

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

ZHI MING MAR

Sistema Embarcado de Medidas de Transmitância de Luz Visível e Ultravioleta
em Óculos de Sol

São Carlos

2019

ZHI MING MAR

Sistema Embarcado de Medidas de Transmitância de Luz Visível e Ultravioleta
em Óculos de Sol

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.

Orientadora: Profa. Dra. Liliâne Ventura

São Carlos

2019

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. Dr. Sérgio Rodrigues Fontes da
EESC/USP com os dados inseridos pelo(a) autor(a).

M298s Mar, Zhi Ming
 Sistema Embarcado de Medidas de Transmitância de
Luz Visível e Ultravioleta em Óculos de Sol / Zhi Ming
Mar; orientadora Liliane Ventura. São Carlos, 2019.

 Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica com
ênfase em Eletrônica) -- Escola de Engenharia de São
Carlos da Universidade de São Paulo, 2019.

 1. ANBT NBR ISO 12312-1. 2. Óculos de Sol. 3.
Transmitância visível e ultravioleta. 4. Sistema
embarcado. I. Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Nome: Zhi Ming Mar

Título: "Sistema embarcado de medidas de transmitância visível e ultravioleta em óculos de sol"

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado

em 10/10/2019,

com NOTA 7,3 (sete, três), pela Comissão Julgadora:

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

Dr. Mauro Masili - Pós-Doutorado - SEL/EESC/USP

Mestre Marcio Makiyama Mello - Victor Vision Indústria de Equipamentos Médicos

Coordenador da CoC-Engenharia Elétrica - EESC/USP:
Prof. Associado Rogério Andrade Flauzino

Aos meus pais e à minha namorada Stephanie

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais que, apesar das dificuldades enfrentadas por não dominarem a língua portuguesa e precisarem se adaptar a uma cultura totalmente diferente, sempre trabalharam muito para me dar todo o suporte necessário para que eu pudesse chegar até aqui.

À minha namorada Stephanie, que conheci antes mesmo de entrar na universidade e que tem acompanhado de perto toda a trajetória, sempre dando apoio e motivação.

À professora Liliane Ventura, que acreditou em mim e me deu a oportunidade de participar do grupo de pesquisa, no qual desenvolvi alguns projetos e o trabalho de conclusão de curso.

Ao Samuel, grande amigo que conheci durante a graduação através do tênis de mesa e que sou eternamente grato pelo seu apoio emocional e pela amizade que levarei pra vida.

Ao William e à Maria Angélica, amigos que conheci durante a iniciação científica e que sou eternamente grato, por todo o apoio técnico e emocional que tem me dado durante essa fase final da graduação.

À Luiza, amiga que tornou a graduação mais leve, seja por apoiarmos um ao outro na hora de estudar, seja por sermos uma ótima duplas nos laboratórios, seja por sempre estar disposta a me ajudar.

Ao Leo, ao Gui, ao Artur, ao Mauro e à Fer, pela amizade e apoio técnico.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Elétrica, em especial à Jussara, ao Rui, ao Cesão e ao Rose, que sempre me ajudaram demais com os serviços prestados.

RESUMO

MAR, Z. M. **Sistema Embarcado de Medidas de Transmitância de Luz Visível e Ultravioleta em Óculos de Sol**. 2019. 63 p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2019.

Este trabalho trata da construção de um protótipo embarcado para medidas de categoria e proteção ultravioleta em óculos de sol, baseado nos requisitos da norma brasileira NBR ISO 12312-1:2015. O teste que a norma requer, realizado por profissionais especializados, é por espectroscopia de transmitância na região de 280 nm – 380 nm para o ultravioleta e de 380 nm – 780 nm para o visível e sua média calculada com fatores de ponderação de risco para segurança ocular para cada 5 nm. O protótipo não tem a intenção de certificação, mas apenas de informação se os óculos de sol estão dentro de um limite de segurança para a proteção ocular. Anteriormente, em nosso grupo (2010), foi desenvolvido um protótipo com a mesma finalidade, com duplo feixe para referência, e todo processo de cálculos era realizado em um PC com os resultados apresentados em tela de computador. Neste trabalho, o protótipo é portátil e os sistemas de cálculos e interface são embarcados. O sistema consiste de fonte de luz ultravioleta (PHILIPS, Actinic TL BL) e LED para o visível (OSRAM, LUW W5AM-LXLY-6P7RZ) para irradiar os óculos, e sensores para ultravioleta (Genuine UV Technology, GUYA-S12SD) e para o visível (Texas A. O. Solutions, TCS3472), para detectar a transmissão destes intervalos espectrais nos óculos. A calibração é realizada sem amostras para se ter os valores de base de 100% (transmissão total) e 0% (transmissão nula) e então as amostras são medidas. Foram medidas 32 amostras e seus dados comparados com a espectroscopia realizada num espectrofotômetro CARY5000 – VARIAN (padrão ouro), segundo os requisitos da norma e um equipamento comercial UV-VIS VICTOR VISION. Utilizando a análise de Bland-Altman, verificou-se que, em relação ao padrão ouro, apenas um valor medido ficou fora dos limites de concordância, o que equivale a aproximadamente 95% de acertos. Em relação ao equipamento comercial, nenhuma amostra ficou fora dos limites de concordância. O protótipo terá sua estrutura externa redesenhada para ficar disponível ao acesso público na área 1 do campus USP de São Carlos.

