12240-2, pelo suporte financeiro e apoio ao projeto.

À Dra. Liliane Ventura, pelo incentivo e orientação durante todos os anos de pesquisa. Sua dedicação e conselhos foram fundamentais para a realização deste projeto.

Aos meus familiares, deixo meu sincero agradecimento por todo o suporte educacional e motivacional que me proporcionaram durante esta jornada. Aos meus pais, Marcos e Renée, por sempre acreditarem em mim, por suas palavras de encorajamento e por todo o apoio. Sem vocês, nada disso seria possível. Agradeço também ao meu irmão, Thiago, por estar ao meu lado, oferecendo suporte nos momentos de necessidade.

À minha namorada, Beatriz, minha mais sincera gratidão por sua compreensão, amparo e amor. Seu apoio incondicional foi essencial para que eu pudesse seguir em frente, mesmo nos momentos mais desafiadores. Obrigado por estar ao meu lado e por acreditar em mim.

Aos meus companheiros de laboratório, Augusto, Pedro e Jean, minha gratidão pela amizade e colaboração durante todo o desenvolvimento deste trabalho.

“Ser a nossa melhor versão, de forma consistente. O resultado é consequência das nossas ações”

Abel Ferreira (2022)

RESUMO

SILVA, P. T. X. **Protótipo para avaliação das armações de óculos de sol no auxílio do bloqueio da radiação ultravioleta espalhada no ambiente para proteção ocular.** 2024. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2024.

Os óculos de sol são uma medida preventiva crucial contra os danos causados pela radiação UV. No entanto, a eficácia dessas proteções é geralmente avaliada apenas pela capacidade das lentes de bloquear a radiação UV direta, enquanto a eficácia das armações em bloquear a luz espalhada pelo ambiente é frequentemente negligenciada. As normas reguladoras, como a ABNT NBR ISO 12312-1 2023, quantificam a proteção ocular contra a radiação ultravioleta fornecida pelas lentes, com limitações quanto a proteção que pode ser oferecida pelas armações dos óculos. Este estudo visa desenvolver um protótipo, para ser disponibilizado ao público do campus da USP de São Carlos, para avaliar a eficácia das armações de óculos de sol no bloqueio de luz ultravioleta espalhada em diversos ambientes simulados. O protótipo consiste em uma esfera iluminada por LEDs ultravioleta com pico em 395 nm, uma cabeça de manequim posicionada no centro, representando um usuário de óculos de sol e sensores ultravioleta posicionados na entrada das pupilas do olho e como referência. Este sistema permite medir, de maneira relativa, a quantidade de radiação UV (395 nm) que ultrapassa as barreiras das armações de diferentes geometrias, que transmite pelas lentes e que refletem internamente nas lentes. O objetivo deste trabalho é verificar se as armações de óculos de sol são relevantes para a bloqueio de luz adicional contra a radiação UV. O protótipo que possui interface atrativa para o usuário, com simulações de variados albedos e tipos de céus, apresenta interatividade para despertar o interesse do público e atingir nosso objetivo de chamar a atenção para o requisito de escolha de armação dos óculos de sol. Ele testa os óculos e fornece para o usuário resultados do bloqueio de luz no ambiente (direta e difusa) da armação + lentes. Porém, foram realizados adicionalmente testes de bancada, que mostram a diferença de bloqueio de luz feito apenas pelas armações. Os resultados obtidos para testes de 16 armações de amostras testadas, com repetibilidade de 5 vezes, mostram que há uma variação no bloqueio de luz difusa de 17% (80,02% a 97,81%), com o maior desvio padrão registrado sendo 0,3 %. Ao se testar o conjunto armação e lente (transmissão da parte externa para a parte interna e reflexo da parte interna), a diferença entre elas aumentou, chegando a 35,38% (95,85% - 60,48%). Em suma, houve indicação de impacto das diferentes armações no auxílio do bloqueio de radiação ultravioleta para proteção ocular.

Palavras-chave: Óculos de sol; proteção ultravioleta; armações de óculos; ISO 12312-1.

ABSTRACT

SILVA, P. T. X. **Prototype for Evaluating Sunglass Frames in Assisting the Blocking of Ultraviolet Ambient Scattered Radiation for Eye Protection.** 2024. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2024.

Sunglasses are a crucial preventive measure against UV radiation damage. However, their effectiveness is generally evaluated based solely on the lenses' ability to block direct UV radiation, often neglecting the effectiveness of the frames in blocking scattered light from the environment. Regulatory standards, such as ABNT NBR ISO 12312-1 2023, quantify the ocular protection against ultraviolet radiation provided by the lenses, with limitations regarding the protection offered by the sunglasses' frames. This study aims to develop a prototype, to be made available to the public at the USP São Carlos campus, to evaluate the effectiveness of sunglasses frames in blocking scattered ultraviolet light in various simulated environments. The prototype consists of a sphere illuminated by UV LEDs with a peak wavelength of 395 nm, a mannequin head positioned at the center to represent a sunglasses user, and UV sensors positioned at the entrance of the eye pupils and as a reference. This system allows for a relative measurement of the amount of UV radiation (395 nm) that bypasses the frames of different geometries, transmits through the lenses, and reflects internally on the lenses. The objective of this work is to verify if sunglasses frames are relevant for providing additional light blockage against UV radiation. The prototype, with a user-friendly interface, simulates various albedos and sky types, offering interactivity to engage the public and highlight the importance of selecting appropriate sunglasses frames. It tests the sunglasses and provides users with results on the light blockage in the environment (direct and diffuse) by the frame+lens combination. Additionally, bench tests were conducted to show the difference in light blockage provided solely by the frames. The results obtained from testing 16 frame samples, with repeatability of 5 times, show a variation in diffuse light blockage of 17% (80.02% to 97.81%), with the highest recorded standard deviation being 0.3%. When testing the frame and lens combination (transmission from the external to the internal part and internal reflection), the difference increased to 35.38% (95.85% - 60.48%). In summary, the study indicates that different frames impact the additional ultraviolet radiation blockage, contributing to ocular protection.

Keywords: Sunglasses; ultraviolet protection; sunglass frames; ISO 12312-1

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Sol como fonte de energia principal da Terra.....	28
Figura 2 – Espectro Eletromagnético.....	31
Figura 3 – Espectro dos Tipos de Radiação UV.....	32
Figura 4 – Índice UV Global em 01/01/2024.....	34
Figura 5 – Índice UV Global em 01/06/2024.....	34
Figura 6 – Albedo da Terra para 380 nm.....	36
Figura 7 – Estrutura do Olho Humano (Esquemático).....	37
Figura 8 – Gráfico do Fator de ponderação por comprimento de onda.....	42
Figura 9 – Espectrofotômetro modelo Cary 5000 UV-Vis-NIR	44
Figura 10 – Partes principais dos óculos de sol	47
Figura 11 – Tipos de armações de óculos de sol	48
Figura 12 – Esquemático do Protótipo	50
Figura 13 – Diagrama de Blocos do Protótipo	51
Figura 14 – Placa Arduino UNO R3 e identificação das portas	52
Figura 15 – Diagrama explicativo dos testes	53
Figura 16 – <i>Shield</i> PAB-03 para placa Arduino UNO R3 e comunicação com a Tela	54
Figura 17 – Resposta espectral do SKU440	55
Figura 18 – Circuito de Emissão.....	56
Figura 19 – Imagem Ilustrativa da tela P48272V43C_T07.....	57
Figura 20 – Imagem da Tela Inicial do protótipo.....	57
Figura 21 – Informações sobre os óculos de sol a serem testados	58
Figura 22 – Tela da escolha do tipo de teste	59
Figura 23 – Tela da escolha do tipo de céu	60
Figura 24 – Tela da escolha do tipo de albedo.....	61
Figura 25 – Tela de aguarde durante os testes de escuro e calibração.....	61
Figura 26 – Telas do teste de bloqueio de luz.....	62
Figura 27 – Telas de resultado e de agradecimento	63
Figura 28 – Módulo leitor de cartão microSD para arduino.....	63
Figura 29 – Diagrama de Blocos Acionamento dos LEDs.....	64
Figura 30 – Circuito de condicionamento dos LEDs 750 nm	65

Figura 31 – Resposta Espectral do OPT101	66
Figura 32 – Diagrama de Blocos Acionamento dos LEDs UV	69
Figura 33 – Resposta Espectral do GVBL-S12SD	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Índices Ultravioleta.....	33
Tabela 2 – Valores de albedos característicos para diferentes superfícies para UVA e UVB....	35
Tabela 3 – Limites de exposição UV e função de ponderação espectral.....	39
Tabela 4 – Categorias dos óculos de sol	43
Tabela 5 – Transmitância para filtros de óculos de sol para uso geral (NBR ISO 12312-1:2022).....	45
Tabela 6 – Descrição das categorias de filtro e símbolos atribuídos.....	46
Tabela 7 – Classificação dos céus CIE utilizados.....	60
Tabela 8 – Teste preliminar de bloqueio de luz das armações de óculos de sol.....	67
Tabela 9 – Teste de repetibilidade preliminar de bloqueio de luz	68
Tabela 10 – Teste de repetibilidade sistema UV Amostra 1.....	72
Tabela 11 – Teste de repetibilidade sistema UV Amostra 2.....	72
Tabela 12– Teste de repetibilidade sistema UV Amostra 3.....	73
Tabela 13 – Teste de repetibilidade sistema UV Amostra 4.....	73
Tabela 14 – Teste de repetibilidade sistema UV Amostra 5.....	74
Tabela 15 – Teste de repetibilidade sistema UV Amostra 6.....	74
Tabela 16 – Teste de repetibilidade sistema UV Amostra 7.....	75
Tabela 17 – Teste de repetibilidade sistema UV Amostra 8.....	75
Tabela 18 – Teste de repetibilidade sistema UV Amostra 9.....	76
Tabela 19 – Teste de repetibilidade sistema UV Amostra 10.....	76
Tabela 20 – Teste de repetibilidade sistema UV Amostra 11.....	77
Tabela 21 – Teste de repetibilidade sistema UV Amostra 12.....	77
Tabela 22 – Teste de repetibilidade sistema UV Amostra 13.....	78
Tabela 23 – Teste de repetibilidade sistema UV Amostra 14.....	78
Tabela 24 – Teste de repetibilidade sistema UV Amostra 15.....	79
Tabela 25 – Teste de repetibilidade sistema UV Amostra 16.....	79
Tabela 26 – Média de bloqueio de luz de cada amostra e desvio padrão (com papel cartão).....	80
Tabela 27 – Teste de público com repetibilidade Amostra 1.....	81

Tabela 28 – Teste de público com repetibilidade Amostra 2.....	81
Tabela 29– Teste de público com repetibilidade Amostra 3.....	82
Tabela 30 – Teste de público com repetibilidade Amostra 4.....	82
Tabela 31 – Teste de público com repetibilidade Amostra 5.....	83
Tabela 32 – Teste de público com repetibilidade Amostra 6.....	83
Tabela 33 – Teste de público com repetibilidade Amostra 7.....	84
Tabela 34 – Teste de público com repetibilidade Amostra 8.....	84
Tabela 35 – Teste de público com repetibilidade Amostra 9.....	85
Tabela 36 – Teste de público com repetibilidade Amostra 10.....	85
Tabela 37 – Teste de público com repetibilidade Amostra 11.....	86
Tabela 38 – Teste de público com repetibilidade Amostra 12.....	86
Tabela 39 – Teste de público com repetibilidade Amostra 13.....	87
Tabela 40 – Teste de público com repetibilidade Amostra 14.....	87
Tabela 41 – Teste de público com repetibilidade Amostra 15.....	88
Tabela 42 – Teste de público com repetibilidade Amostra 16.....	88
Tabela 43 – Média de bloqueio de luz de cada amostra e desvio padrão (Sem papel cartão).....	89
Tabela 44 – Comparação das médias de bloqueio de luz com e sem cobertura das lentes.....	90

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	–	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ICNIRP	–	Comissão Internacional de Proteção Contra Radiação Não Ionizante
UV	–	Ultravioleta
UVA	–	Ultravioleta tipo A
UVB	–	Ultravioleta tipo B
UVC	–	Ultravioleta tipo C
TEo	–	Teste de escuro para o sensor do olho
TEr	–	Teste de escuro para o sensor de referência
TCo	–	Teste de calibração para o sensor do olho
TCr	–	Teste de calibração para o sensor de referência
RC	–	Razão de calibração
TPo	–	Teste de proteção para o sensor do olho
TPr	–	Teste de proteção para o sensor de referência
IUV	–	Índice Ultravioleta

LISTA DE SÍMBOLOS

nm	Nanômetro
V	Volt
mV	Milivolt
GHz	Gigahertz
τ	Transmitância

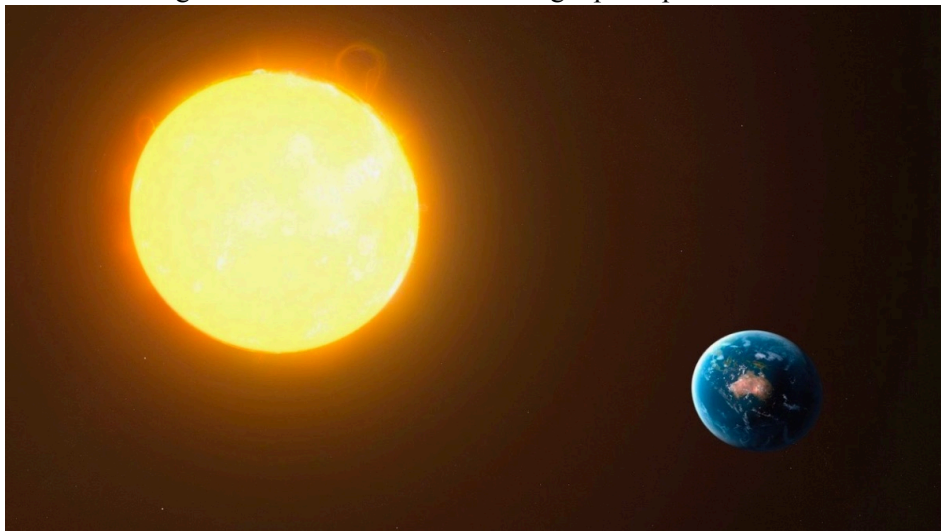
SUMÁRIO

RESUMO.....	13
ABSTRACT.....	15
1 INTRODUÇÃO.....	28
1.1 Motivação.....	29
1.2 Objetivo.....	29
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	31
2.1 Radiação Ultravioleta.....	31
2.1.1 Tipos de Radiação UV.....	32
2.1.2 Índice Ultravioleta.....	33
2.2 Albedo.....	35
2.3 Dano ocular causado pela radiação UV.....	36
2.3.1 Danos à Córnea.....	37
2.3.2 Danos ao Cristalino.....	38
2.3.3 Danos à Retina.....	38
2.3.4 ICNIRP.....	38
2.3.5 Proteção Ocular natural.....	42
2.4 Óculos de Sol e suas Normas.....	43
3 METODOLOGIA.....	49
3.1 Protótipo.....	49
3.1.1 Circuito de Controle.....	52
3.1.2 Circuito de Comunicação.....	54
3.1.3 Tela para controle.....	56
3.1.4 Armazenamento.....	63
3.2 Sistema com luz visível.....	64
3.2.1 LEDs 750 nm.....	64
3.2.2 Circuito de condicionamento.....	65
3.2.3 Sensor OPT101.....	66
3.2.4 Resultados Preliminares.....	67
3.3 Sistema com radiação UV.....	68
3.3.1 LEDs 395 nm.....	69
3.3.2 Circuito de condicionamento.....	69
3.3.3 Sensor UV.....	70
4 RESULTADOS.....	71
5 CONCLUSÃO.....	91
REFERÊNCIAS.....	93

1 INTRODUÇÃO

O Sol, como estrela central do Sistema Solar, é a principal fonte de energia para a Terra, como ilustrado na figura 1, e é essencial para a manutenção da vida. Através do processo de fusão nuclear, o Sol gera uma vasta quantidade de energia que é emitida na forma de radiação eletromagnética, abrangendo ultravioleta (UV), luz visível e infravermelho. A radiação ultravioleta, em particular, tem efeitos significativos sobre a saúde humana, incluindo danos oculares e, embora a radiação UV seja vital em pequenas quantidades, promovendo a síntese de vitamina D, a exposição excessiva pode resultar em condições graves que prejudicam o sentido da visão e a percepção do indivíduo para com o mundo.

Figura 1 – Sol como fonte de energia principal da Terra



Fonte:

https://pplware.sapo.pt/ciencia/a-terra-esta-mais-proxima-do-sol-hoje-e-o-dia-do-perielio/#foobox-1/0/perielio_2021_00.jpg

A radiação UV pode atingir os olhos de duas formas: direta e periférica, esta última através do retroespalhamento no ambiente. A exposição direta ocorre quando os olhos são diretamente iluminados pela luz solar, enquanto a exposição periférica ocorre quando a luz UV é refletida ou difusa por superfícies como água, areia, concreto e neve, entrando nos olhos a partir de ângulos indiretos. Esta forma de exposição ressalta uma área frequentemente negligenciada em termos de proteção, uma vez que as normas reguladoras de óculos de sol, embora essenciais, não avaliam o bloqueio de luz oferecido pelos diferentes formatos e tamanhos de armações contra a luz espalhada.

1.1 Motivação

Os óculos de sol são uma das principais medidas preventivas contra os danos causados pela radiação UV. No entanto, a eficácia dessas proteções é medida apenas pela capacidade das lentes de bloquear a radiação UV direta. Pouca atenção é dada à eficácia das armações em bloquear a luz espalhada pelo ambiente.

A norma reguladora ABNT NBR ISO 12312-1 2023 apenas quantifica o bloqueio de luz contra a radiação ultravioleta das lentes, não levando em conta o bloqueio de luz que as armações dos óculos podem oferecer. Com este trabalho, objetiva-se verificar se as armações de óculos de sol são relevantes para esta proteção ocular.