Palavras-chave: ABNT NBR ISO 12312-1. Óculos de sol. Transmitância visível e ultravioleta. Sistema Embarcado.

ABSTRACT

MAR, Z. M. **Embedded System for Visible and Ultraviolet Light Transmittance Measurement in Sunglasses**. 2019. 63 p. Undergraduate Thesis – Sao Carlos School of Engineering, University of Sao Paulo, Sao Carlos, 2019.

This work is about the construction of an embedded prototype for category measurements and ultraviolet protection in sunglasses, based on the requirements of the Brazilian standard NBR ISO 12312-1:2015. The test required by the standard is performed by specialized professionals and consists on the transmittance spectroscopy in the region of 280 nm – 380 nm for the ultraviolet range and 380 nm – 780 nm for the visible range and the transmission average is determined by using risk weighting factor for ocular safety for every 5 nm. Our prototype is not intended for certification, but only for information if the sunglasses are within a safety limit for eye protection. Previously, in our research group (2010), a prototype was developed with the same purpose, with double beam for reference, and all calculations were performed on a PC and results were presented on a computer screen. In this work, the prototype is portable and the calculation and interface systems are embedded. The system consists of ultraviolet light source (PHILIPS, Actinic TL BL) and LED for the visible (OSRAM, LUW W5AM-LXLY-6P7RZ) to irradiate the lenses, and sensors for ultraviolet (Genuine UV Technology, GUYA-S12SD) and for the visible (Texas A. O. Solutions, TCS3472) to detect the transmission of light in sunglasses for these spectral ranges. The calibration is performed in the air (with no samples) to have the base values of 100% (total transmission) and 0% (zero transmission) and then the samples are measured. 32 samples were measured and their data compared to the spectroscopy performed on a spectrophotometer CARY5000 - VARIAN (gold standard), according to the requirements of the standard and commercial VICTOR VISION UV-VIS equipment. Using the Bland-Altman analysis, it was checked that only one measure was out of the limits of agreement, which corresponds to, approximately, 95% of success. For the commercial equipment, none of the samples was out of the limits of agreement. The prototype will have its external structure redesigned to be available for public access at area 1 of Campus of USP, in São Carlos.

Keywords: ABNT NBR ISO 12312-1. Sunglasses. Ultraviolet and visible transmittance. Embedded System.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Faixa espectral da luz visível	32
Figura 2 - Função espectral de visibilidade definida para luz diurna	34
Figura 3 - Distribuição espectral da radiação do iluminante-padrão D65 da CIE.....	34
Figura 4 - Espectro de ação eritêmica $S(\lambda)$, como definida pela CIE.....	36
Figura 5 - Funcionamento do sistema anterior desenvolvido no LIO, em 2010	38
Figura 6 - Foto do sistema anteriormente desenvolvido no LIO	38
Figura 7 - Diagrama de blocos do sistema de medição	41
Figura 8 - Placa de controle.....	42
Figura 9 - Esquemático do sistema desenvolvido	43
Figura 10 - Exemplo de tela de interação	44
Figura 11 - Desenho técnico da estrutura mecânica	45
Figura 12 - Aparato de sustentação e foco dos emissores de luz	46
Figura 13 - Suporte para as lentes	46
Figura 14 - Protótipo final	47
Figura 15 - Fluxograma do processo de medição.....	47
Figura 16 - Gráfico de Bland-Altman para as medidas do sistema desenvolvido e do Cary para luz visível.....	51
Figura 17 - Gráfico de Bland-Altman para as medidas do sistema desenvolvido e do Cary para luz UV-A	51
Figura 18 - Gráfico de Bland-Altman para as medidas do sistema desenvolvido e do U.Vision para luz visível.....	52
Figura 19 - Gráfico de Bland-Altman para as medidas do sistema desenvolvido e do U.Vision para luz UV.....	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Relação categoria e transmitância visível	35
Tabela 2 - Relação categoria e transmitância solar UV-A	36
Tabela 3 - Coeficientes de ponderação para aproximação das ponderações da norma.....	43
Tabela 4 - Comparativo das transmitâncias medidas pelo sistema desenvolvido e pelo U.Vision.....	49
Tabela 5 - Comparativo das transmitâncias medidas pelo sistema desenvolvido e pelo Cary.	50

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	–	Associação Brasileira de Normas Técnicas
LED	–	Light Emitting Diode
IC	–	Inter-Integrated Circuit
ISO	–	Organização Internacional para Padronização
UV	–	Ultravioleta
CIE	–	Comissão Internacional de Iluminação

LISTA DE SÍMBOLOS

λ	–	Comprimento de onda
τ	–	Transmitância
τ_V	–	Transmitância do espectro visível
τ_{UV}	–	Transmitância do espectro ultravioleta
τ_M	–	Transmitância média
$V(\lambda)$	–	Função de visibilidade espectral para a visão com luz diurna
$W_f(\lambda)$	–	Weighting Function (função de ponderação)
$S_{D65}(\lambda)$	–	Distribuição espectral da radiação padrão D65, da CIE
$S(\lambda)$	–	Espectro de ação eritêmica
$E_{s\lambda}(\lambda)$	–	Intensidade de radiação do Sol

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	31
1.1	ÓCULOS DE SOL.....	31
1.2	ESPECTRO VISÍVEL E ULTRAVIOLETA.....	31
1.3	ABNT NBR ISO 12312-1:2015	32
1.4	TRANSMITÂNCIA	33
1.4.1	TRANSMITÂNCIA VISÍVEL E CATEGORIA	33
1.4.2	TRANSMITÂNCIA UV-A	35
1.5	SISTEMA DESENVOLVIDO ANTERIORMENTE NO LIO	37
1.6	MOTIVAÇÃO E OBJETIVOS	39
2	MATERIAIS E MÉTODOS	41
3	RESULTADOS	49
4	CONCLUSÃO	55
5	PROPOSTAS DE MELHORIA.....	57

1 INTRODUÇÃO

1.1 ÓCULOS DE SOL

Os óculos de sol são acessórios muito utilizados atualmente, seja pela estética proporcionada pelo objeto ou pelo fato de trazer conforto visual. Pode ser classificado em duas classes: de uso geral (usados apenas com caráter estético ou para reduzir o brilho de luz que incide nos olhos) e especiais (para atividades que demandam proteção diferenciada, como na neve).

Com a popularização do item, as empresas muitas vezes optam por fabricar produtos de qualidade duvidosa, para que estes se tornem acessíveis a todos os públicos. Isso pode trazer problemas no âmbito da proteção, uma vez que as lentes podem não proteger dos possíveis danos causados pelos raios ultravioletas e a armação apresentar extrema fragilidade.

No Brasil, a norma vigente responsável pela determinação dos requisitos de proteção dos óculos de sol é a ABNT NBR ISO 12312-1:2015. A norma tornou-se obrigatória em alguns estados brasileiros no ano de 2018 e para que os óculos sejam certificados, devem ser submetidos aos ensaios regidos pela norma ISO 12311:2013.

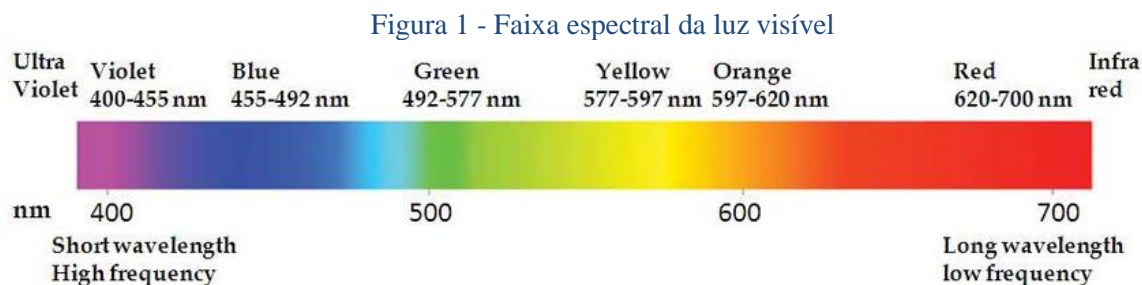
1.2 ESPECTRO VISÍVEL E ULTRAVIOLETA

A radiação solar tem sua faixa espectral que varia de 100 nm a 10^6 nm, tendo uma máxima densidade espectral em torno dos 550 nm. Esse espectro pode ser dividido em três principais faixas: a do ultravioleta, que apresenta comprimento de onda entre 100 nm e 380 nm; a do visível, que apresenta comprimento de onda de 380 nm a 780 nm; e a do infravermelho, cujos valores de comprimento de onda são acima de 780 nm.