A radiação UV difusa em locais onde a incidência de luz solar é muito alta, como no Brasil, pode ser suficiente para superar os limites seguros dessa radiação para a saúde ocular. Embora neste trabalho não poderemos quantificar a exposição radiante que chega aos olhos dos usuários, pode-se medir relativamente, em porcentagem o bloqueio de luz adicional que as armações dos óculos de sol oferecem.

A motivação para este estudo reside na investigação da proteção extra oferecida pelas armações de óculos de sol, prioritariamente devido às suas geometrias e proporcionar um protótipo para os usuários de óculos de sol poderem testar seus óculos no campus da USP de São Carlos, quando for realizada a finalização da estética do protótipo.

1.2 Objetivo

Este trabalho tem como objetivo desenvolver um protótipo, para posteriormente estar disponível ao público do campus da USP de São Carlos, para avaliar o bloqueio proporcionado pelas armações de óculos de sol contra a luz ultravioleta espalhada em diversos ambientes simulados. O protótipo consiste em uma esfera iluminada por LEDs ultravioleta, uma cabeça de manequim posicionada no centro, representando um usuário de óculos de sol, equipada com sensores ópticos para captar a luz que atinge a entrada da pupila dos olhos. Este sistema permite medir de maneira relativa a quantidade de radiação UV que consegue ultrapassar as barreiras das armações de diferentes designs, materiais e tamanhos.

Assim, espera-se que este estudo contribua para a educação pública acerca da saúde ocular e a prevenção de doenças causadas pela exposição inadequada à radiação ultravioleta.

Os resultados obtidos devem ser um início para a investigação mais aprofundada acerca do bloqueio de luz por óculos de sol, para futura contribuição para as normas internacionais.

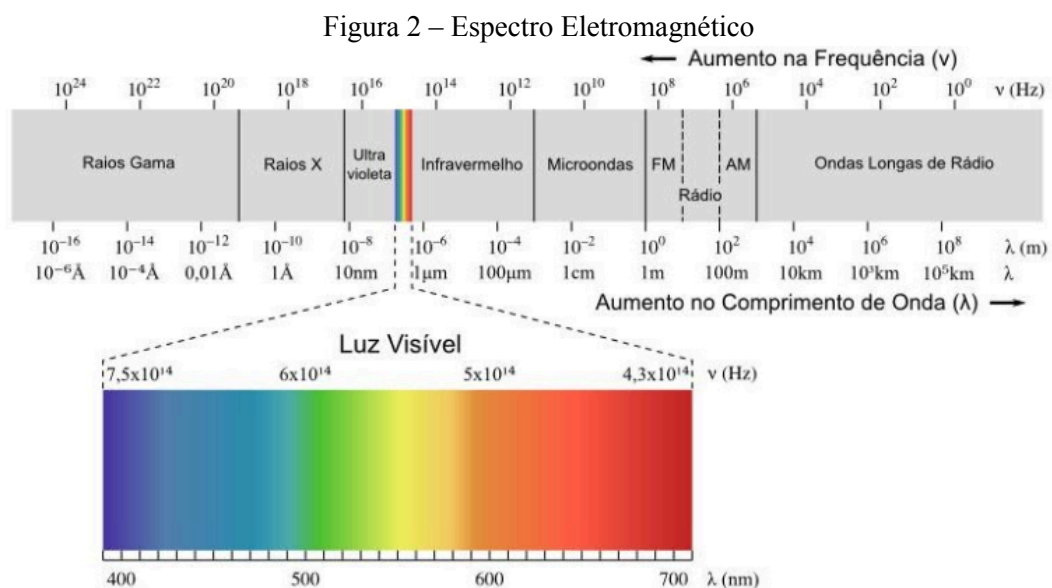
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Radiação Ultravioleta

A radiação ultravioleta (UV) é uma forma de radiação eletromagnética emitida pelo Sol. Ela ocupa a faixa do espectro eletromagnético que se situa entre os raios X e a luz visível. Ademais, compreende comprimentos de onda que variam de 100 a 400 nanômetros (nm) e embora não seja visível ao olho humano, a radiação UV tem efeitos profundos na biologia e no meio ambiente, desempenhando função tanto benéfica quanto prejudicial.

O espectro eletromagnético é o conjunto de todas as frequências de radiação eletromagnética conforme demonstrado na figura 2. Ele é dividido em diferentes regiões, baseadas nos comprimentos de onda e nas energias das radiações, que são inversamente proporcionais à frequência.

Assim, da maior para a menor frequência, as regiões são: raios gama, raios X, ultravioleta, luz visível, infravermelho, micro-ondas e ondas de rádio. A radiação UV está localizada entre a luz visível e os raios X no espectro eletromagnético.



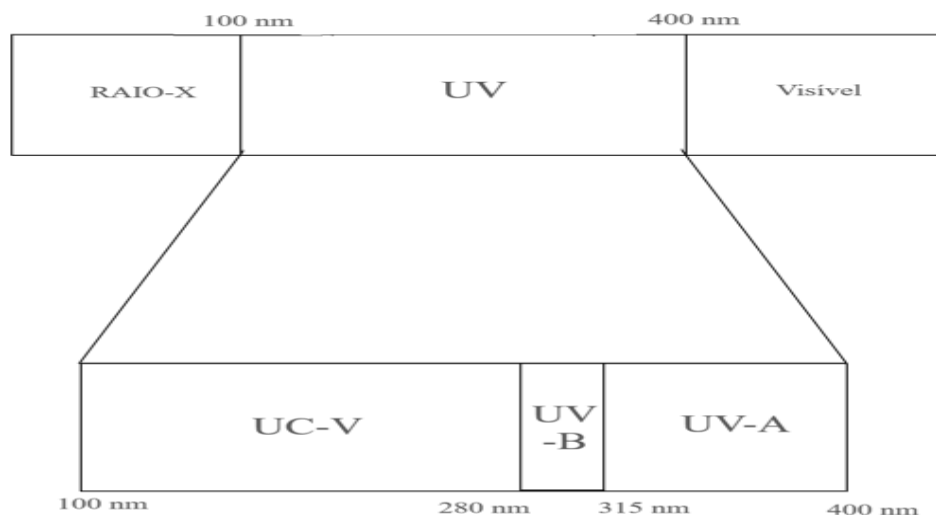
Fonte: Damasceno, H.; Bassini, A. (2021) Tudo são ondas: espectro eletromagnético.
<https://www.parquecientec.usp.br/passeio-virtual/tudo-sao-ondas/o-espectro-eletromagnetico>

2.1.1 Tipos de Radiação UV

A radiação UV é geralmente dividida em três categorias principais com base em seu comprimento de onda (figura 3):

- **UVA (315-400 nm):** Este tipo de radiação UV possui os comprimentos de onda mais longos e, portanto, a menor energia. Baixa bioatividade. Absorção atmosférica insignificante. Corresponde a 6/7 da RUV ambiente. (Diffey, 2002)
- **UVB (280-315 nm):** A radiação UVB tem comprimentos de onda mais curtos e maior energia que a UVA. Forte bioatividade. Indutora de Vitamina D3 no tecido adiposo. Responsável pelo bronzeamento da pele. Gerada por altas temperaturas, lâmpadas de bronzeamento e de tratamento da psoríase e vitiligo. Corresponde a 1/7 da RUV ambiente. (Diffey, 2002)
- **UVC (100-280 nm):** A radiação UVC é a mais energética e, portanto, a mais perigosa das três. Intensa bioatividade. Absorção completa pela atmosfera, inexistindo naturalmente no meio ambiente. (Diffey, 2002)

Figura 3 – Espectro dos Tipos de Radiação UV



Fonte: Elaborado pelo autor

2.1.2 Índice Ultravioleta

O Índice Ultravioleta (IUV) é uma medida da intensidade da radiação UV solar que atinge a superfície da Terra em um determinado dia e local. Foi desenvolvido para ajudar a compreender os riscos da exposição à radiação UV e a tomar medidas de proteção.

Tabela 1 – Índices Ultravioleta

Categoria	Cor	IUV
Baixo	Verde	< 2
Moderado	Amarelo	3 a 5
Alto	Laranja	6 a 7
Muito Alto	Vermelho	8 a 10
Extremo	Roxo	>11

Segundo a Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais (DSA), do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, que faz o monitoramento do IUV na América do Sul e principais capitais, o IUV depende de alguns fatores:

- Concentração de Ozônio
- Posição Geográfica
- Altitude
- Horário
- Estação do ano
- Condições Atmosféricas (nuvens)
- Tipo de superfície

Além disso, o cálculo do IUV é feito com a irradiância e ponderação da resposta do tecido humano, formulada pela norma da *Commission on Illumination* (CIE).

$$IUV = C \int_{280nm}^{400nm} E_{\lambda} \varepsilon_{\lambda} d\lambda \quad (1)$$

Onde,

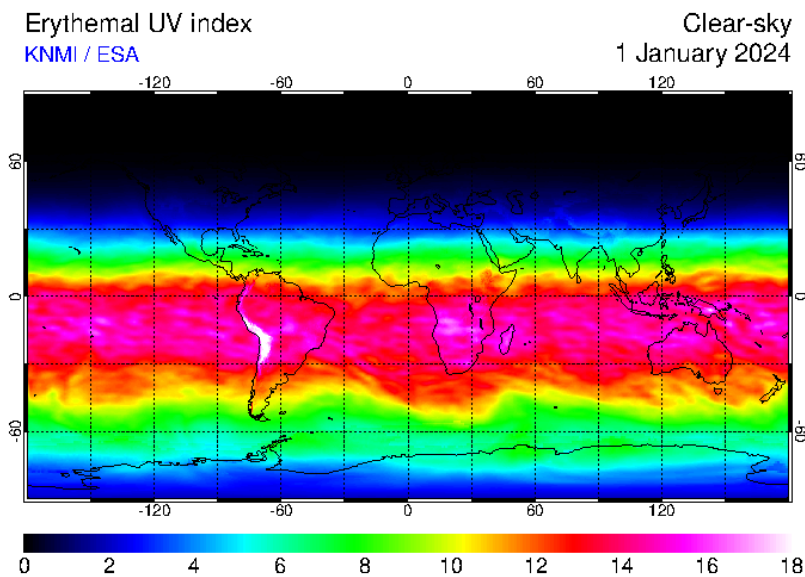
C - Constante de conversão (40 W/m^2)

E_{λ} - Irradiância espectral ($\text{W/m}^2 / \text{nm}$)

ε_{λ} - Espectro de ação

Assim, é possível visualizar a diferença de IUV em diferentes momentos do ano, conforme as figuras 4 e 5, as quais mostram o IUV do mundo todo nos dias 1 de janeiro de 2024 (Verão no hemisfério sul) e 1 de junho de 2024 (Verão no hemisfério norte), respectivamente. Esses mapas foram adquiridos nos arquivos do *Tropospheric Emission Monitoring Internet Service (TEMIS)*.

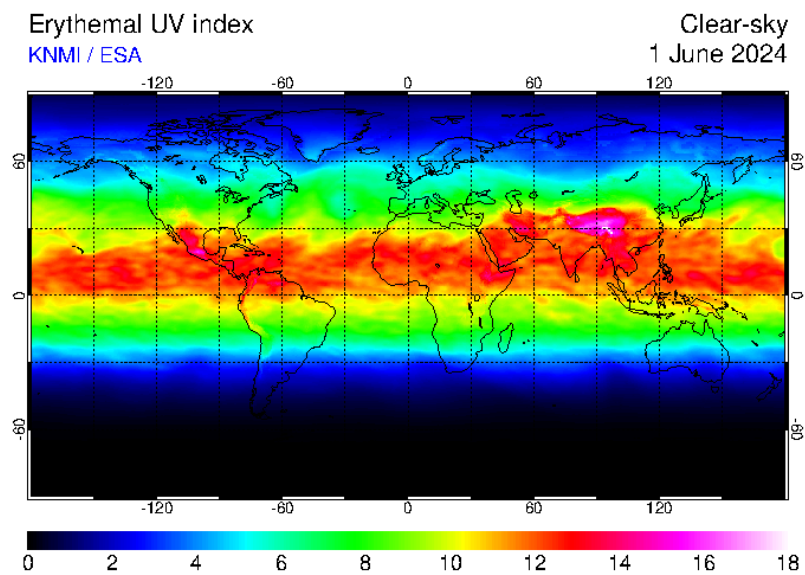
Figura 4 – Índice UV Global em 01/01/2024



Fonte: Tropospheric Emission Monitoring Internet Service

<https://www.temis.nl/uvradiation/UVarchive/uvief.php>

Figura 5 – Índice UV Global em 01/06/2024



Fonte: Tropospheric Emission Monitoring Internet Service

<https://www.temis.nl/uvradiation/UVarchive/uvief.php>

2.2 Albedo

Como observado, o Índice UV (e conseqüentemente os riscos da saúde ocular) depende da posição geográfica. A radiação espalhada é diferente para cada tipo de superfície, que por sua vez depende da “refletividade” de cada uma delas. À vista disso, o albedo é a relação entre a quantidade de radiação solar refletida pela superfície e a quantidade da radiação solar incidente. (Nery e Carfan, 2013)

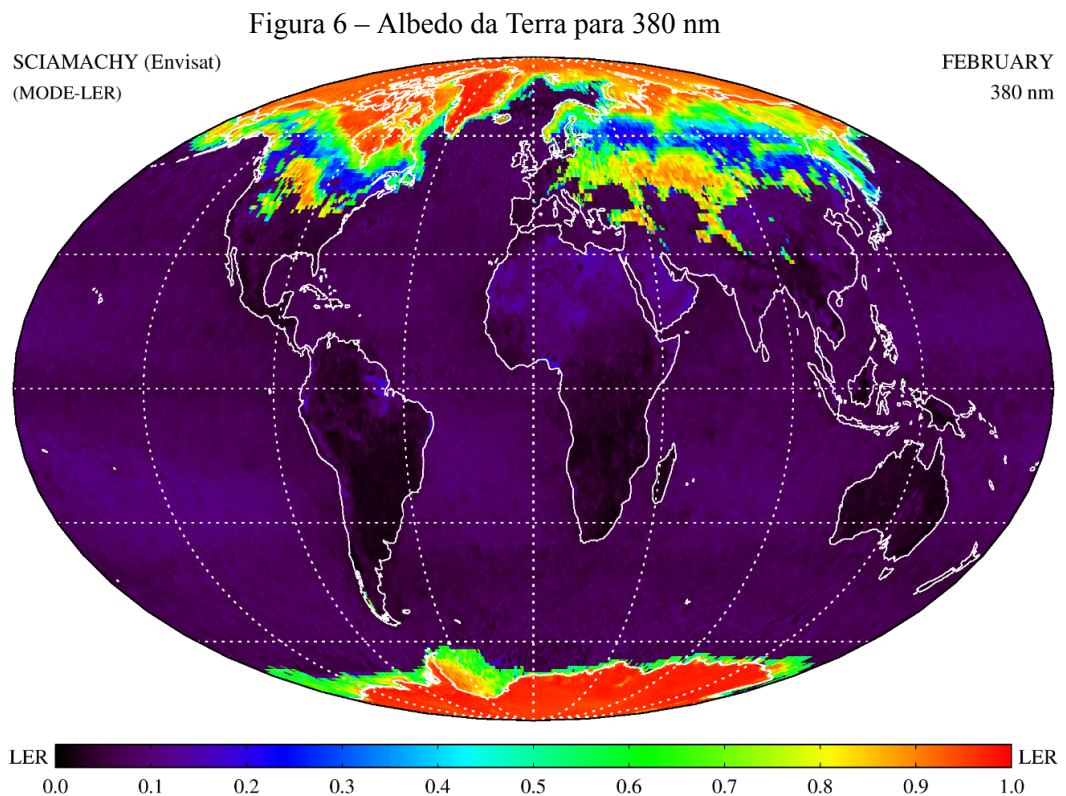
Assim, o albedo varia entre 0 e 1, sendo atribuído 0 à superfície que não reflete nenhuma radiação e absorve-a totalmente, e 1 à superfície que reflete toda radiação recebida. Além disso, também depende do comprimento de onda, mas para esse estudo, é considerado o albedo médio para o espectro ultravioleta no intervalo de $395\text{nm} \pm 5\text{nm}$. A Tabela 2 traz alguns valores de albedos característicos para diferentes superfícies, no intervalo UVA – UVB (280 – 400 nm).

Tabela 2 – Valores de albedos característicos para diferentes superfícies para UVA e UVB

Superfície	Albedo UVA	Albedo UVB
Areia	0,13	0,09
Grama	0,02	0,02
Água	0,07	0,05
Neve	0,94	0,88

Fonte: Adaptado Chadyšienė e Girgždys, 2008

A terra possui um albedo médio de 0,3, o que significa que de toda luz do sol que chega à terra, 30% é refletida pela superfície. Porém, para o espectro UV esse valor é menor com média de 0,1 (Chadyšienė e Girgždys, 2008), e pode ser observado na figura 6.