De acordo com a norma NBR ISO 12312-1, a faixa espectral do ultravioleta contempla três divisões: o UV-C, de 100 nm a 280 nm; o UV-B, de 280 nm a 315 nm e o UV-A de 315 nm a 380 nm. Quando essa radiação atinge a atmosfera, 100% do UV-C e 90% do UV-B são absorvidos. Então, o que de fato chega à superfície terrestre é o UV-A e uma pequena parcela do UV-B (WORLD..., 1994).

A faixa espectral visível é a parte da faixa espectral eletromagnética que é sensível ao olho humano. Sua faixa de comprimento de onda está entre 380 nm e 780 nm. O comprimento

de onda, que está relacionado à frequência e à energia, determina a percepção das diferentes cores. A figura 1 mostra as cores correspondentes aos seus comprimentos de onda.



Fonte: AL-RAWASHDEH (2012)

1.3 ABNT NBR ISO 12312-1:2015

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) é o órgão responsável pela normalização técnica no Brasil e representa o país perante organismos internacionais (ABNT, 2011). Segundo a ABNT, a normalização é uma “atividade que estabelece, em relação a problemas existentes ou potenciais, prescrições destinadas à utilização comum e repetitiva com vistas à obtenção do grau ótimo de ordem em um dado contexto” (ABNT, 2011), visando proteger a vida e a saúde humana através da aferição de qualidade.

A ABNT NBR ISO 12312-1:2015 é a norma brasileira responsável pela determinação dos requisitos de proteção dos óculos de sol de uso geral. Essa norma entrou em vigor em 5 de novembro de 2015 e é baseada da norma internacional ISO 12312-1:2013.

O item 5 da norma brasileira refere-se ao conteúdo de transmitância, que trata dos aspectos de escurecimento da lente, ou seja, a categoria das lentes, que pode variar de 0 a 4, de acordo com a transmitância média calculada para o espectro do visível. A norma determina também que, dada a transmitância do visível, obtém-se o valor máximo de transmitância do ultravioleta, ou seja, o valor máximo de radiação ultravioleta que é permitido atravessar a lente, de forma a garantir a proteção dos olhos.

1.4 TRANSMITÂNCIA

Define-se como transmitância a parcela de luz incidente com um comprimento de onda específico que atravessa uma amostra (um filtro). Pode ser determinada pela equação 1, na qual I representa a intensidade da radiação (medida em W/m^2) após atravessar a amostra e I_0 a intensidade da radiação incidente (MELLO, 2014).

$$\tau = \frac{I}{I_0} \qquad \tau\% = \frac{I}{I_0} \cdot 100\% \qquad (1)$$

A transmitância pode variar de 0% a 100%, sendo 0% toda luz incidente foi bloqueada e 100% toda a luz incidente foi transmitida.

A transmitância média em um determinado intervalo do espectro é a média ponderada das transmitâncias para cada comprimento de onda dentro deste intervalo. A equação 2 mostra o cálculo da transmitância média para uma região compreendida entre λ_1 e λ_2 usando a função de ponderação $W_f(\lambda)$.

$$\tau_M = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \tau_f(\lambda) \cdot W_f(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} W_f(\lambda) d\lambda} \qquad (2)$$

Em que:

$\tau_f(\lambda)$ é a transmitância espectral em função do comprimento de onda;

$W_f(\lambda)$ é a função de ponderação;

τ_M é a transmitância média entre o intervalo de λ_1 e λ_2

Neste trabalho, serão utilizadas a transmitância visível τ_V e a transmitância ultravioleta-A τ_{UV-A} .

1.4.1 TRANSMITÂNCIA VISÍVEL E CATEGORIA

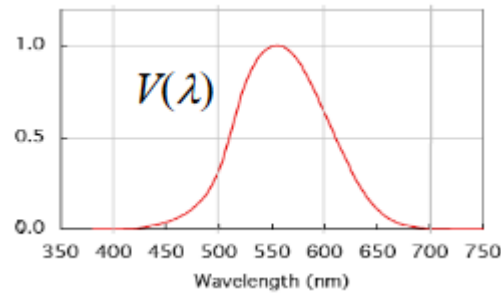
A transmitância visível τ_V pode ser descrita como a média ponderada entre a transmitância espectral da lente $\tau_f(\lambda)$ no intervalo de 380 nm a 780 nm e a função de ponderação espectral $W_V(\lambda)$, definida pelo produto da distribuição espectral da radiação padrão

D65, da Comissão Internacional de Iluminação (CIE), com a função de visibilidade espectral para a visão com luz diurna $V(\lambda)$ (LOUREIRO, 2017). O valor resultante τ_V é definido pela equação 3.

$$\tau_V = \frac{\int_{380}^{780} \tau_f(\lambda)V(\lambda)S_{D65}(\lambda)d\lambda}{\int_{380}^{780} V(\lambda)S_{D65}(\lambda)d\lambda} \quad (3)$$

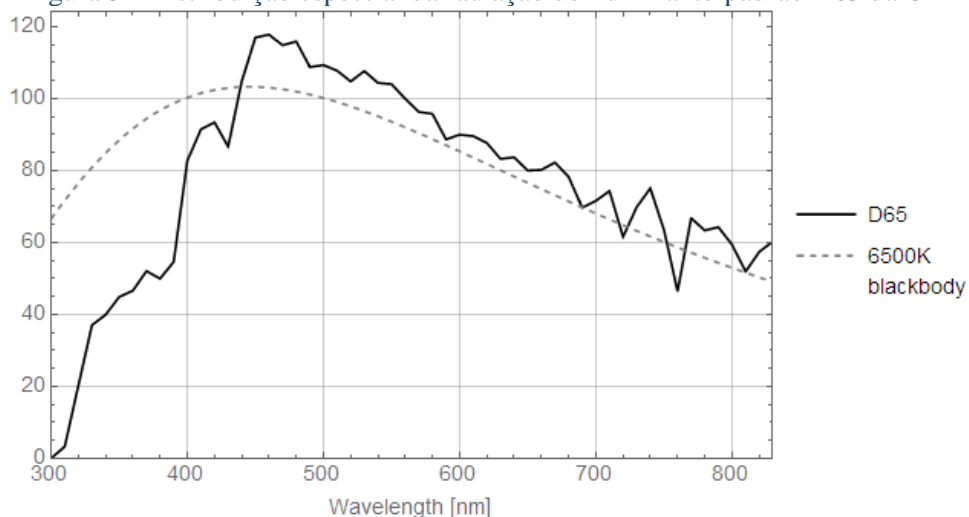
As figuras 2 e 3 são relativas à função de visibilidade espectral para a visão com luz diurna e à distribuição espectral da radiação padrão D65 respectivamente.

Figura 2 - Função espectral de visibilidade definida para luz diurna



Fonte: NIST (2013)

Figura 3 - Distribuição espectral da radiação do iluminante-padrão D65 da CIE



Fonte: ISO 11664-2 (2007)

A categoria, fator que indica o grau de escurecimento da lente, está diretamente relacionada com a transmitância visível. Quanto maior a categoria, mais escura é a lente e

quanto menor, mais clara. A tabela 1 relaciona os valores de categoria com seus respectivos intervalos de transmitância visível.

Tabela 1 - Relação categoria e transmitância visível

Categoria dos filtros	Transmitância visível (τ_V) (%)	
	De	Até
0	80	100
1	43	80
2	18	43
3	8	18
4	3	8

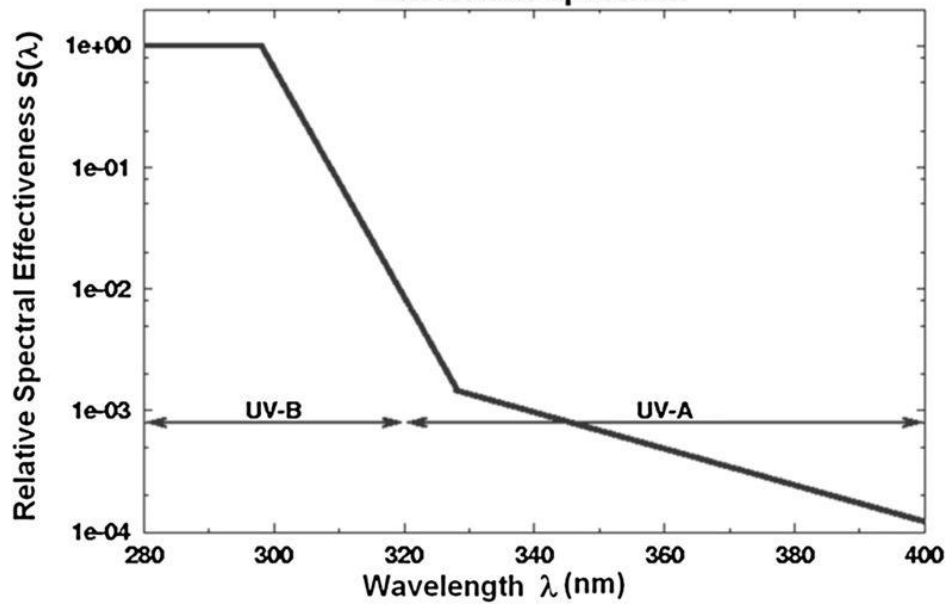
Fonte: Adaptado ABNT (2015)

Lentes com transmitâncias abaixo de 3% não são definidas pela norma ABNT NBR ISO 12312-1, visto que são muito escuras e que não contemplam a categoria de óculos para uso geral (LOUREIRO, 2017).