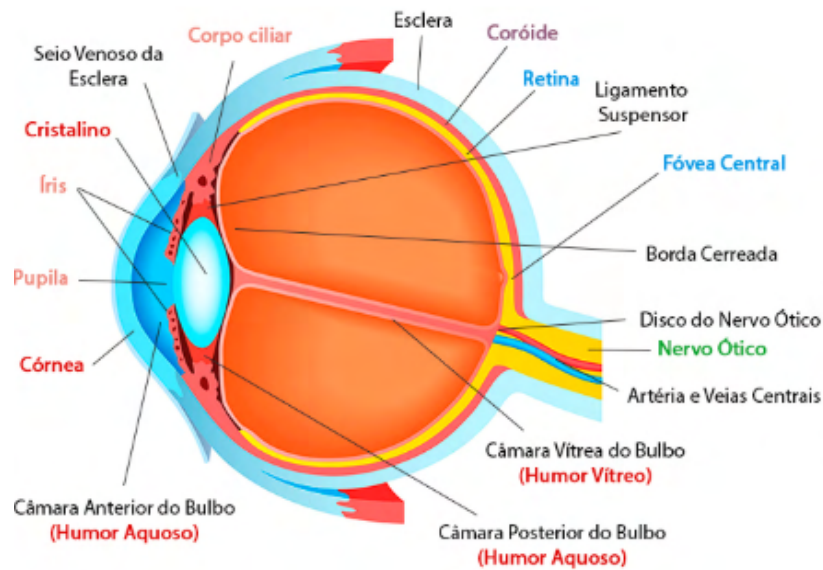
Fonte: Tropospheric Emission Monitoring Internet Service

2.3 Dano ocular causado pela radiação UV

O olho humano é um órgão complexo e responsável pela visão, composto por diversas partes que funcionam em harmonia para captar e processar a luz. Ele possui seis funções físicas essenciais, compostas por diferentes partes do olho (figura 7):

1. a refração, que é realizada pela córnea, pelo cristalino e pelos humores aquoso e vítreo;
2. a autofocalização, efetuada pelo cristalino e pelos músculos ciliares;
3. o controle da luminosidade interna, regulado pela íris e pela pupila;
4. a detecção da luz, realizada pela retina através dos cones e bastonetes;
5. a transmissão da informação visual ao cérebro, conduzida pelo nervo óptico e pelas vias ópticas;
6. e a refrigeração da retina, que é assegurada pela coróide. (Hogan, 1971)

Figura 7 – Estrutura do Olho Humano (Esquemático)



Fonte: Ventura e Masili, 2022

As principais estruturas do olho afetadas pelos efeitos biológicos da radiação ultravioleta são a córnea, o cristalino e a retina (Bergmanson e Soderberg, 1995). A córnea é uma camada transparente que cobre a parte frontal do olho e age como a primeira lente a refratar a luz. Já o cristalino ajusta seu formato para focar a luz na retina, que é uma camada de células fotossensíveis localizada no fundo do olho e converte a luz em sinais elétricos que são enviados ao cérebro.

2.3.1 Danos à Córnea

A radiação ultravioleta pode causar uma série de danos à córnea, o principal efeito é a fotoceratite, também chamada de cegueira da neve, que causa inflamação e morte celular na camada externa da córnea. Estudos demonstram que a exposição aguda à radiação solar intensa, direta ou refletida, pode causar fotoceratite em apenas 30 segundos. Ainda, a exposição crônica a baixas doses de radiação UV também afeta a córnea, causando alterações na morfologia das células endoteliais. (Bergmanson e Soderberg, 1995)

2.3.2 Danos ao Cristalino

A exposição à radiação UV é caracterizada como um fator de risco significativo para o desenvolvimento de cataratas, uma condição definida pela opacificação do cristalino que resulta em visão reduzida. Estudos epidemiológicos indicam que a exposição a essa radiação está correlacionada com uma maior incidência de catarata, especialmente em regiões com alta exposição solar. Por exemplo, pescadores em Hong Kong que passam mais de cinco horas diárias ao ar livre apresentam um risco aumentado de desenvolver catarata cortical. (Bergmanson e Soderberg, 1995)

Segundo experimentos realizados por Pitts (1977), a radiação UV induz opacidades corticais anteriores e posteriores, correspondendo a inchaço e eventual ruptura das células epiteliais do cristalino, levando à vacuolização e disfunção na manutenção do equilíbrio de fluidos nas células. (apud Bergmanson e Soderberg, 1995)

2.3.3 Danos à Retina

Embora a retina seja relativamente bem protegida contra a radiação ultravioleta, quantidades extremamente pequenas dessa radiação ainda podem causar danos. Conforme estudos referenciados por Bergmanson e Soderberg (1995), uma associação entre degeneração macular relacionada à idade e exposição ao sol foi observada em diversas populações, incluindo pescadores em Maryland.

2.3.4 ICNIRP

A Comissão Internacional de Proteção Contra Radiação Não Ionizante (ICNIRP) é uma organização especializada em estudar e avaliar os riscos associados à exposição do ser humano à radiação não ionizante, abrangendo as seguintes frequências:

- Campos Magnéticos Estáticos (0 Hz)
- Campos Elétricos Estáticos
- Baixa Frequência (1 Hz a 100 kHz)
- Campos Eletromagnéticos de Radiofrequência (100 kHz a 300 GHz)
- Infravermelho (780 nm a 1000 μm)
- Luz Visível (380 nm a 780 nm)
- Ultravioleta (100 nm a 400 nm)

Para cada faixa de frequência, a ICNIRP estabelece diretrizes sobre as quantidades de radiação seguras para exposição, estipulando limites seguros para a saúde. Para a radiação ultravioleta foi estabelecida uma tabela (2) da função de ponderação espectral ($S(\lambda)$) e de limites de exposição (EL), baseada nos efeitos biológicos de cada comprimento de onda (ICNIRP, 2004).

Tabela 3 – Limites de exposição UV e função de ponderação espectral.

λ (nm)	EL (Jm^{-2})	EL (mJcm^{-2})	$S(\lambda)$
180	2500	250	0,012
190	1600	160	0,019
200	1000	100	0,030
205	590	59	0,051
210	400	40	0,075
215	320	32	0,095
220	250	25	0,120
225	200	20	0,150
230	160	16	0,190
235	130	12	0,240
240	100	10	0,300
245	83	8,3	0,360
250	70	7	0,430

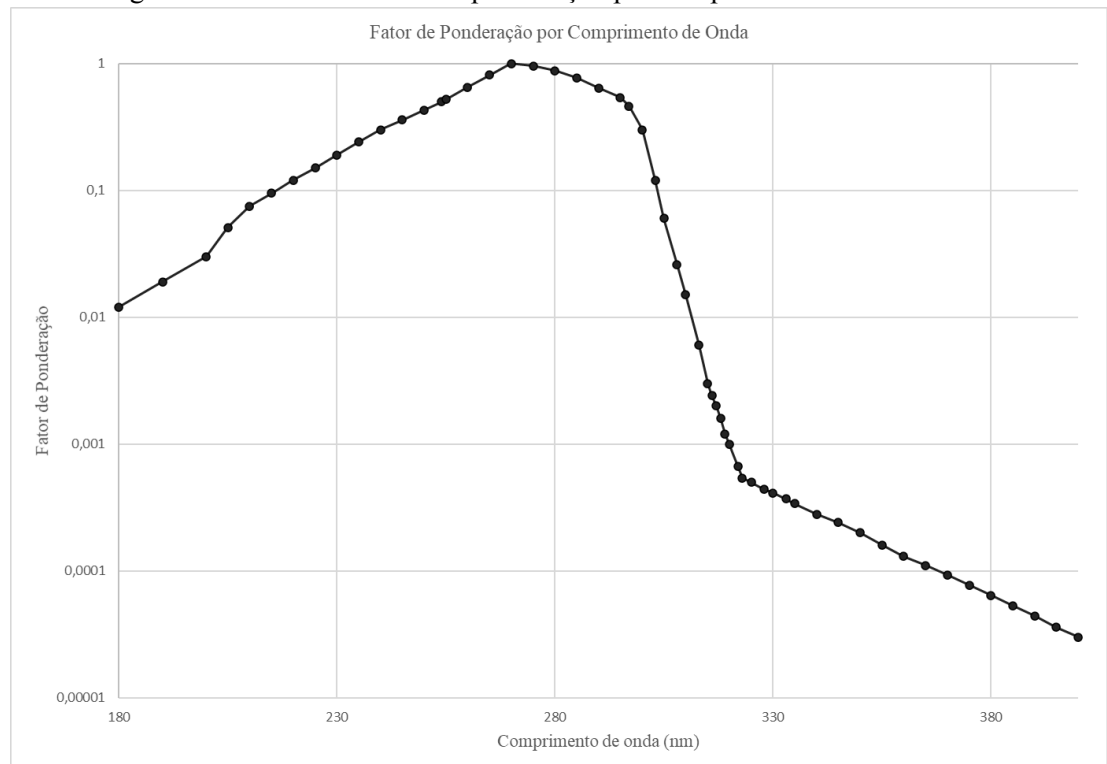
254	60	6	0,500
255	58	5,8	0,520
260	46	4,6	0,650
265	37	3,7	0,810
270	30	3	1,000
275	31	3,1	0,960
280	34	3,4	0,880
285	39	3,9	0,770
290	47	4,7	0,640
295	56	5,6	0,540
297	65	6,5	0,460
300	100	10	0,300
303	250	25	0,120
305	500	50	0,060
308	1200	120	0,026
310	2000	200	0,015
313	5000	500	0,006
315	1×10^4	1×10^3	0,003
316	$1,3 \times 10^4$	$1,3 \times 10^3$	0,0024
317	$1,5 \times 10^4$	$1,5 \times 10^3$	0,0020
318	$1,9 \times 10^4$	$1,9 \times 10^3$	0,0016
319	$2,5 \times 10^4$	$2,5 \times 10^3$	0,0012
320	$2,9 \times 10^4$	$2,9 \times 10^3$	0,0010
322	$4,5 \times 10^4$	$4,5 \times 10^3$	0,00067
323	$5,6 \times 10^4$	$5,6 \times 10^3$	0,00054
325	6×10^4	6×10^3	0,00050
328	$6,8 \times 10^4$	$6,8 \times 10^3$	0,00044
330	$7,3 \times 10^4$	$7,3 \times 10^3$	0,00041

333	$8,1 \times 10^4$	$8,1 \times 10^3$	0,00037
335	$8,8 \times 10^4$	$8,8 \times 10^3$	0,00034
340	$1,1 \times 10^5$	$1,1 \times 10^4$	0,00028
345	$1,3 \times 10^5$	$1,3 \times 10^4$	0,00024
350	$1,5 \times 10^5$	$1,5 \times 10^4$	0,00020
355	$1,9 \times 10^5$	$1,9 \times 10^4$	0,00016
360	$2,3 \times 10^5$	$2,3 \times 10^4$	0,00013
365	$2,7 \times 10^5$	$2,7 \times 10^4$	0,00011
370	$3,2 \times 10^5$	$3,2 \times 10^4$	0,000093
375	$3,9 \times 10^5$	$3,9 \times 10^4$	0,000077
380	$4,7 \times 10^5$	$4,7 \times 10^4$	0,000064
385	$5,7 \times 10^5$	$5,7 \times 10^4$	0,000053
390	$6,8 \times 10^5$	$6,8 \times 10^4$	0,000044
395	$8,3 \times 10^5$	$8,3 \times 10^4$	0,000036
400	1×10^6	1×10^5	0,000030

Fonte: Adaptado ICNIRP (2004)

A partir dessa tabela, elaborou-se um gráfico (figura 8) para melhor visualização do fator de ponderação ($S(\lambda)$) com escala logarítmica em função do comprimento de onda (λ).

Figura 8 – Gráfico do Fator de ponderação por comprimento de onda



Fonte: Elaborado pelo autor adaptado ICNIRP (2004)

Assim, as diretrizes da ICNIRP (2004) estabelecem os limites máximos de exposição dos olhos como sendo 30 Jm^{-2} para o espectro de 180 nm a 400 nm e sendo 10^4 Jm^{-2} para a região espectral de 315 nm a 400 nm, levando em consideração o fator de ponderação.

À vista disso, faz-se necessário a proteção ocular para que esses limites não sejam ultrapassados e a saúde ocular seja preservada.

2.3.5 Proteção Ocular natural

O olho possui mecanismos naturais de proteção contra a radiação UV, principalmente a constrição da pupila e o fechamento parcial dos olhos conhecido como *squinting*. (Bergmanson e Soderberg, 1995)

- A constrição pupilar consiste na redução do diâmetro da pupila em resposta à luz que chega ao olho. Este mecanismo é controlado pelo reflexo pupilar.
- O *squinting* consiste na contração dos músculos da face e fechamento parcial das pálpebras. Dessa maneira, o campo de visão é reduzido.

Em ambos os casos, a quantidade de luz e conseqüentemente de radiação UV que

entra nos olhos são reduzidas.

2.4 Óculos de Sol e suas Normas

Quando as proteções naturais não são suficientes, em ambientes com muita incidência de luz solar, faz-se necessário o uso de óculos de sol para reduzir a quantidade de radiação UV que alcança os olhos. Além de exigir a realização de testes de resistência física, as normas de óculos de sol, exigem testes de bloqueio de RUV, para fazer o controle desse bloqueio de radiação.

A norma brasileira ABNT NBR ISO 12312-1 abrange a proteção dos olhos e do rosto de óculos para proteção solar de uso geral, e é espelho da norma internacional ISO 12312-1 elaborada pela *International Organization for Standardization*. Assim, a norma classifica os óculos de sol a partir da transmitância da lente em 5 categorias conforme a tabela 4.

Tabela 4 – Categorias dos óculos de sol

Categoria	Transmissão da Luz visível
0	>80%
1	43% - 80%
2	18% - 43%
3	8% - 18%
4	3% - 8%

Fonte: Adaptado ABNT NBR ISO 12312-1 2023

Diante do exposto, as categorias mais presentes no mercado são 2 e 3, classificados como óculos para proteção solar de uso geral. Enquanto as categorias 0 e 1 são menos comuns, por apresentarem uma transmitância maior da luz visível, conseqüentemente menos conforto ocular em ambientes claros. Já a categoria 4, de uso em ocasiões especiais, é pouco usada e comercializada, além de ser de uso impróprio para direção.

Assim, para cada categoria, a norma estabelece uma proteção UV necessária, uma vez que conforme a lente fica mais escura, menos as proteções naturais são utilizadas, pois

respondem à luz visível. Dessa forma, conforme a transmitância da luz visível diminui é necessário aumentar o bloqueio de luz UV para garantir a saúde ocular do usuário.

Os testes são realizados em espectrofotômetros (exemplo na figura 9), equipamento que capta a intensidade de cada comprimento de onda com extrema precisão, além das medidas serem ponderadas seguindo a sensibilidade do olho humano. (Ventura e Masili, 2022)

Figura 9 - Espectrofotômetro modelo Cary 5000 UV-Vis-NIR



Fonte:

<https://www.agilent.com/en/product/molecular-spectroscopy/uv-vis-uv-vis-nir-spectroscopy/uv-vis-uv-vis-nir-systems/cary-5000-uv-vis-nir>

Os requisitos de transmitância luminosa estão presentes na tabela 5 e dependem da categoria de lente. Logo, a transmitância dos filtros UV (lentes) é em função da transmitância da luz visível.






Tabela 5 – Transmitância para filtros de óculos de sol para uso geral (NBR ISO 12312-1:2023)

Etiqueta para consumidor	Etiqueta técnica	Requisitos		
		Faixa do espectro visível	Faixa do espectro ultravioleta	
Uso	Categoria filtro	Faixa de transmitância luminosa τ_V 380 até 780	Valor máximo de transmitância solar UV-B τ_{SUVB} 280 até 315	Valor máximo de transmitância solar UV-A τ_{SUVA} 315 até 380
Óculos para proteção solar no matiz de luz	0	$\tau_V > 80\%$	0,05 τ_V	τ_V
	1	$43\% < \tau_V < 80\%$	0,05 τ_V	τ_V
Óculos para proteção solar de uso geral	2	$18\% < \tau_V < 43\%$	1,0% absoluto ou 0,05 τ_V , o que for maior	0,5τ_V
	3	$8\% < \tau_V < 18\%$	1,0% absoluto	0,5τ_V
Óculos para proteção solar muito escuro para ocasiões especiais	4	$3\% < \tau_V < 8\%$	1,0% absoluto	1,0% absoluto ou 2,5% τ_V , o que for maior

Fonte: Adaptado ABNT NBR ISO 12312-1 2023

Além disso, a norma utiliza símbolos atribuídos para cada categoria, que informam ao usuário a descrição dos óculos e o uso para o qual os óculos são destinados. Esses símbolos estão expostos na figura 10 e devem ser advertidos nas embalagens para a visualização do comprador.

Tabela 6 – Descrição das categorias de filtro e símbolos atribuídos

Categoria	Descrição	Uso	Símbolo
0	Óculos para proteção Solar de tonalidade clara	Proteção muito limitada do brilho solar Proteção UV limitada	 IEC 60417-5955
1		Proteção limitada do brilho solar Proteção UV moderada	 ISO 7000-2948
2	Óculos para proteção solar de uso geral	Boa proteção contra o brilho solar Boa proteção UV	 ISO 7000-2949
3		Alta proteção contra o brilho solar Boa proteção UV	 ISO 7000-2950
4	Óculos para proteção solar muito escuros, para fins especiais	Proteção muito alta contra o brilho solar extremo Boa proteção UV	 ISO 7000-2951

Fonte: Adaptado ABNT NBR ISO 12312-1 2023

Entretanto, é possível destacar uma possível lacuna de avaliação da proteção ocular na norma atual, uma vez que a proteção UV é avaliada apenas pela transmitância da lente entre 280 nm – 380 nm. A lacuna refere-se ao teste para bloqueio de luz de radiação UV difusa pela geometria das armações. Testes em armações nas normas para óculos de sol são referentes apenas para sua estrutura como rigidez e durabilidade.

O estudo de Kwok (2003) realizado na Austrália, país com IUV parecido, devido a estar em latitude equivalente a do Brasil, destaca a falta de proteção de armações com a radiação ultravioleta difusa no ambiente, que chega aos olhos pelos espaços superior, inferior, nasal e temporal, deixados na armação. Com esse foco, Kwok propõe lentes de contato com proteção UV.

Consoante ao exposto, esse estudo visa propor um teste para exibir a qualidade de proteção UV proporcionada por diferenças na geometria das armações de óculos de sol. Os espaços superior, inferior, nasal e temporal podem variar de acordo com mudanças de tamanho e formato nas hastes, ponte, charneira e aro das armações, que são partes integrantes dos óculos e representadas na figura 10.