1.4.2 TRANSMITÂNCIA UV-A

Da mesma forma que a transmitância visível, a transmitância UV-A τ_{UV-A} é definida pela média ponderada entre a transmitância espectral da lente $\tau_f(\lambda)$ no intervalo de 315 nm a 380 nm e a função de ponderação espectral $W_{UV}(\lambda)$, definida pelo produto da intensidade de radiação do Sol $E_{s\lambda}(\lambda)$ com o espectro de ação eritêmica $S(\lambda)$ (MELLO, 2014). A figura 4 ilustra o espectro de ação eritêmica.

Figura 4 - Espectro de ação eritêmica $S(\lambda)$, como definida pela CIE
CIE Action Spectrum



Fonte: JOINT ISO/CIE (1999)

O valor resultante τ_{UV-A} é definido pela equação 4.

$$\tau_{UV-A} = \frac{\int_{315}^{380} \tau_f(\lambda) E_{s\lambda}(\lambda) S(\lambda) d\lambda}{\int_{315}^{380} E_{s\lambda}(\lambda) S(\lambda) d\lambda} \quad (4)$$

A norma ABNT NBR ISO 12312-1 também determina a relação entre a transmitância ultravioleta e a categoria, como mostra a tabela 2.

Tabela 2 - Relação categoria e transmitância solar UV-A

Categoria de filtros	Transmitância visível (τ_V) (%)		Valor máximo de transmitância UV-A (315-380 nm)
	De	Até	
0	80	100	τ_V
1	43	80	τ_V
2	18	43	$0,5\tau_V$

3	8	18	$0,5\tau_V$
4	3	8	1,0% absoluto ou $0,25\tau_V$, o que for maior

Fonte: Adaptado ABNT (2015)

1.5 SISTEMA DESENVOLVIDO ANTERIORMENTE NO LIO

O quiosque de autoatendimento desenvolvido (MELLO; LINCOLN; VENTURA) fornece medições das categorias das lentes de óculos de sol e sua respectiva proteção UV, levando a um relatório final sobre se elas são apropriadas para uso. Não substitui as medidas espectroscópicas realizadas em óculos de sol para fins de certificação, mas fornece resultados bem correlacionados para o público.

Através de uma interface de interação, o usuário é solicitado a colocar os óculos de sol em um compartimento apropriado do quiosque, medindo-se a categoria em uma lente e a transmitância UV em outra. Após a primeira medição, o usuário inverte a posição das lentes, para que após a segunda medição, ambas as lentes tenham sido avaliadas em categoria e transmitância UV. Por fim, o relatório é apresentado ao usuário com os resultados.

O sistema possui fontes de luz UV-A e UV-B e dois sensores fotodiodo de resposta UV, com resposta de ação do Eritema para medir a proteção UV; para medidas de categorias, combinação de luz branca e LED foi usada para a faixa visível, assim como um sensor de luz com resposta espectral semelhante ao olho humano. A eletrônica foi desenvolvida para controlar as medições e o software foi implementado para fornecer o relatório, bem como para a interface do usuário.

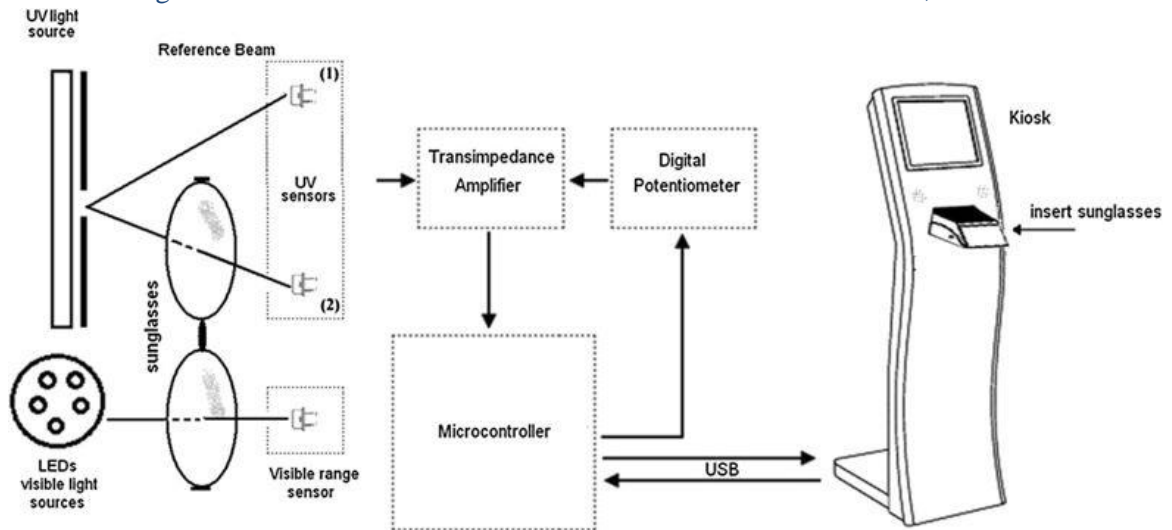
Todo o sistema foi embutido como um quiosque touch screen de auto-atendimento e fornece medições de transmitância que estão dentro do limite de desvio exigido pela antiga NBR 15111, ou seja, 0,25%. As medições foram realizadas em mais de 45 óculos de sol e comparadas ao espectrofotômetro CARY 5000 - VARIAN e apresentaram boa correlação para as medidas de transmitância na faixa espectral visível ($r = 0,9999$) e na faixa ultravioleta ($r = 0,9998$).