Figura 10 – Partes principais dos óculos de sol.



Fonte: Ventura e Masili, 2022

Assim, os membros do Laboratório de Instrumentação Oftálmica (LIO) da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC) propuseram uma diferenciação dos tipos de óculos de sol (figura 11), baseado nos tamanhos das hastes, ponte e aro, em conformidade com as mais de 350 amostras presentes no seu repositório.

Figura 11 – Tipos de armações de óculos de sol



Fonte: Elaborado no Laboratório de Instrumentação Oftálmico (2023)

3 METODOLOGIA

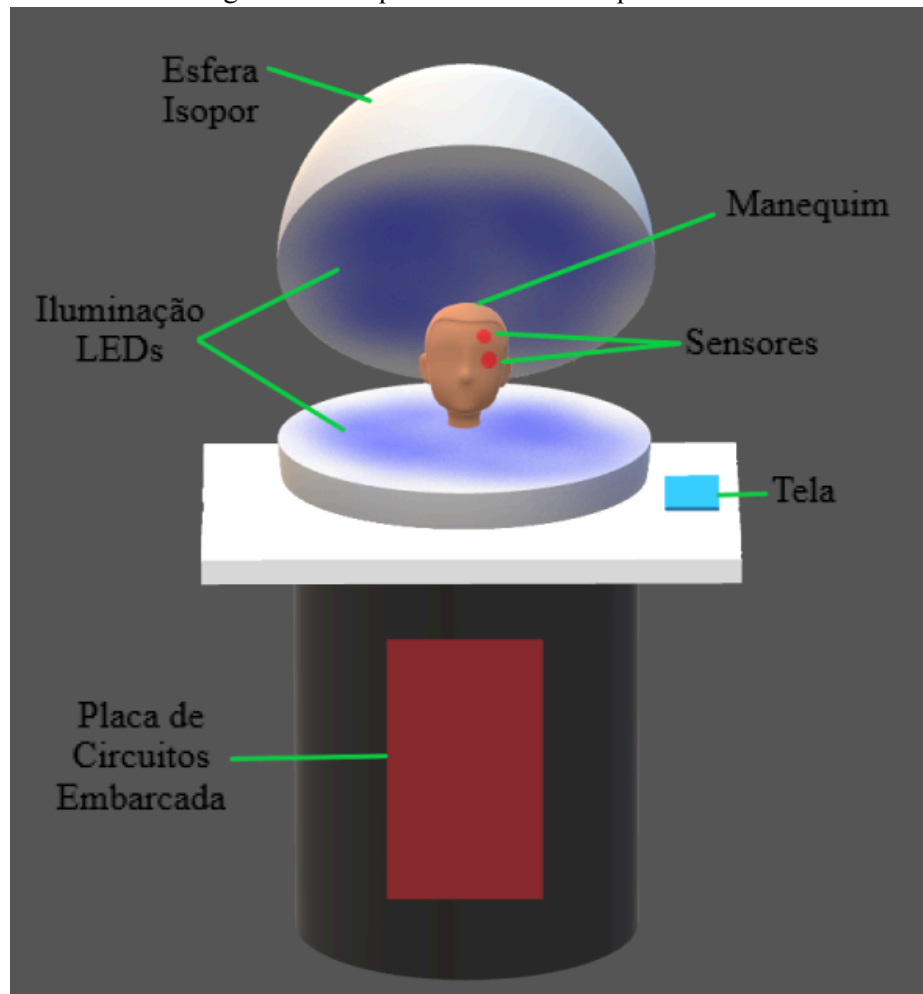
3.1 Protótipo

O dispositivo experimental concebido para este estudo visa simular um ambiente real com luz espalhada, a fim de testar a hipótese levantada acerca da proteção ocular contra a radiação UV dos óculos de sol, que se refere ao conjunto de armação dos óculos e lentes.

Foi desenvolvido um protótipo (figura 12), que ficará posteriormente exposto para interação do público, e que é composto por um espaço esférico, iluminado por fitas de LEDs, onde está posicionada uma cabeça de manequim. Um dos olhos do manequim está equipado com um sensor óptico, enquanto outro sensor posicionado acima do olho, não coberto pelos óculos de sol sujeitos a testes, funciona como um sensor de referência.

Especificamente, a esfera possui 50 cm de diâmetro e é composta de material isopor, por refletir bem a luz, não alterar a iluminação ultravioleta, por possíveis efeitos de fluorescência, e simular um ambiente próximo ao real visto seu aspecto irregular. A iluminação é feita por fitas de LEDs posicionadas em meridianos espaçados em aproximadamente $22,5^\circ$ (16 fitas por semiesfera). O controle do conjunto LEDs-Sensores é de responsabilidade do sistema embarcado, composto por placas de circuito impresso. Além disso, a manipulação do protótipo é feita pelo usuário por meio de uma tela sensível ao toque.

Figura 12 – Esquemático do Protótipo



Fonte: Elaborado pelo autor

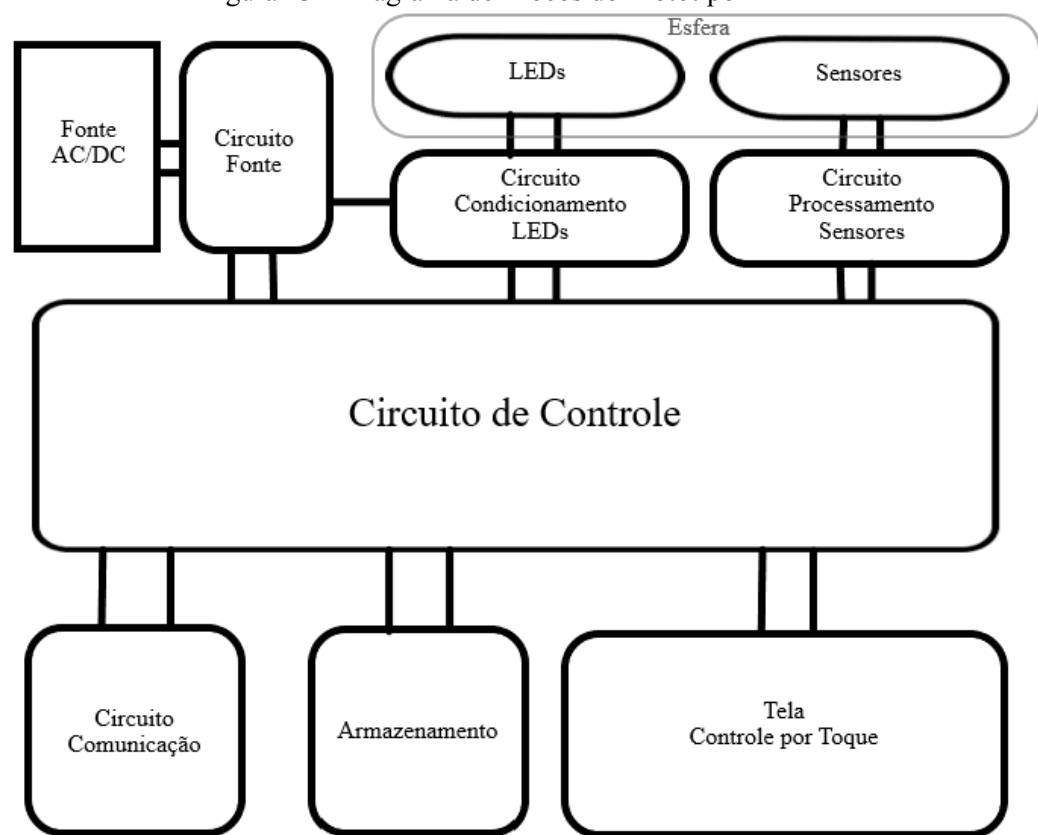
O sistema embarcado, especificado no diagrama de blocos da Figura 13, possui 8 blocos de funções, como se vê:

1. Fonte AC/DC: responsável por converter a tensão da rede elétrica AC em tensão DC, fornecendo energia ao sistema.
2. Circuito Fonte: responsável por transformar a tensão única da fonte em diversos níveis de tensão utilizados no sistema.
3. Circuito de controle: composto principalmente pelo microcontrolador, responsável pela coordenação dos outros componentes.
4. Circuito de comunicação: responsável pela comunicação com o sensor de irradiância solar, instalado no prédio do Departamento de Engenharia Elétrica, em São Carlos.
5. Armazenamento: composto por um cartão microSD, utilizado para armazenar as

informações coletadas em cada teste.

6. Circuito de Condicionamento dos LEDs: responsável por variar a tensão de acionamento dos LEDs, e fornecer corrente correspondente.
7. Circuito de Processamento dos Sensores: responsável por filtrar e amplificar o sinal gerado pelos sensores.
8. Tela sensível ao toque: componente utilizado pelo usuário para acionar o protótipo e realizar testes.

Figura 13 – Diagrama de Blocos do Protótipo



Fonte: Elaborado pelo autor

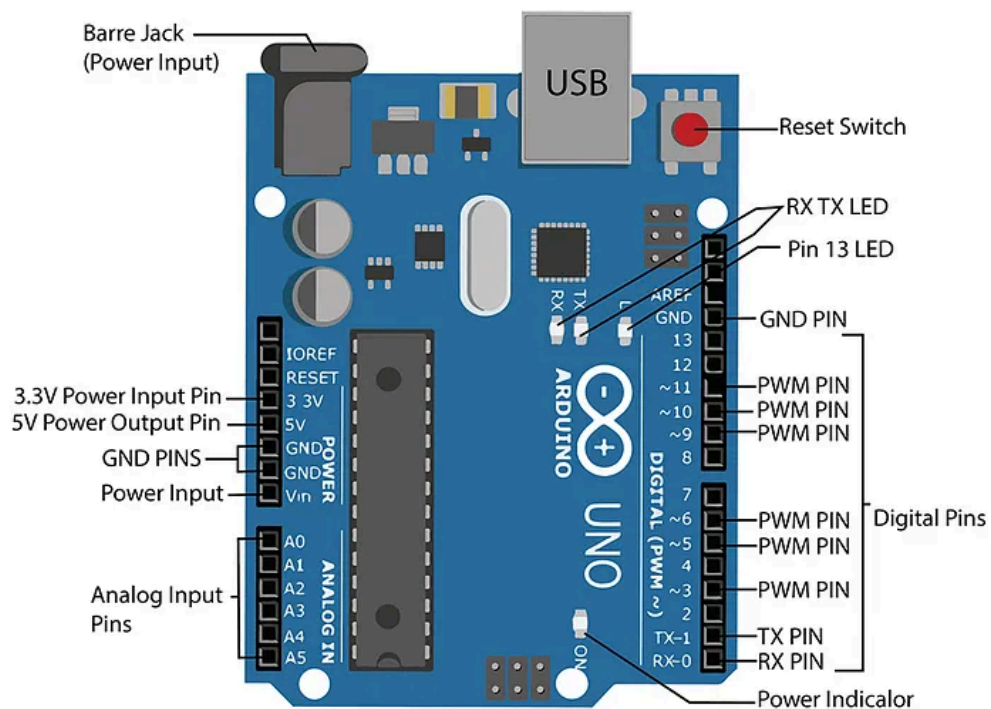
O estudo foi realizado em duas etapas, primeiramente um conjunto LEDs-Sensores com especificações de trabalho no espectro da luz visível (vermelho, 750nm), pela disponibilidade de componentes no país, foi utilizado para validar a hipótese e o funcionamento do protótipo. Em uma segunda etapa., o conjunto LEDs-Sensores foi substituído por um na faixa de operação da radiação UVA (395nm), para que incluía o espectro de 380 – 400nm, importante para a proteção ocular (Masili e Ventura, 2015), e assim já testar se, além da armação, o conjunto lente armação protege nesta região do espectro, a ser estudado.

Na mudança do LED emissor, o sistema se manteve inalterado para os blocos do Circuito de Controle, Circuito de Comunicação, Armazenamento e Tela por toque, porém para cada conjunto de simulação, foi necessário alterar os blocos da Fonte, Circuito da Fonte, Circuito de Condicionamento dos LEDs e Circuito de Condicionamento dos Sensores conforme necessidade dos componentes agora na região UVA do espectro eletromagnético.

3.1.1 Circuito de Controle

O circuito de controle é composto principalmente pela placa microcontroladora Arduino UNO R3, que contém um microcontrolador ATmega328P, com 14 portas digitais, das quais 6 podem ser usadas como saídas PWM (figura 14). Essa placa liga o microcontrolador aos outros componentes do sistema, possibilitando centralizar o controle em um único componente.

Figura 14 – Placa Arduino UNO R3 e identificação das portas



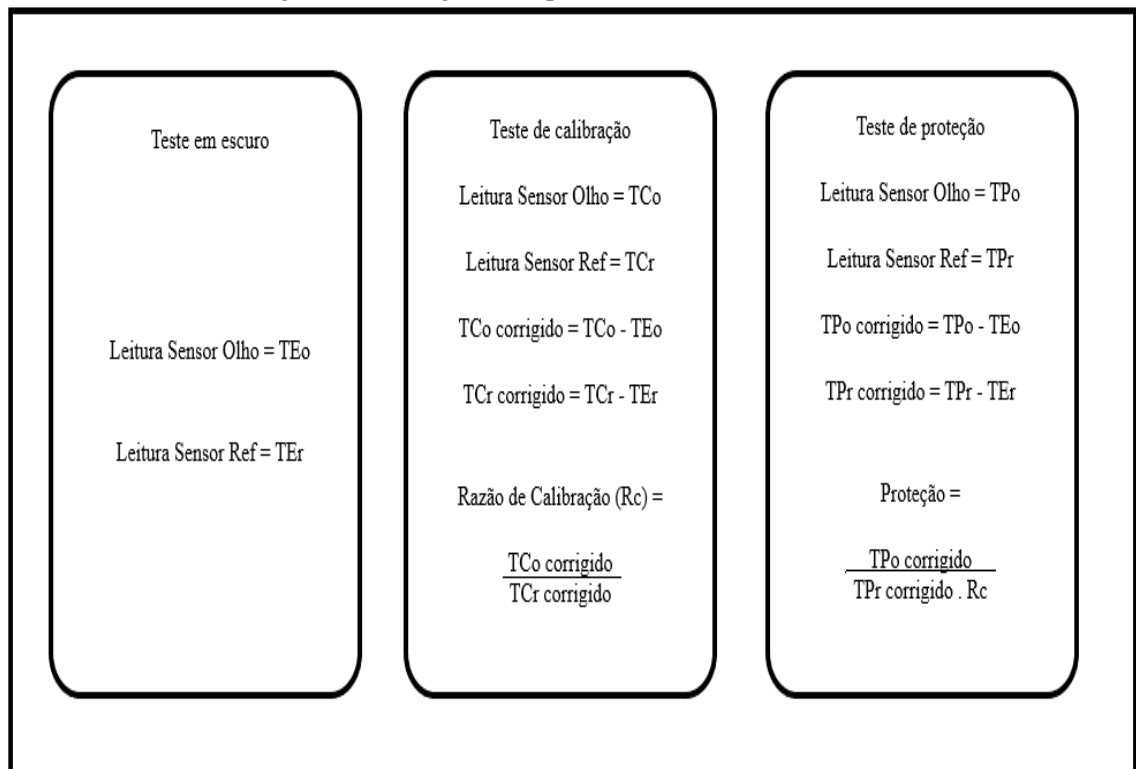
Fonte: <https://vishal-adhore20.medium.com/blo-on-arduino-uno-r3-993e5409145a>

O microcontrolador, além de acionar as outras partes do sistema, é responsável por calcular o bloqueio de luz das armações de óculos de sol a partir dos dados gerados pelo

sensor, que coleta 500 medidas e realiza a média aritmética, em diferentes testes: Teste em escuro, teste de calibração e teste de proteção, conforme as equações do diagrama da figura 15.

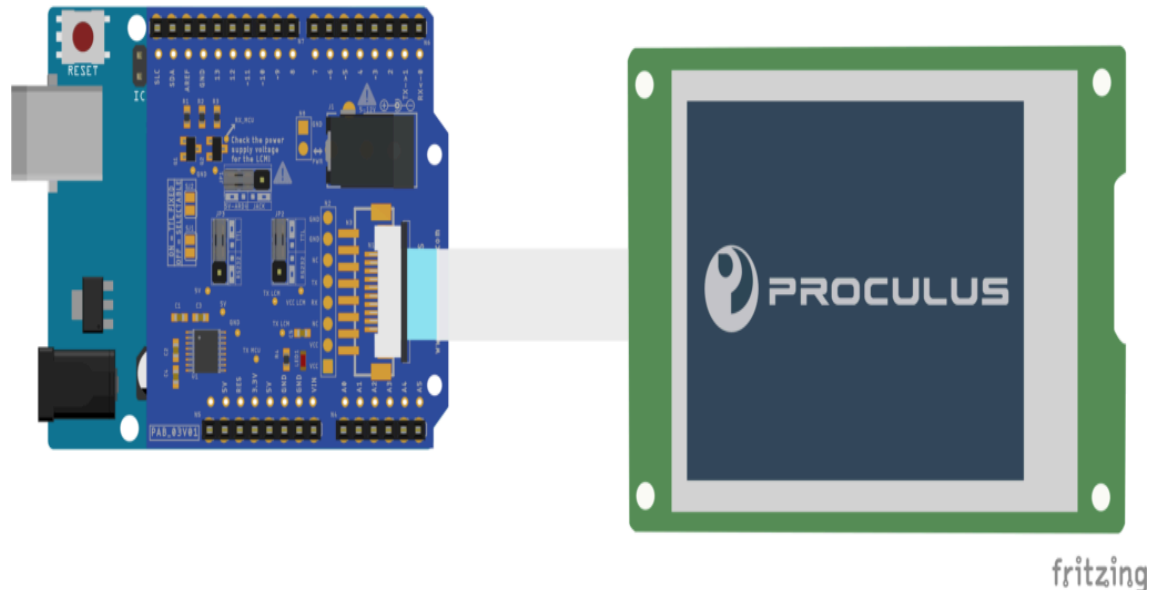
- O teste em escuro (TE) ocorre com todos os LEDs apagados, para captar qualquer valor de interferência das medidas dos dois sensores, como luz externa e ruídos. Com isso, obtém-se o 0% do sistema.
- O teste de calibração (TC) ocorre com todos os LEDs acesos em valor definido, para obter as leituras de 100% dos dois sensores, o que possibilita o cálculo da razão de calibração, usada para corrigir eventuais flutuações no sinal recebido, no teste de proteção.
- O teste de proteção ocorre com os LEDs acesos no valor definido, com os óculos posicionados na cabeça do manequim, assim utilizando a razão de calibração é possível corrigir a leitura do sensor da testa (referência) para ter o 100% real do sistema, e ao comparar com a leitura do sensor do olho, calcula-se a razão entre a luz que chega ao olho sem os óculos e com os óculos. Assim, obtém-se o bloqueio de luz da armação dos óculos de proteção solar.