O protótipo identifica a proteção UV, para óculos de sol não corretivos, de acordo com a categoria da lente e está disponível para o público. Além de educar a população sobre a importância do uso de óculos escuros protegidos, o protótipo também permitiu que o público

tivesse acesso a informações sobre a qualidade da proteção de seus próprios óculos de sol em um método de teste fácil e gratuito.

A figura 6 mostra uma foto do sistema anteriormente desenvolvido no LIO.

Figura 5 - Funcionamento do sistema anterior desenvolvido no LIO, em 2010



Fonte: MELLO; LINCOLN; VENTURA

Figura 6 - Foto do sistema anteriormente desenvolvido no LIO



Fonte: MELLO; LINCOLN; VENTURA

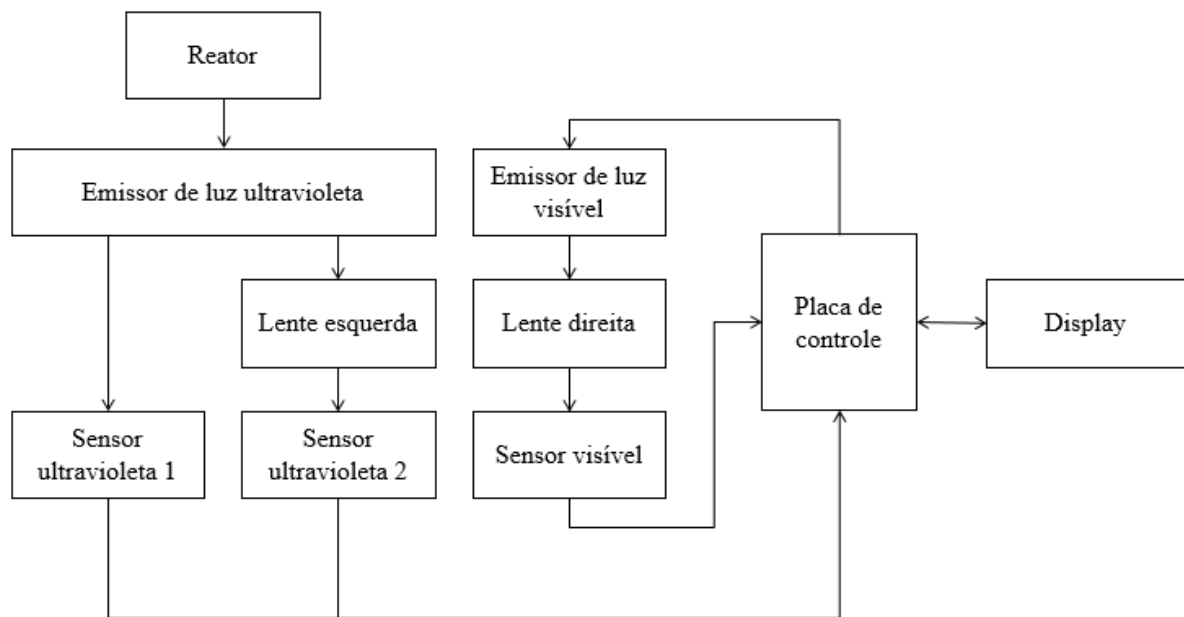
1.6 MOTIVAÇÃO E OBJETIVOS

Em 2010 foi desenvolvido um protótipo no LIO (Laboratório de Instrumentação Oftálmica) com a mesma finalidade de se medir categorias das lentes e a proteção ultravioleta, para que o público pudesse testar seus próprios óculos de sol no protótipo (MELLO; LINCOLN; VENTURA). Esse protótipo de 2010 possuía duplo feixe para referência e estabilização da parte eletrônica e todo processo de cálculos era realizado em um PC com os resultados apresentados em tela de computador. Como o protótipo é itinerante e vários locais (feiras, eventos, museus, etc) solicitam sua exposição, ele tornou-se inviável para transporte com frequência, devido ao seu tamanho. Assim, a motivação deste trabalho é tornar o protótipo embarcado e portátil, com resultados pertinentes para que o público se informe da importância da proteção ultravioleta de seus óculos de sol, através de uma interface simples, para que o usuário não tenha dificuldades de utilizá-lo. Vale ressaltar que o sistema anterior atendia à antiga norma NBR 15111 e, com a mudança da norma vigente, o protótipo será baseado na atual norma ABNT NBR ISO 12312-1.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O sistema foi desenvolvido no Laboratório de Instrumentação Oftálmica (LIO) e o diagrama de blocos representado pela figura 7 descreve resumidamente os módulos que o compõe.