Figura 15 – Diagrama explicativo dos testes



Ademais, há o uso de um *shield* PAB-03 ilustrado na Figura 16, que é acoplado à placa Arduino para comunicação com a tela via cabo *flat*. Esse *shield* é específico para este tipo de tarefa, uma vez que faz a alimentação da tela e permite, tanto enviar, quanto receber informações e comandos.

Figura 16 – *Shield* PAB-03 para placa Arduino UNO R3 e comunicação com a Tela

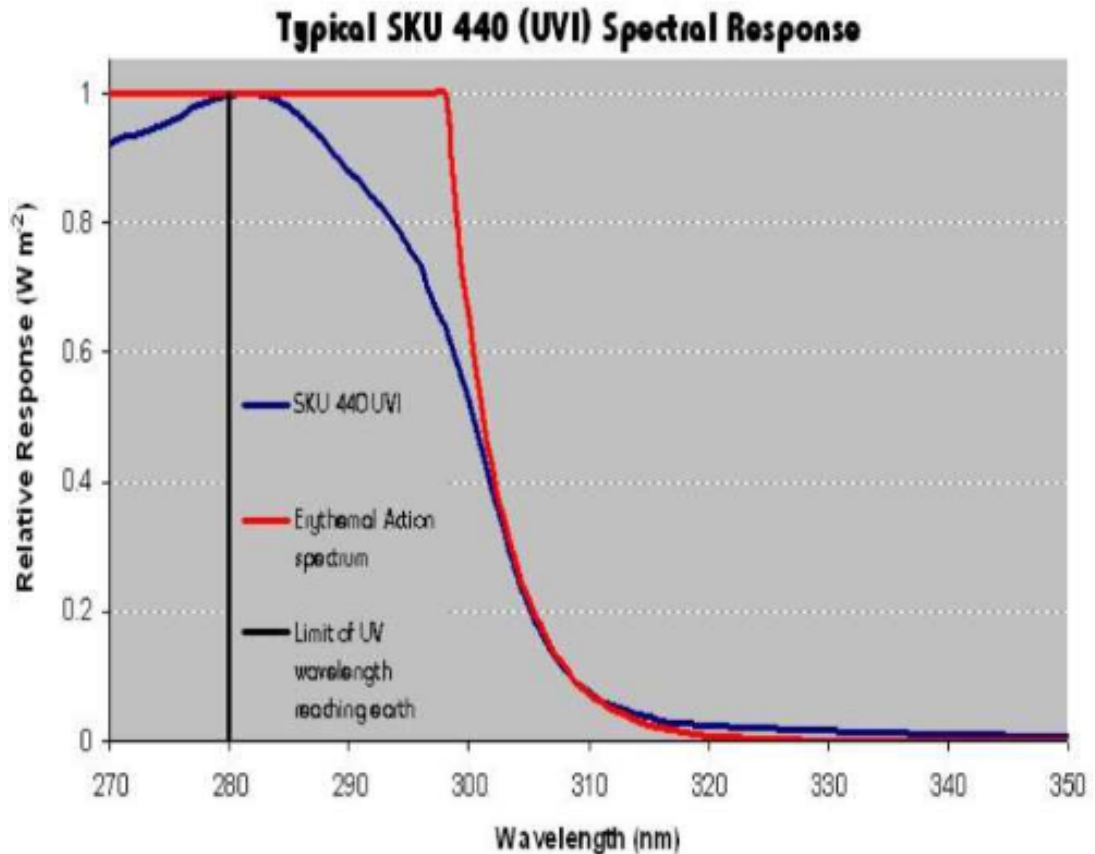


Fonte: <https://victorvision.com.br/blog/shield-arduino-para-displays-inteligentes-proculus/>

3.1.2 Circuito de Comunicação

Uma simulação a ser realizada no equipamento envolve a reprodução proporcional do índice UV no campus da USP em São Carlos no exato momento do teste. Para isso, utiliza-se do sinal gerado pelo sensor SKU440, já instalado no prédio do Departamento de Engenharia Elétrica. Esse sensor é referência na aplicação, uma vez que é extremamente preciso e calibrado segundo a referência das Normas Internacionais (figura 17). Desse modo, é ideal para monitoramento de longa duração.

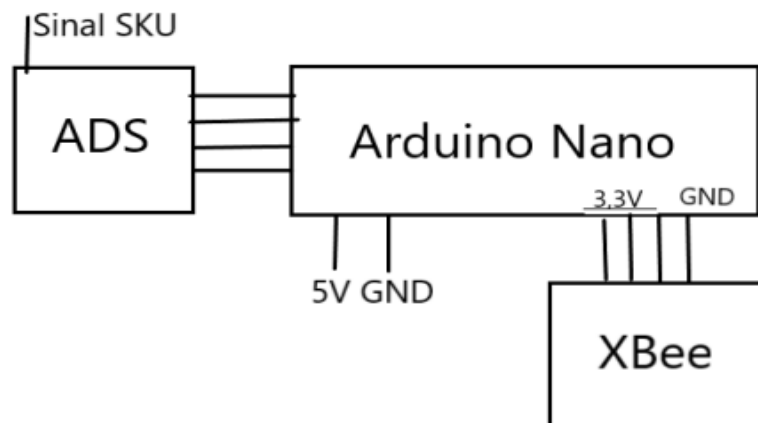
Figura 17 – Resposta espectral do SKU440



Fonte: <https://www.alliance-technologies.net/app/uploads/2019/04/uvi-dts-v1a.pdf>

O SKU440 capta a irradiância solar no ambiente e gera um sinal em nível de tensão. Então, utiliza-se um conversor A/D (ADS), para transformar esse sinal analógico em digital. Em seguida, é enviado para um ARDUINO NANO que processa os dados recebidos, os quais são divididos em 26640 passos de nível de tensão, gerando a informação do índice UV na escala de 0 a 16, em que cada IUUV representa 12,51 mV. Esse índice é enviado por meio de um módulo de comunicação ZigBee XBee Pro S2C, que possui protocolos confiáveis e codificados por meio de conexão *wireless* (sem fio) de frequência 2,4 GHz. O diagrama de blocos contendo as etapas deste circuito está apresentado na figura 18.

Figura 18 – Circuito de Emissão
Emissor RF



Fonte: Elaborado pelo autor

Além disso, há um Xbee conectado ao Arduino UNO do circuito de controle. Assim, o Xbee realiza a comunicação e recepção do sinal do IUV, e o microcontrolador decodifica.

3.1.3 Tela para controle

A tela escolhida para a implementação no protótipo foi a modelo P48272V43C_T07 (figura 19) da fabricante Victor Vision. Um painel LCD com controle de toque, resolução de 480x272 px e tamanho de 4,3". Este, como mencionado anteriormente, é conectado via cabo *flat* ao *shield* no Arduino UNO, desse modo, há a troca de informações de comando entre a tela e o microcontrolador.

Figura 19 – Imagem Ilustrativa da tela P48272V43C_T07



Fonte: Datasheet Victor Vision

Por meio do *software* UnicView AD, foi realizada a programação da tela, na qual interações como botão, mostrador, entre outras, foram criadas e variáveis de valor definidas. Dessa forma, o usuário consegue acionar o protótipo de maneira interativa, intuitiva e funcional (figura 20).

Figura 20 – Imagem da Tela Inicial do protótipo



Fonte: Elaborado pelo autor

Na sequência, é solicitada uma série de informações sobre os óculos (figura 21) a fim de catalogar os resultados de bloqueio de luz em função do tipo de óculos de sol. Dessa

forma, o usuário responde, baseado nas imagens ilustrativas, qual o tipo de óculos de sol, seu formato, tamanho e material da parte frontal (aro), além da espessura e do material das hastes; cor, tipo e escuridão das lentes.

Figura 21 – Informações sobre os óculos de sol a serem testados

<p>SELECIONE O TIPO DE ARMAÇÃO DOS SEUS ÓCULOS</p>  <p>INÍCIO</p>	<p>QUAL O FORMATO DA PARTE FRONTAL DA SUA ARMAÇÃO?</p> <p>VISEIRA REDONDA QUADRADA</p> <p>VOLTAR INÍCIO</p>
<p>QUAL O TAMANHO DA PARTE FRONTAL DA SUA ARMAÇÃO?</p> <p>PEQUENA MÉDIA GRANDE</p> <p>VOLTAR INÍCIO</p>	<p>QUAL O MATERIAL DA PARTE FRONTAL DA SUA ARMAÇÃO?</p> <p>MADEIRA PLÁSTICO BORRACHA METAL</p> <p>VOLTAR INÍCIO</p>
<p>QUAL A ESPESSURA DAS HASTES LATERAIS DOS SEUS ÓCULOS?</p> <p>FINA MÉDIA LARGA MUITO LARGA</p> <p>VOLTAR INÍCIO</p>	<p>QUAL O MATERIAL DAS HASTES LATERAIS DA SUA ARMAÇÃO?</p> <p>MADEIRA PLÁSTICO BORRACHA METAL</p> <p>VOLTAR INÍCIO</p>
<p>QUAL A COR DA LENTE DOS ÓCULOS?</p> <p>MARROM VERDE PRETO AZUL</p> <p>VOLTAR INÍCIO</p>	<p>QUAL O TIPO DE LENTE EM RELAÇÃO À COR?</p> <p>NORMAL</p> <p>EM DEGRADÉ</p> <p>VOLTAR INÍCIO</p>
<p>QUAL O GRAU DE ESCURIDÃO DA SUA LENTE?</p> <p>BAIXO MÉDIO ALTO</p> <p>VOLTAR INÍCIO</p>	<p>SALVANDO INFORMAÇÕES</p> <p>AGUARDE</p>

Fonte: Elaborado pelo autor

A prossecução se dá pela eleição do tipo de teste (figura 22) a realizar:

- Teste rápido, no qual as fitas de LEDs são acesas em valor nominal em ambas as semiesferas, simulando um ambiente com albedo alto, o que seria o pior cenário para óculos com pouco bloqueio de luz nas armações.
- Teste personalizado, o qual consiste na escolha do usuário pelo tipo de céu a ser simulado na semi esfera superior, e o tipo de albedo a ser simulado na inferior.
- Teste São Carlos Hoje, no qual as fitas de LEDs são acionadas com um valor proporcional ao IUV captado pelo SKU440, variando de 1 à 16, que é mostrado ao usuário.

Figura 22 – Tela da escolha do tipo de teste



Fonte: Elaborado pelo autor

O teste personalizado permite a escolha do tipo do céu a ser simulado (figura 23). Os céus são classificados pela sua faixa percentual segundo o sistema CEUs CIE, que é uma classificação universal baseada nas condições de iluminação do espaço (Michel, 2020). As opções disponíveis para o usuário, seguindo a tabela 7, são Limpo (tipo 15), Limpo com nuvens (tipo 12), Pouca nuvem (tipo 10), Parcialmente encoberto (tipo 7), Muita nuvem (tipo 4) e Chuvoso (tipo 2). Assim, as fitas de LEDs são ligadas com o percentual da faixa de operação das mesmas, proporcionalmente ao tipo de céu escolhido.

Tabela 7 – Classificação dos céus CIE utilizados

Tipos de céu CIE	Percentual de céu CIE
15	100%
12	80%
10	70%
7	50%
4	30%
2	10%

Fonte: Adaptado Michel, 2020

Figura 23 – Tela da escolha do tipo de céu



Fonte: Elaborado pelo autor

Em acréscimo, há a escolha da superfície (figura 24) a ter seu albedo simulado na semi esfera inferior, na qual as fitas de LEDs serão ligadas com a intensidade resultante da multiplicação da intensidade do céu e do albedo correspondente. As opções disponíveis são terra, asfalto, natureza, água, gelo e cidade.

Figura 24 – Tela da escolha do tipo de albedo



Fonte: Elaborado pelo autor

Com as intensidades dos LEDs definidas, o protótipo realiza os testes de escuro e de calibração, enquanto solicita ao usuário que aguarde (figura 25), pois demora cerca de 30s para finalizar o procedimento.

Figura 25 – Tela de aguarde durante os testes de escuro e calibração



Fonte: Elaborado pelo autor

Ao coletar as medidas necessárias e calcular a razão de calibração, é mostrado ao usuário os procedimentos para a realização do teste de proteção (Figura 26): tela sobre o momento e o modo de abrir a esfera e posicionar os óculos de sol; tela de aguarde enquanto é realizado o teste; e tela do momento de abrir a esfera e retirar os óculos testados.

Figura 26 – Telas do teste de proteção



Fonte: Elaborado pelo autor

Ao final do processo, é calculado o bloqueio de luz fornecido pela armação dos óculos testados e o resultado é apresentado para o usuário (Figura 27). Ao final, a tela mostra uma mensagem de agradecimento pela contribuição com a pesquisa, haja vista que esse protótipo tem como finalidade ser exposto no campus da USP em São Carlos e em feiras da área para disseminar o conhecimento acerca do assunto, de modo a coletar um grande banco de dados para análise.

Figura 27 – Telas de resultado e de agradecimento

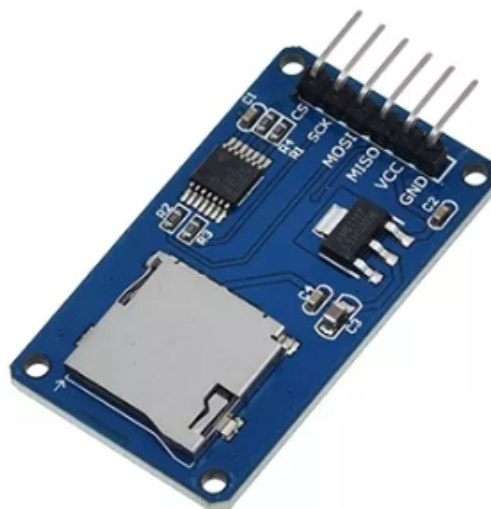


Fonte: Elaborado pelo autor

3.1.4 Armazenamento

Para armazenar todas as informações coletadas durante o teste, usa-se um cartão micro SD conectado via módulo leitor de cartão microSD para arduino (figura 28). Dessa forma, é possível coletar dados de diversos óculos de sol, cujos testes serão realizados pelo público frequente no campus universitário, e salvá-los em formato de texto (.txt) para futura manipulação.

Figura 28 – Módulo leitor de cartão microSD para arduino



Fonte: <https://acesse.one/modulomicrosd>

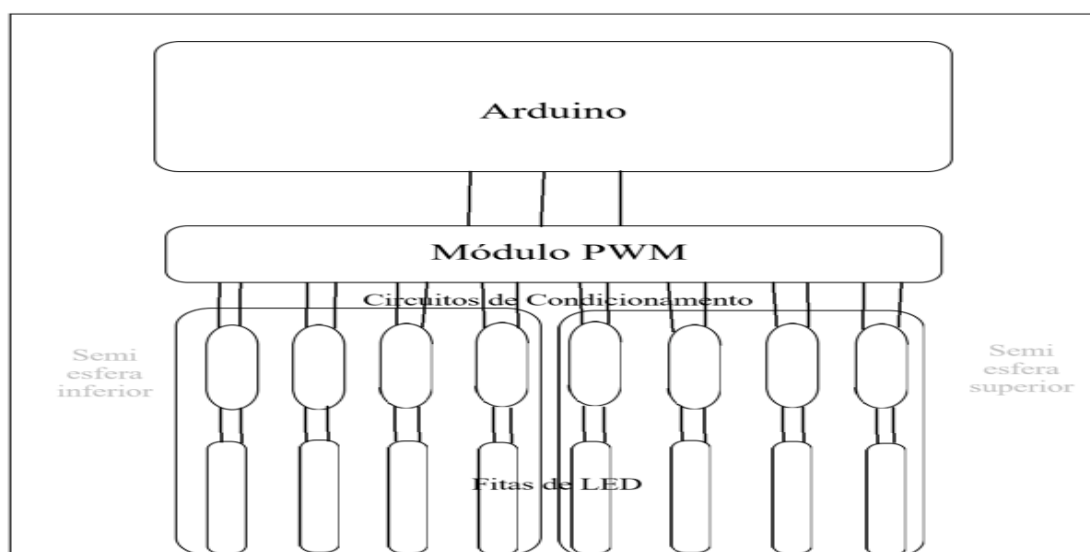
3.2 Sistema com luz visível

Para implementar o protótipo em primeiro momento, foram utilizados componentes disponíveis no mercado nacional e que cumprissem a função corretamente, dessa forma o conjunto LED-Sensor escolhido foi um que tivesse banda de emissão e sensoriamento no espectro da luz visível.

3.2.1 LEDs 750 nm

À vista disso, as fitas de LEDs utilizadas foram do modelo SMD5050 de comprimento de onda de 750 nm (vermelho), fita que trabalha na faixa de 8V a 12V. A princípio, a ideia era dividir a esfera em octantes independentes (4 na semi esfera superior e 4 na inferior), assim, pela limitação de 6 portas PWM do Arduino UNO, foi necessário controlar por meio de um módulo PWM com 16 portas e comunicação via I2C com o microcontrolador. Além disso, a saída desse módulo é limitada em corrente e tensão, fazendo com que seja necessário um circuito de condicionamento com amplificação (figura 29). Em adição, a fonte necessária para alimentar o sistema com essas fitas de LED é de 15V de tensão DC e 10A de corrente máxima.

Figura 29 – Diagrama de Blocos Acionamento dos LEDs

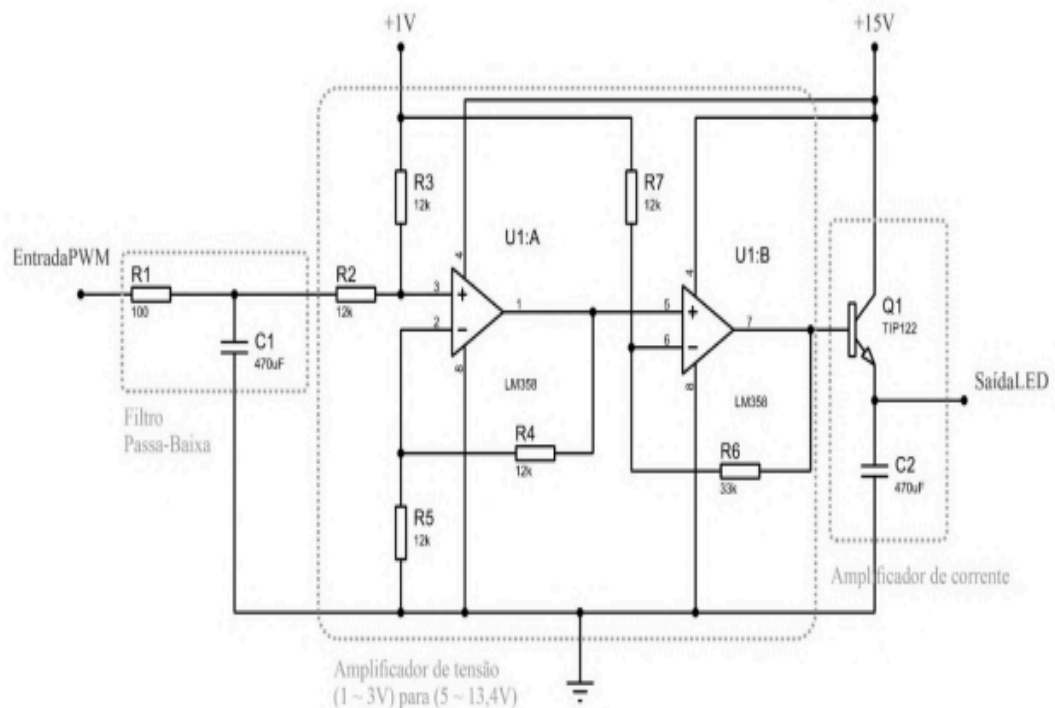


Fonte: Elaborado pelo autor

3.2.2 Circuito de condicionamento

Para condicionar o sinal proveniente do módulo PWM, tornando-o adequado para o controle dos LEDs por nível de tensão, o processo segue as seguintes etapas: Inicialmente, o sinal é filtrado por um filtro passivo passa-baixa, que permite linearizar o sinal. Em seguida, o mesmo é amplificado em tensão por meio de amplificadores operacionais do tipo LM358. Nesse estágio, a faixa de tensão é aumentada de 1V a 3V para uma faixa proporcional de 5V a 13,4V. Além disso, para garantir a corrente necessária para acionar todos os LEDs, o sinal é amplificado em corrente utilizando um transistor TIP122 (figura 30).

Figura 30 – Circuito de condicionamento dos LEDs 750 nm



Fonte: Elaborado pelo autor, colaboração, 2023

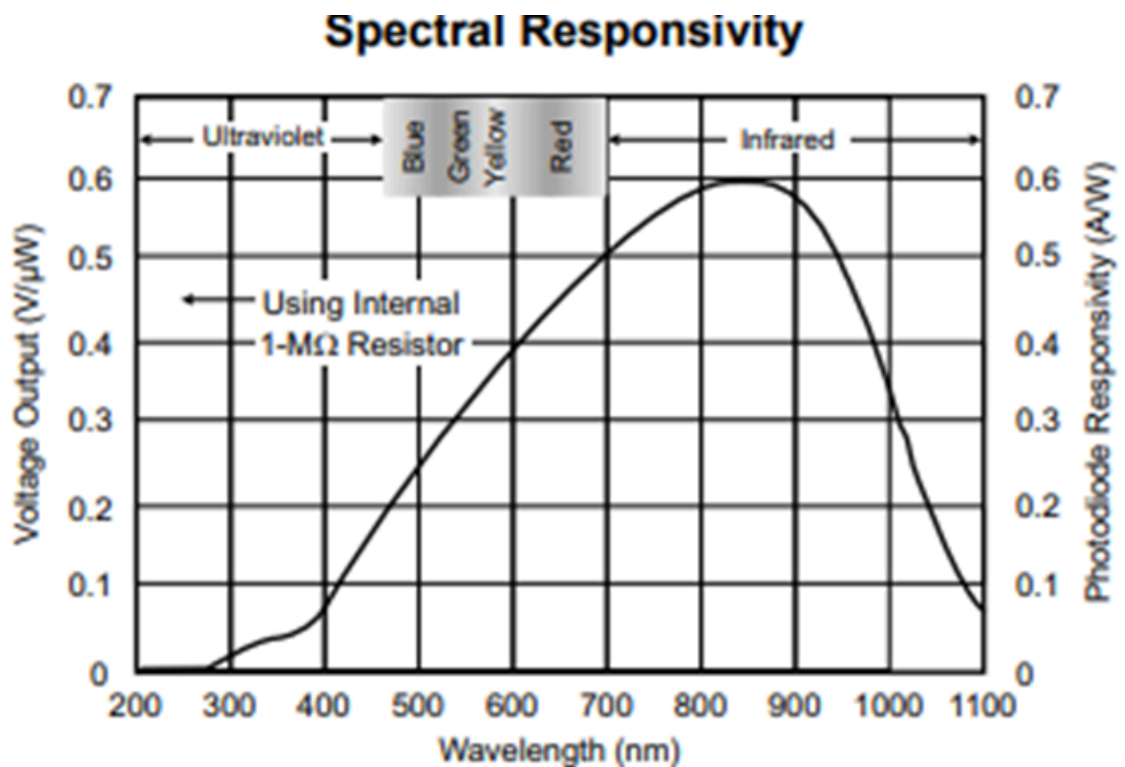
Experimentalmente, foi definida a faixa de acionamento do LED pela resposta do sensor, uma vez que a faixa disponível de 5V a 13,4V não é ideal. Valores baixos podem gerar leituras muito instáveis em função do ruído e precisão do sensor, enquanto valores altos podem saturar o sensor uma vez que sua amplificação é interna e não é possível alterar o ganho. Pelo módulo PWM a faixa descrita é dividida em 4096 valores digitais de

acionamento, sendo 0 correspondente à 5V e 4096 à 13,4V. Dessa forma, os valores observados para o funcionamento adequado do sistema, sem interferência significativa do ruído, e sem saturação do sensor, são de 1200 a 1800.

3.2.3 Sensor OPT101

Os sensores escolhidos para realizar a leitura da intensidade luminosa que chega aos olhos são os OPT101, que possuem resposta ótima para o comprimento de 750 nm das fitas (figura 31). Além disso, o sensor possui um circuito de transimpedância interno que transforma a corrente gerada em tensão, o que é ideal para a leitura e conversão digital do arduino. Entretanto, não é possível ajustar a relação entre corrente e tensão uma vez que o resistor interno que faz esse controle é fixo em 1 M Ω , o que resulta na possibilidade de saturação do sensor, caso a saída de tensão ultrapasse o valor da alimentação utilizado.

Figura 31 – Resposta Espectral do OPT101



Fonte: Datasheet do fabricante

3.2.4 Resultados Preliminares

Com a finalidade de validar o sistema, utilizando os componentes em 750 nm, e a hipótese sobre o impacto das armações para a proteção contra a radiação UV no olho dos usuários de óculos de proteção solar, foram realizados testes (tabela 8) em 29 amostras de óculos de sol do inventário do Laboratório de Instrumentação Oftálmica, que foram divididos por tipo de armação conforme figura 12. Além disso, as lentes dos óculos foram bloqueadas utilizando papel preto fosco, para tirar as variações de transmitância da luz visível de diferentes lentes.

Tabela 8 – Teste preliminar de bloqueio de luz das armações de óculos de sol

Tipo de armação	Amostra	Bloqueio de luz espalhada (%)
1	18	68,23
	12	68,34
	15	69,41
	09	70,02
2	20	71,66
	22	72,25
	29	74,98
3	16	75,25
	27	75,36
	13	75,66
	26	75,88
4	28	76,12
	19	77,24
	23	77,78
	03	78,09
	06	78,34
	10	78,51
	25	78,52
	11	78,59
	17	78,65
	21	78,76
5	14	78,87
	08	79,08
	24	79,47
	02	79,83
	04	79,92
	07	79,99
	01	80,34
	05	80,41

Em adição, foram realizados testes de repetibilidade (tabela 9), nos quais 5 amostras foram selecionadas e testadas 5 vezes, a fim de identificar o erro e a variação do sistema.

Tabela 9 – Teste de repetibilidade preliminar de bloqueio de luz

Amostra	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5	Média	Desvio Padrão
A	77,97%	77,88%	77,81%	78,12%	77,91%	77,90%	0,11%
B	78,24%	78,38%	78,40%	78,27%	78,50%	78,38%	0,10%
C	79,60%	79,56%	79,59%	79,53%	79,13%	79,56%	0,19%
D	79,68%	79,80%	79,69%	79,69%	79,75%	79,69%	0,05%
E	80,34%	80,25%	80,26%	80,10%	80,30%	80,26%	0,09%

Fonte: Elaborado autor, colaboração, 2023

Em observação à tabela 8 de resultados preliminares, é possível identificar que há uma diferença de bloqueio de luz que varia muito de um grupo pro outro, com valor mínimo de 68,23% de bloqueio de luz, e máximo de 80,41%. Dessa forma, a hipótese de que armações influenciam na bloqueio de luz UV dos óculos de sol é validada. Ademais, ao associar a tabela 9, identifica-se que a variação de possíveis erros e ruídos do sistema é pequena perto da diferença de bloqueio de luz entre armações, o que garante um sistema preciso e confiável.

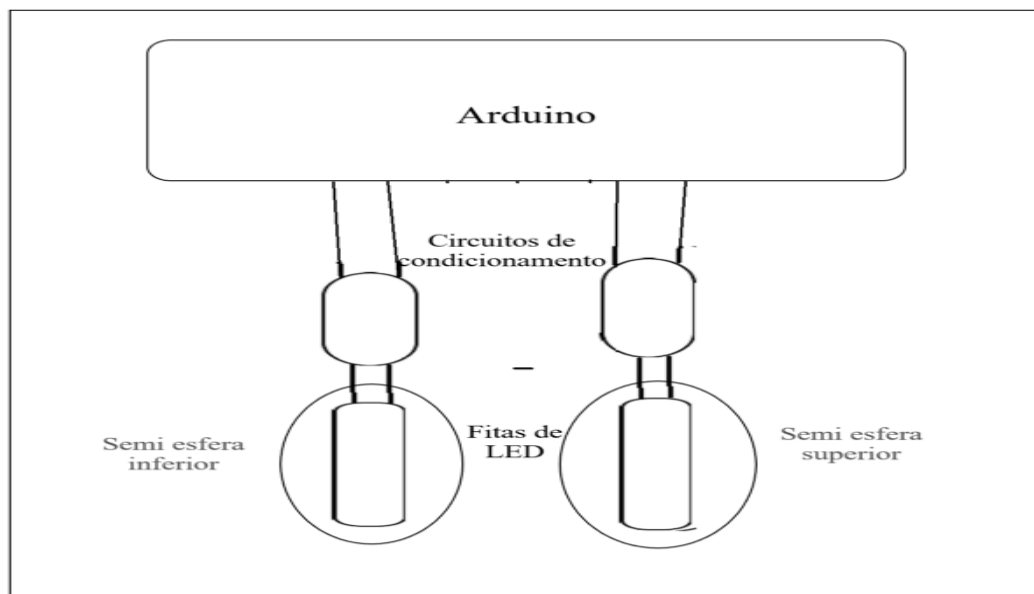
3.3 Sistema com radiação UV

A partir das conclusões anteriores sobre o sistema, buscou-se implementar alterações que deixassem o sistema mais verossímil com situações reais, utilizando um conjunto LED-Sensor que opera na faixa do ultravioleta. Para isso, foram escolhidos componentes que tivessem resposta no UVA, de modo que possibilitasse a utilização do protótipo para o público, uma vez que não seria necessário utilizar nada para bloquear as lentes, pois, já apresentam proteção nesse espectro.

3.3.1 LEDs 395 nm

Diante disso, as fitas de LEDs escolhidas foram do modelo SMD5050 UV de comprimento de onda de 395 nm (UVA), com faixa de operação de 8V a 12V. Como não foi necessário controlar a esfera em octantes independentes, o módulo PWM foi retirado, resultando no controle apenas das semi esferas superior e inferior pelas portas PWM do arduino. Porém, a saída se mantém limitada em corrente e tensão, fazendo com que seja preciso o circuito de condicionamento com amplificação (figura 32). Em adição, foi necessária a mudança da fonte de alimentação do sistema com fitas de LED UV, assim, utiliza-se uma de 24V de tensão DC e 20A de corrente máxima.

Figura 32 – Diagrama de Blocos Acionamento dos LEDs



Fonte: Elaborado pelo autor

3.3.2 Circuito de condicionamento

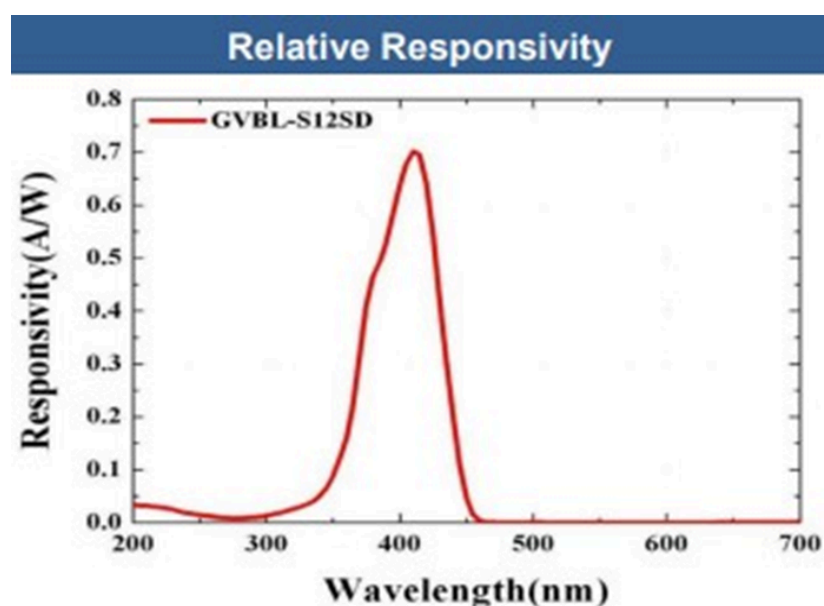
Para condicionar o sinal proveniente em PWM, o circuito com filtragem, amplificação de tensão e amplificação de corrente foi alterado para fornecer valores para uma faixa de 8V a 13V. Da mesma maneira como anteriormente, foi definida a faixa de acionamento do LED pela resposta do sensor, uma vez que a faixa disponível de 8V a 13V não é ideal. Porém,

apesar da limitação nos valores baixos devido ao ruído ser a mesma, as limitações para valores superiores tem outros motivos, já que a saturação do sensor é alterável com um circuito de transimpedância externo. O que limita os valores superiores é a temperatura das fitas, que aquecem muito com tensões altas, e o conversor analógico digital do arduino, que converte valores até 5V. Pelas saídas PWM a faixa descrita é dividida em 255 valores digitais de acionamento, sendo 0 correspondente à 8V e 255 à 13V. Dessa maneira, os valores definidos para o funcionamento adequado do sistema são de 10V a 12V, o que corresponde a 100 e 200, respectivamente, de acionamento do PWM.

3.3.3 Sensor UV

O sensor encontrado, com resposta para o comprimento de 395 nm das fitas, é o GVBL-S12SD (figura 33) da Roithner LaserTechnik. Por se tratar apenas do fotodiodo, é necessário a implementação de um circuito de transimpedância na saída do sensor, para converter corrente em tensão. Dessa forma, é possível controlar a resolução do sensor com um resistor de ganho no circuito, além de mudar a alimentação do amplificador operacional, de modo que o sensor não sature e tenha uma boa precisão. Em complemento, utiliza-se um filtro passa-baixa passivo apenas para tirar possíveis interferências da rede.

Figura 33 – Resposta Espectral do GVBL-S12SD



Fonte: Datasheet do fabricante

4 RESULTADOS

Para a validação do sistema UV, foram realizados testes de bancada, nos quais se utilizou multímetros precisos, e foram medidos os valores gerados após cada etapa dos testes com as fitas ligadas em tensão nominal de 12V em ambas as semi esferas. Desse modo, foram geradas tabelas com os valores repetidos 5 vezes para cada amostra.



Foram analisadas 16 amostras no total (tabelas 10 a 26). Na pesquisa, foram selecionadas lentes que já estavam em conformidade com a norma (baseadas no banco de dados e repositório de espectroscopias de 369 óculos) e cobertas com papel cartão preto na parte anterior (superfície externa), assegurando que nenhuma radiação atravessasse o papel. Isso permite comparar qualitativamente a eficácia das diferentes armações e demonstrar as variações, muitas vezes bastante significativas, entre as diversas geometrias. Ressalta-se que a parte interna da lente não foi coberta, pois a geometria da armação também contribui para bloquear a luz que incide e reflete na parte posterior da lente. A maioria das lentes disponíveis no mercado é fabricada de policarbonato, cuja refletância é de 26,05% (Citek, 2008).

Para ilustrar melhor este ponto, considere a utilização de uma mesma armação, mas com lentes diferentes, ambas conforme as normas. Por exemplo, uma lente de categoria 1 (pouco escura) e outra de categoria 4 (muito escura), como descrito na seção 2.4 sobre ÓCULOS DE SOL E SUAS NORMAS. Embora ambas estejam em conformidade, a transmitância de UVA permitida pela norma varia entre elas. Para garantir que a transmitância absoluta não influenciasse nossas medições, as lentes foram cobertas anteriormente.

Legenda para as tabelas de resultados dos testes de repetibilidade:



1. TE: valor de 0% do sistema, obtido com o teste em escuro
2. TC: valor de 100% do sistema, obtido com o teste de calibração
3. RC: razão de calibração, calculada conforme explicada na figura 16
4. TP: valor obtido no teste de proteção
5. P: proteção, valor do bloqueio de luz corrigido pela razão de calibração

Tabela 10 – Teste de repetibilidade sistema UV Amostra 1

Amostra 1		Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5	Média	DP
	TEo (V)	0,001	0,005	0,006	0,009	0,003	0,005	0,003
	TEr (V)	0,001	0,005	0,002	0,008	0,005	0,004	0,003
	TCo (V)	2,045	2,028	2,009	2,018	2,027	2,025	0,013
	TCr (V)	2,496	2,498	2,478	2,489	2,501	2,492	0,009
	RC	1,221	1,232	1,236	1,235	1,233	1,231	0,006
	TPo (V)	0,092	0,098	0,101	0,1	0,099	0,098	0,004
	TPr (V)	2,429	2,436	2,427	2,446	2,424	2,4324	0,009
	P (%)	95,43	95,29	95,16	95,39	95,11	95,27	0,14


Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 11 – Teste de repetibilidade sistema UV Amostra 2

Amostra 2		Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5	Média	DP
	TEo (V)	0,002	0,003	0,001	0,001	0,002	0,002	0,001
	TEr (V)	0,004	0,009	0,003	0,005	0,006	0,005	0,002
	TCo (V)	2,033	2,034	2,029	2,04	2,042	2,036	0,005
	TCr (V)	2,502	2,509	2,505	2,516	2,517	2,510	0,007
	RC	1,230	1,231	1,234	1,231	1,231	1,231	0,001
	TPo (V)	0,077	0,082	0,079	0,082	0,076	0,079	0,003
	TPr (V)	2,460	2,468	2,465	2,465	2,466	2,465	0,003
	P (%)	96,24	96,05	96,09	95,95	96,30	96,12	0,14


Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 12– Teste de repetibilidade sistema UV Amostra 3

Amostra 3		Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5	Média	DP
	TEo (V)	0	0,002	0,001	0,002	0,002	0,001	0,001
	TEr (V)	0,001	0,007	0,002	0,008	0,006	0,005	0,003
	TCo (V)	2,079	2,071	2,083	2,06	2,064	2,071	0,010
	TCr (V)	2,547	2,54	2,56	2,538	2,552	2,547	0,009
	RC	1,225	1,224	1,229	1,229	1,235	1,228	0,004
	TPo (V)	0,353	0,351	0,351	0,353	0,347	0,351	0,002
	TPr (V)	2,492	2,517	2,506	2,489	2,502	2,501	0,011
	P (%)	82,65	82,98	82,83	82,61	82,93	82,80	0,17


Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 13 – Teste de repetibilidade sistema UV Amostra 4

Amostra 4		Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5	Média	DP
	TEo (V)	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002	0,001
	TEr (V)	0,001	0,003	0,008	0,004	0,007	0,005	0,003
	TCo (V)	2,079	2,078	2,013	2,024	2,018	2,042	0,033
	TCr (V)	2,555	2,552	2,493	2,502	2,495	2,519	0,031
	RC	1,229	1,227	1,236	1,235	1,234	1,232	0,004
	TPo (V)	0,076	0,068	0,066	0,063	0,064	0,067	0,005
	TPr (V)	2,498	2,489	2,456	2,439	2,444	2,465	0,027
	P (%)	96,31	96,69	96,77	96,91	96,86	96,71	0,24


Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 14 – Teste de repetibilidade sistema UV Amostra 5

Amostra 5		Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5	Média	DP
	TEo (V)	0,022	0,019	0,018	0,017	0,021	0,019	0,002
	TEr (V)	0,026	0,024	0,023	0,023	0,025	0,024	0,001
	TCo (V)	2,059	2,053	2,048	2,043	2,033	2,047	0,010
	TCr (V)	2,504	2,498	2,49	2,483	2,475	2,490	0,012
	RC	1,216	1,216	1,215	1,214	1,218	1,216	0,001
	TPo (V)	0,208	0,211	0,201	0,215	0,212	0,2094	0,005
	TPr (V)	2,441	2,425	2,423	2,428	2,405	2,4244	0,013
	P (%)	90,63	90,27	90,73	90,00	90,23	90,37	0,30


Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 15 – Teste de repetibilidade sistema UV Amostra 6

Amostra 6		Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5	Média	DP
	TEo (V)	0,012	0,013	0,014	0,012	0,012	0,013	0,001
	TEr (V)	0,018	0,019	0,022	0,018	0,017	0,019	0,002
	TCo (V)	2,081	2,066	2,064	2,048	2,044	2,061	0,015
	TCr (V)	2,557	2,538	2,535	2,513	2,509	2,530	0,020
	RC	1,227	1,227	1,226	1,225	1,226	1,226	0,001
	TPo (V)	0,088	0,086	0,085	0,084	0,084	0,085	0,002
	TPr (V)	2,499	2,478	2,477	2,452	2,458	2,473	0,019
	P (%)	96,24	96,36	96,45	96,38	96,38	96,36	0,08


Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 16 – Teste de repetibilidade sistema UV Amostra 7

Amostra 7		Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5	Média	DP
	TEo (V)	0,002	0,003	0,001	0,004	0,008	0,004	0,003
	TEr (V)	0,007	0,008	0,004	0,007	0,014	0,008	0,004
	TCo (V)	2,069	2,071	2,075	2,063	2,065	2,069	0,005
	TCr (V)	2,538	2,541	2,543	2,529	2,529	2,536	0,007
	RC	1,224	1,225	1,224	1,225	1,223	1,224	0,001
	TPo (V)	0,154	0,162	0,146	0,157	0,161	0,156	0,006
	TPr (V)	2,485	2,479	2,475	2,467	2,466	2,474	0,008
	P (%)	92,49	92,12	92,82	92,38	92,37	92,44	0,25


Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 17 – Teste de repetibilidade sistema UV Amostra 8

Amostra 8		Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5	Média	DP
	TEo (V)	0,001	0,002	0,002	0,003	0,002	0,002	0,001
	TEr (V)	0,006	0,007	0,007	0,008	0,007	0,007	0,001
	TCo (V)	2,074	2,074	2,069	2,068	2,065	2,070	0,004
	TCr (V)	2,541	2,541	2,534	2,533	2,531	2,536	0,005
	RC	1,223	1,223	1,223	1,223	1,223	1,223	0,000
	TPo (V)	0,045	0,05	0,046	0,047	0,045	0,047	0,002
	TPr (V)	2,507	2,504	2,503	2,501	2,498	2,503	0,003
	P (%)	97,85	97,65	97,84	97,84	97,89	97,81	0,09


Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 18 – Teste de repetibilidade sistema UV Amostra 9

Amostra 9		Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5	Média	DP
	TEo (V)	0,003	0,005	0,002	0,002	0,002	0,003	0,001
	TEr (V)	0,006	0,007	0,008	0,007	0,005	0,007	0,001
	TCo (V)	2,079	2,066	2,049	2,042	2,045	2,056	0,016
	TCr (V)	2,545	2,534	2,513	2,51	2,515	2,523	0,015
	RC	1,223	1,226	1,224	1,227	1,229	1,226	0,002
	TPo (V)	0,131	0,127	0,125	0,125	0,127	0,127	0,002
	TPr (V)	2,456	2,442	2,431	2,43	2,434	2,4386	0,011
	P (%)	93,61	93,86	93,79	93,77	93,68	93,74	0,10


Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 19 – Teste de repetibilidade sistema UV Amostra 10

Amostra 10		Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5	Média	DP
	TEo (V)	0,001	0,003	0,003	0,001	0,002	0,002	0,001
	TEr (V)	0,001	0,004	0,005	0,003	0,005	0,004	0,002
	TCo (V)	2,064	2,083	2,076	2,072	2,069	2,073	0,007
	TCr (V)	2,534	2,555	2,551	2,546	2,543	2,546	0,008
	RC	1,228	1,226	1,228	1,228	1,228	1,228	0,001
	TPo (V)	0,066	0,069	0,068	0,068	0,066	0,067	0,001
	TPr (V)	2,442	2,442	2,454	2,453	2,449	2,448	0,006
	P (%)	96,73	96,68	96,74	96,64	96,78	96,72	0,06


Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 20 – Teste de repetibilidade sistema UV Amostra 11

Amostra 11		Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5	Média	DP
	TEo (V)	0,001	0,003	0,002	0,003	0,002	0,002	0,001
	TEr (V)	0,003	0,005	0,007	0,006	0,006	0,005	0,002
	TCo (V)	2,072	2,068	2,065	2,068	2,063	2,067	0,003
	TCr (V)	2,545	2,541	2,538	2,536	2,535	2,539	0,004
	RC	1,227	1,228	1,227	1,225	1,227	1,227	0,001
	TPo (V)	0,235	0,231	0,232	0,233	0,238	0,234	0,003
	TPr (V)	2,501	2,495	2,499	2,493	2,49	2,496	0,004
	P (%)	88,50	88,75	88,68	88,67	88,34	88,59	0,17


Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 21 – Teste de repetibilidade sistema UV Amostra 12

Amostra 12		Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5	Média	DP
	TEo (V)	0,003	0,002	0,003	0,004	0,001	0,003	0,001
	TEr (V)	0,007	0,008	0,005	0,005	0,001	0,005	0,003
	TCo (V)	2,054	2,075	2,084	2,088	2,082	2,077	0,013
	TCr (V)	2,527	2,548	2,563	2,567	2,558	2,553	0,016
	RC	1,229	1,225	1,229	1,229	1,229	1,228	0,002
	TPo (V)	0,398	0,407	0,405	0,413	0,409	0,406	0,006
	TPr (V)	2,464	2,464	2,496	2,505	2,507	2,487	0,022
	P (%)	80,25	79,79	80,16	79,89	80,00	80,02	0,19


Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 22 – Teste de repetibilidade sistema UV Amostra 13

Amostra 13		Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5	Média	DP
	TEo (V)	0,001	0,001	0,003	0,002	0,001	0,002	0,001
	TEr (V)	0,001	0,004	0,006	0,005	0,005	0,004	0,002
	TCo (V)	2,095	2,074	2,079	2,076	2,078	2,080	0,008
	TCr (V)	2,57	2,542	2,549	2,546	2,55	2,551	0,011
	RC	1,227	1,224	1,225	1,225	1,225	1,225	0,001
	TPo (V)	0,125	0,125	0,127	0,123	0,122	0,1244	0,002
	TPr (V)	2,543	2,526	2,531	2,527	2,489	2,5232	0,020
	P (%)	94,02	93,98	93,98	94,12	94,03	94,03	0,06


Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 23 – Teste de repetibilidade sistema UV Amostra 14

Amostra 14		Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5	Média	DP
	TEo (V)	0,002	0,001	0,001	0,003	0,001	0,002	0,001
	TEr (V)	0,007	0,004	0,003	0,009	0,001	0,005	0,003
	TCo (V)	2,088	2,082	2,078	2,068	2,059	2,075	0,012
	TCr (V)	2,567	2,568	2,562	2,549	2,519	2,553	0,020
	RC	1,227	1,232	1,232	1,230	1,224	1,229	0,004
	TPo (V)	0,391	0,39	0,393	0,392	0,386	0,390	0,003
	TPr (V)	2,509	2,519	2,507	2,508	2,473	2,503	0,018
	P (%)	80,92	80,94	80,71	80,85	80,94	80,87	0,10


Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 24 – Teste de repetibilidade sistema UV Amostra 15

Amostra 15		Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5	Média	DP
	TEo (V)	0,002	0,003	0,001	0,002	0,001	0,002	0,001
	TEr (V)	0,007	0,007	0,004	0,004	0,001	0,005	0,003
	TCo (V)	2,088	2,078	2,083	2,089	2,085	2,085	0,004
	TCr (V)	2,569	2,558	2,564	2,566	2,562	2,564	0,004
	RC	1,228	1,229	1,230	1,228	1,229	1,229	0,001
	TPo (V)	0,182	0,184	0,183	0,18	0,18	0,182	0,002
	TPr (V)	2,502	2,501	2,495	2,496	2,499	2,499	0,003
	P (%)	91,14	91,08	91,02	91,23	91,19	91,13	0,09

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 25 – Teste de repetibilidade sistema UV Amostra 16

Amostra 16		Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5	Média	DP
	TEo (V)	0,002	0,002	0,002	0,003	0,001	0,002	0,001
	TEr (V)	0,004	0,003	0,005	0,005	0,005	0,004	0,001
	TCo (V)	2,05	2,069	2,073	2,071	2,074	2,067	0,010
	TCr (V)	2,523	2,555	2,559	2,559	2,557	2,551	0,016
	RC	1,230	1,235	1,233	1,235	1,231	1,233	0,002
	TPo (V)	0,219	0,229	0,221	0,222	0,219	0,222	0,004
	TPr (V)	2,48	2,512	2,513	2,512	2,517	2,507	0,015
	P (%)	89,22	88,83	89,23	89,21	89,32	89,16	0,19

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 26 – Média de bloqueio de luz de cada amostra e desvio padrão (com papel cartão)


Amostra	Bloqueio de luz	Desv. Padrão
1	96,71	0,24
2	96,13	0,15
3	82,80	0,17
4	96,71	0,24
5	90,37	0,30
6	96,36	0,08
7	92,44	0,25
8	97,82	0,09
9	93,74	0,10
10	96,72	0,06
11	88,59	0,17
12	80,02	0,19
13	94,03	0,06
14	80,87	0,10
15	91,13	0,09
16	89,16	0,19

Fonte: Elaborado pelo autor

A partir das informações obtidas, destaca-se a grande diferença de bloqueio de luz gerada por armações de tamanho, formato e largura da haste diferentes. Com o menor bloqueio de luz gerada pela mostra 12 de 80,02%, e a maior gerada pela amostra 8 de 97,82%.


Da mesma maneira, foram realizados testes com repetibilidade nos mesmos moldes que os anteriores, porém retirando a cobertura de papel cartão, para simular os testes que serão reproduzidos pelo público geral (tabelas 27 a 42), uma vez que não poderão cobrir seus óculos de proteção solar. Dessa forma, a proteção obtida nesse teste é total do óculos comparando a somatória de todas as formas de como a luz pode chegar até os olhos (armação mais lentes).

Tabela 27 – Teste de público com repetibilidade Amostra 1

Amostra 1		Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5	Média	DP
	TEo (V)	0,093	0,094	0,096	0,095	0,092	0,094	0,002
	TEr (V)	0,094	0,096	0,097	0,096	0,094	0,095	0,001
	TCo (V)	2,103	2,078	2,067	2,066	2,061	2,075	0,017
	TCr (V)	2,599	2,574	2,561	2,559	2,548	2,568	0,020
	RC	1,246	1,249	1,250	1,250	1,246	1,248	0,002
	TPo (V)	0,229	0,224	0,227	0,225	0,226	0,2262	0,002
	TPr (V)	2,526	2,508	2,489	2,486	2,485	2,4988	0,018
	P (%)	93,03	93,27	93,15	93,20	93,02	93,13	0,11


Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 28 – Teste de público com repetibilidade Amostra 2

Amostra 2		Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5	Média	DP
	TEo (V)	0,092	0,091	0,093	0,092	0,091	0,092	0,001
	TEr (V)	0,094	0,092	0,094	0,093	0,094	0,093	0,001
	TCo (V)	2,058	2,056	2,046	2,044	2,047	2,050	0,006
	TCr (V)	2,549	2,544	2,534	2,531	2,533	2,538	0,008
	RC	1,249	1,248	1,249	1,249	1,247	1,248	0,001
	TPo (V)	0,173	0,176	0,177	0,175	0,173	0,175	0,002
	TPr (V)	2,488	2,485	2,47	2,469	2,466	2,476	0,010
	P (%)	95,77	95,57	95,58	95,64	95,69	95,65	0,08


Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 29– Teste de público com repetibilidade Amostra 3

Amostra 3		Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5	Média	DP
	TEo (V)	0,091	0,09	0,092	0,091	0,092	0,091	0,001
	TEr (V)	0,092	0,092	0,094	0,093	0,093	0,093	0,001
	TCo (V)	2,052	2,047	2,047	2,046	2,042	2,047	0,004
	TCr (V)	2,545	2,536	2,537	2,538	2,532	2,538	0,005
	RC	1,251	1,249	1,250	1,251	1,251	1,250	0,001
	TPo (V)	0,547	0,557	0,542	0,546	0,553	0,549	0,006
	TPr (V)	2,477	2,472	2,469	2,47	2,467	2,471	0,004
	P (%)	76,08	75,50	76,32	76,06	75,71	75,93	0,33


Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 30 – Teste de público com repetibilidade Amostra 4

Amostra 4		Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5	Média	DP
	TEo (V)	0,092	0,091	0,092	0,093	0,094	0,092	0,001
	TEr (V)	0,093	0,093	0,092	0,093	0,093	0,093	0,000
	TCo (V)	2,013	2,019	2,012	2,022	2,015	2,016	0,004
	TCr (V)	2,489	2,504	2,494	2,503	2,496	2,497	0,006
	RC	1,247	1,251	1,251	1,249	1,251	1,250	0,002
	TPo (V)	0,84	0,835	0,842	0,837	0,84	0,839	0,003
	TPr (V)	2,458	2,453	2,456	2,448	2,451	2,453	0,004
	P (%)	60,55	60,58	60,31	60,53	60,42	60,48	0,11


Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 31 – Teste de público com repetibilidade Amostra 5

Amostra 5		Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5	Média	DP
	TEo (V)	0,091	0,092	0,094	0,017	0,021	0,063	0,040
	TEr (V)	0,092	0,094	0,095	0,023	0,025	0,066	0,038
	TCo (V)	2,099	2,081	2,061	2,043	2,033	2,063	0,027
	TCr (V)	2,597	2,575	2,552	2,483	2,475	2,536	0,055
	RC	1,248	1,247	1,249	1,214	1,218	1,235	0,018
	TPo (V)	0,281	0,298	0,298	0,215	0,212	0,2608	0,044
	TPr (V)	2,535	2,514	2,498	2,428	2,405	2,476	0,056
	P (%)	90,30	89,38	89,40	90,00	90,23	89,86	0,44


Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 32 – Teste de público com repetibilidade Amostra 6

Amostra 6		Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5	Média	DP
	TEo (V)	0,094	0,092	0,093	0,092	0,092	0,093	0,001
	TEr (V)	0,095	0,095	0,095	0,095	0,094	0,095	0,000
	TCo (V)	2,053	2,051	2,049	2,048	2,054	2,051	0,003
	TCr (V)	2,545	2,542	2,539	2,542	2,539	2,541	0,003
	RC	1,251	1,249	1,249	1,251	1,246	1,249	0,002
	TPo (V)	0,174	0,173	0,174	0,172	0,171	0,173	0,001
	TPr (V)	2,477	2,482	2,481	2,478	2,476	2,479	0,003
	P (%)	95,80	95,76	95,76	95,80	95,87	95,80	0,04


Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 33 – Teste de público com repetibilidade Amostra 7

Amostra 7		Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5	Média	DP
	TEo (V)	0,092	0,091	0,09	0,091	0,092	0,091	0,001
	TEr (V)	0,094	0,092	0,092	0,092	0,093	0,093	0,001
	TCo (V)	2,069	2,063	2,065	2,063	2,067	2,065	0,003
	TCr (V)	2,555	2,551	2,548	2,549	2,552	2,551	0,003
	RC	1,245	1,247	1,244	1,246	1,245	1,245	0,001
	TPo (V)	0,694	0,695	0,693	0,688	0,697	0,693	0,003
	TPr (V)	2,491	2,496	2,489	2,474	2,495	2,489	0,009
	P (%)	68,74	68,67	68,72	68,77	68,64	68,71	0,05


Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 34 – Teste de público com repetibilidade Amostra 8

Amostra 8		Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5	Média	DP
	TEo (V)	0,093	0,092	0,091	0,092	0,091	0,092	0,001
	TEr (V)	0,095	0,095	0,094	0,092	0,094	0,094	0,001
	TCo (V)	2,018	2,021	2,013	2,008	2,015	2,015	0,005
	TCr (V)	2,5	2,502	2,498	2,489	2,499	2,498	0,005
	RC	1,249	1,248	1,251	1,251	1,250	1,250	0,001
	TPo (V)	0,176	0,175	0,176	0,177	0,174	0,176	0,001
	TPr (V)	2,474	2,481	2,484	2,492	2,494	2,485	0,008
	P (%)	95,64	95,66	95,55	95,57	95,68	95,62	0,06


Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 35 – Teste de público com repetibilidade Amostra 9

Amostra 9		Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5	Média	DP
	TEo (V)	0,091	0,09	0,091	0,089	0,091	0,090	0,001
	TEr (V)	0,092	0,091	0,092	0,09	0,092	0,091	0,001
	TCo (V)	2,05	2,048	2,049	2,042	2,045	2,047	0,003
	TCr (V)	2,535	2,531	2,529	2,527	2,526	2,530	0,004
	RC	1,247	1,246	1,245	1,248	1,246	1,246	0,001
	TPo (V)	0,235	0,235	0,234	0,237	0,236	0,2354	0,001
	TPr (V)	2,454	2,466	2,474	2,476	2,479	2,4698	0,010
	P (%)	92,40	92,39	92,53	92,26	92,43	92,40	0,10


Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 36 – Teste de público com repetibilidade Amostra 10

Amostra 10		Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5	Média	DP
	TEo (V)	0,091	0,092	0,091	0,09	0,091	0,091	0,001
	TEr (V)	0,092	0,094	0,092	0,092	0,091	0,092	0,001
	TCo (V)	2,052	2,048	2,054	2,059	2,047	2,052	0,005
	TCr (V)	2,538	2,536	2,539	2,546	2,533	2,538	0,005
	RC	1,247	1,248	1,247	1,246	1,248	1,247	0,001
	TPo (V)	0,169	0,168	0,169	0,17	0,171	0,169	0,001
	TPr (V)	2,449	2,446	2,451	2,453	2,456	2,451	0,004
	P (%)	95,87	95,97	95,88	95,78	95,78	95,85	0,08


Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 37 – Teste de público com repetibilidade Amostra 11

Amostra 11		Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5	Média	DP
	TEo (V)	0,089	0,091	0,092	0,09	0,092	0,091	0,001
	TEr (V)	0,093	0,093	0,093	0,091	0,092	0,092	0,001
	TCo (V)	2,058	2,055	2,062	2,051	2,048	2,055	0,006
	TCr (V)	2,548	2,545	2,551	2,543	2,539	2,545	0,005
	RC	1,247	1,248	1,248	1,250	1,251	1,249	0,002
	TPo (V)	0,354	0,355	0,352	0,351	0,35	0,352	0,002
	TPr (V)	2,503	2,499	2,493	2,486	2,482	2,493	0,009
	P (%)	86,29	86,30	86,48	86,37	86,50	86,39	0,10


Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 38 – Teste de público com repetibilidade Amostra 12

Amostra 12		Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5	Média	DP
	TEo (V)	0,092	0,093	0,093	0,094	0,092	0,093	0,001
	TEr (V)	0,091	0,092	0,094	0,094	0,093	0,093	0,001
	TCo (V)	2,058	2,057	2,053	2,049	2,048	2,053	0,005
	TCr (V)	2,547	2,546	2,54	2,538	2,539	2,542	0,004
	RC	1,249	1,249	1,248	1,250	1,251	1,249	0,001
	TPo (V)	0,538	0,535	0,532	0,533	0,529	0,533	0,003
	TPr (V)	2,497	2,503	2,491	2,505	2,507	2,501	0,007
	P (%)	76,84	77,09	77,14	77,24	77,36	77,14	0,19


Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 39 – Teste de público com repetibilidade Amostra 13

Amostra 13		Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5	Média	DP
	TEo (V)	0,094	0,095	0,094	0,095	0,093	0,094	0,001
	TEr (V)	0,094	0,093	0,093	0,093	0,092	0,093	0,001
	TCo (V)	2,057	2,051	2,05	2,044	2,04	2,048	0,007
	TCr (V)	2,544	2,542	2,538	2,532	2,526	2,536	0,007
	RC	1,248	1,252	1,250	1,251	1,250	1,250	0,002
	TPo (V)	0,25	0,251	0,246	0,248	0,247	0,2484	0,002
	TPr (V)	2,546	2,541	2,538	2,535	2,5532	2,54264	0,007
	P (%)	92,06	92,02	92,23	92,16	92,18	92,13	0,09


Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 40 – Teste de público com repetibilidade Amostra 14

Amostra 14		Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5	Média	DP
	TEo (V)	0,094	0,089	0,092	0,091	0,088	0,091	0,002
	TEr (V)	0,09	0,093	0,09	0,091	0,094	0,092	0,002
	TCo (V)	2,043	2,038	2,035	2,03	2,028	2,035	0,006
	TCr (V)	2,529	2,524	2,521	2,518	2,513	2,521	0,006
	RC	1,251	1,247	1,251	1,252	1,247	1,250	0,002
	TPo (V)	0,489	0,489	0,487	0,485	0,477	0,485	0,005
	TPr (V)	2,456	2,452	2,448	2,442	2,432	2,446	0,009
	P (%)	79,11	78,85	79,04	79,02	79,25	79,06	0,15


Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 41 – Teste de público com repetibilidade Amostra 15

Amostra 15		Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5	Média	DP
	TEo (V)	0,093	0,092	0,091	0,094	0,092	0,092	0,001
	TEr (V)	0,091	0,093	0,091	0,093	0,094	0,092	0,001
	TCo (V)	2,041	2,038	2,036	2,033	2,029	2,035	0,005
	TCr (V)	2,539	2,536	2,533	2,529	2,525	2,532	0,006
	RC	1,257	1,255	1,256	1,256	1,255	1,256	0,001
	TPo (V)	0,317	0,318	0,322	0,321	0,319	0,319	0,002
	TPr (V)	2,485	2,481	2,477	2,474	2,47	2,477	0,006
	P (%)	88,24	88,12	87,84	88,02	88,01	88,05	0,15

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 42 – Teste de público com repetibilidade Amostra 16

Amostra 16		Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5	Média	DP
	TEo (V)	0,094	0,091	0,092	0,091	0,092	0,092	0,001
	TEr (V)	0,091	0,094	0,096	0,095	0,095	0,094	0,002
	TCo (V)	2,04	2,038	2,035	2,032	2,029	2,035	0,004
	TCr (V)	2,54	2,537	2,535	2,534	2,528	2,535	0,004
	RC	1,258	1,255	1,255	1,257	1,256	1,256	0,001
	TPo (V)	0,587	0,596	0,588	0,589	0,582	0,588	0,005
	TPr (V)	2,506	2,495	2,496	2,489	2,486	2,494	0,008
	P (%)	74,31	73,61	74,06	73,86	74,26	74,02	0,29

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 43 – Média de bloqueio de luz de cada amostra e desvio padrão (Sem papel cartão)

Amostra	Bloqueio de luz(%)	Desv. Padrão
1	93,13	0,11
2	95,65	0,15
3	75,94	0,33
4	60,48	0,11
5	89,86	0,45
6	95,80	0,04
7	68,71	0,05
8	95,62	0,06
9	92,40	0,10
10	95,85	0,08
11	86,39	0,10
12	77,14	0,19
13	92,13	0,09
14	79,06	0,15
15	88,05	0,15
16	74,02	0,29

Fonte: Elaborado pelo autor

A partir dos resultados, é possível identificar que o bloqueio de luz ao descobrir a lente diminuiu, o menor bloqueio de luz agora é da amostra 4 com 60,48% e a maior da amostra 10 com 95,85%, uma diferença de 35,38%.

Ao comparar as proteções com e sem cobertura (tabela 44), há óculos de proteção com muita queda, por conta das lentes, enquanto outros não reduzem tanto com uma lente de boa proteção. O melhor exemplo da primeira situação é a amostra 4 com uma queda de 36,23%, e da segunda situação é a amostra 2 com uma queda de apenas 0,47%.

Tabela 44 – Comparação das médias de bloqueio de luz com e sem cobertura das lentes.

Amostra	Bloqueio de luz cobertura(%)	Bloqueio de luz Total(%)	Diferença (%)
1	96,71	93,13	-3,57
2	96,13	95,65	-0,47
3	82,80	75,94	-6,86
4	96,71	60,48	-36,23
5	90,37	89,86	-0,51
6	96,36	95,80	-0,56
7	92,44	68,71	-23,73
8	97,82	95,62	-2,19
9	93,74	92,40	-1,34
10	96,72	95,85	-0,86
11	88,59	86,39	-2,20
12	80,02	77,14	-2,88
13	94,03	92,13	-1,90
14	80,87	79,06	-1,82
15	91,13	88,05	-3,09
16	89,16	74,02	-15,14

Fonte: Elaborado pelo autor

5 CONCLUSÃO

Em síntese, os resultados obtidos indicam que as armações interferem no bloqueio de luz UV de óculos de sol, uma vez que diferenças de tamanho e formato apresentaram variações de bloqueio de luz espalhada. O menor valor relativo de bloqueio de luz obtido nos testes relativamente apenas às armações foi de 80,02% e a maior de 97,82%. Essa diferença em casos de ambientes com muita incidência de luz solar e IUV alto ,deve ser mais cuidadosamente analisada em pesquisas futuras para verificar sobre os valores permitidos para limites de radiação UV que estabelecem segurança à saúde ocular do usuário.

Em adição, a diferença de bloqueio de luz difusa nesse experimento e para as amostras selecionadas foi de 17% (80,02% a 97,82%), enquanto o maior desvio padrão em teste de repetibilidade foi 0,30%.

O protótipo se mostrou capaz de realizar as medidas de bloqueio de luz pela armação+reflexo interno da lente e validou a metodologia empregada, em relação aos procedimentos dos testes e à disposição dos componentes (LEDs-Sensores).

Para os testes de repetibilidade sem cobertura das lentes, as proteções diminuíram, e a diferença entre elas aumentou, chegando a 35,38% (95,85% - 60,48%). Porém a variação medida pelo desvio padrão aumentou ligeiramente para 0,33%.

Ainda, as implementações dos filtros passa-baixa passivos nas saídas dos sensores e a metodologia utilizando o sensor da testa como referência permitiram reduzir o ruído e a variação nas medições, entretanto, não foi possível eliminá-las.

Assuma das possíveis causas dessa variação nas medidas deve-se ao aumento de temperatura das fitas de LEDs, o que pode influenciar não somente na sua emissão, mas também nas características de resposta dos sensores. Muito embora tenha-se o sensor referência para excluir esse “ruído” é possível que armações possuam partes superiores reflexivas, que reflitam a luz UV atingindo o sensor de referência ao se colocar os óculos. Neste momento, é adicionado uma variação nas medidas. Portanto, uma melhoria a ser implementada é um sistema de isolamento óptico do sensor de referência, para que luzes espúrias, não presentes durante a calibração da referência de 100% do sistema, não modifiquem o ambiente para este sensor, após inserir os óculos de sol para testes.

Em conclusão, este trabalho resultou em um protótipo de teste de bloqueio de luz espalhada das armações de óculos de proteção solar, que será disponibilizado em breve para o público geral, tanto no Campus da USP São Carlos, como em feiras e congressos de pesquisa da área, com a finalidade de alertar sobre as diferenças de armações dos óculos de sol para a proteção ocular e como meio de divulgação da pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 12312-1**: Óculos para proteção solar e óculos relacionados - Parte 1: Óculos para proteção solar para uso geral. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.
- Bergmanson J. F.; Soderberg P. G. *The significance of ultraviolet radiation for eye diseases: A review with comments on the efficacy of UV-blocking contact lenses*. **Ophthal Physiol Opt.** Vol. 15, No. 2, p. 83-91, 1995.
- Chadyšiene, Renata; Girgždys, Aloyzas. *Ultraviolet radiation albedo of natural surfaces*. **Journal of Environmental Engineering and Landscape Management**, 16:2, 83-88, 2008. DOI: <https://doi.org/10.3846/1648-6897.2008.16.83-88>.
- Citek, Karl, "Anti-reflective coatings reflect ultraviolet radiation" (2008). Faculty Scholarship (COO). 5.
- DIFFEY B L. *Sources and measurement of ultraviolet radiation*. Methods. 2002; p 4-13. DOI: [https://doi.org/10.1016/s1046-2023\(02\)00204-9](https://doi.org/10.1016/s1046-2023(02)00204-9).
- HOGAN MJ; Alvarado JA. *Histology of the human eye*. 1st ed. v. 1. Philadelphia, 1971.
- ICNIRP - Comissão Internacional de Proteção Contra Radiação Não Ionizante. **ICNIRP GUIDELINES ON LIMITS OF EXPOSURE TO ULTRAVIOLET RADIATION OF WAVELENGTHS BETWEEN 180 nm AND 400 nm (INCOHERENT OPTICAL RADIATION)**. **HEALTH PHYSICS** 87(2):171-186; 2004.
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais. **O que é o Índice Ultravioleta**. 2010. Disponível em: <https://satelite.cptec.inpe.br/uv/>. Acesso em: 30 mai. 2024
- Kwok, L. Stephen ; et al. *Prevention of the Adverse Photoc Effects of Peripheral Light-Focusing Using UV-Blocking Contact Lenses*. **Investigative Ophthalmology & Visual Science**, Vol. 44, No. 4, 2003.
- MASILI, M.; SCHIABEL, H.; VENTURA, L. CONTRIBUTION TO THE RADIATION PROTECTION FOR SUNGLASSES STANDARDS. **Radiation protection dosimetry**, OXFORD, v. 164, n. 3, p. 435-443, 2015. ISSN 0144-8420.
- Michel, Mariana Vallory; Laranja; Andréa Coelho. **CONDIÇÕES E TIPOS DE CÉU PARA SIMULAÇÕES DE ILUMINAÇÃO NATURAL COM CÉU ESTÁTICO**. Campinas, 2020. DOI: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8652766>.
- NERY, Jonas Teixeira; CARFAN, Ana Claudia. **Glossário de termos técnicos em Meteorologia e Climatologia**. Jundiaí: Paco Editorial, 2013..
- Organização Internacional de Normalização. **ISO 12312-1: Eye and face protection — Sunglasses and related eyewear**. ISO, 2022.

VENTURA, Liliane; MASILI, Mauro. Bioengenharia Ocular: Os óculos de sol e suas Normas. Ponta Grossa-PR; Atena Editora, 2022.