Figura 7 - Diagrama de blocos do sistema de medição



Fonte: o autor

Para simular a radiação solar UV-A, foi utilizada a lâmpada PHILIPS Actinic BL TL Mini, fluorescente, com 4 W de potência (PHILIPS, 2018) e um reator. Para o espectro visível, foi utilizado o LED branco LUW W5AM-LXLY-6P7RZ da OSRAM, com temperatura de cor de 6000 K (LUW W5AM, 2015).

O display utilizado no projeto foi o Proculus P80480V70C_T07, de 7 polegadas, resolução de 800x480, 65 mil cores e sensível ao toque (PROCLUS, 2017). O fato de ser sensível ao toque e possuir dimensão adequada tanto no quesito de portabilidade quanto para a visibilidade das informações ao usuário foi o que motivou a escolha desse dispositivo.

Para a obtenção dos sinais luminosos, foram utilizados os sensores ultravioleta GUYA-S12SD, da Genuine UV Technology (GENUV, 2018) e o sensor de luz visível TCS3472, da Texas Advanced Optoelectronic Solutions (AMS, 2018).

A placa de controle, responsável por efetuar a comunicação com o display, leitura dos sensores e controlar o emissor de luz visível, é uma das partes mais importantes do sistema. O

Arduino Nano, plataforma de prototipagem eletrônica, é o dispositivo central da placa de controle que estabelece a comunicação com o display através da porta serial. Possui entradas e saídas digitais, que neste caso é utilizada para controlar o LED visível.

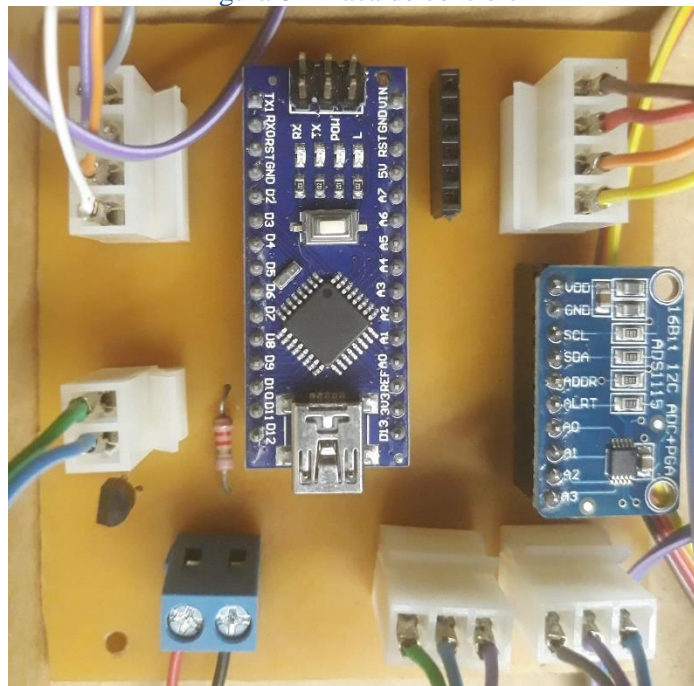
Outro componente importante para a placa é o módulo de conversão analógico-digital ADS 1115, cuja função é converter os sinais analógicos recebidos dos sensores de luz ultravioleta em sinais digitais, ou seja, em bits. Por ser um dispositivo de 16 bits, tem-se alta resolução e, por consequência, alta precisão na aquisição das medidas de acordo com o ganho predeterminado via software. Comunica-se via I²C, interface também disponível no Arduino Nano.

Como a corrente fornecida pelas portas digitais do Arduino não era suficiente para que o LED visível apresentasse luminosidade necessária para o teste, utilizou-se um transistor BC548 como chave para ligar e desligar o LED, que foi conectado diretamente na tensão de 3.3 V fornecida pelo Arduino. A corrente drenada pelo LED é de 50 mA, limitada à saída do pino de 3.3 V do Arduino Nano, que possui regulador interno.

A alimentação do circuito é feita através de uma fonte de 5 V e, de forma independente, há uma fonte que alimenta o reator para a lâmpada fluorescente, que é controlada por um relé.

A figura 8 mostra o resultado da placa de controle desenvolvida.

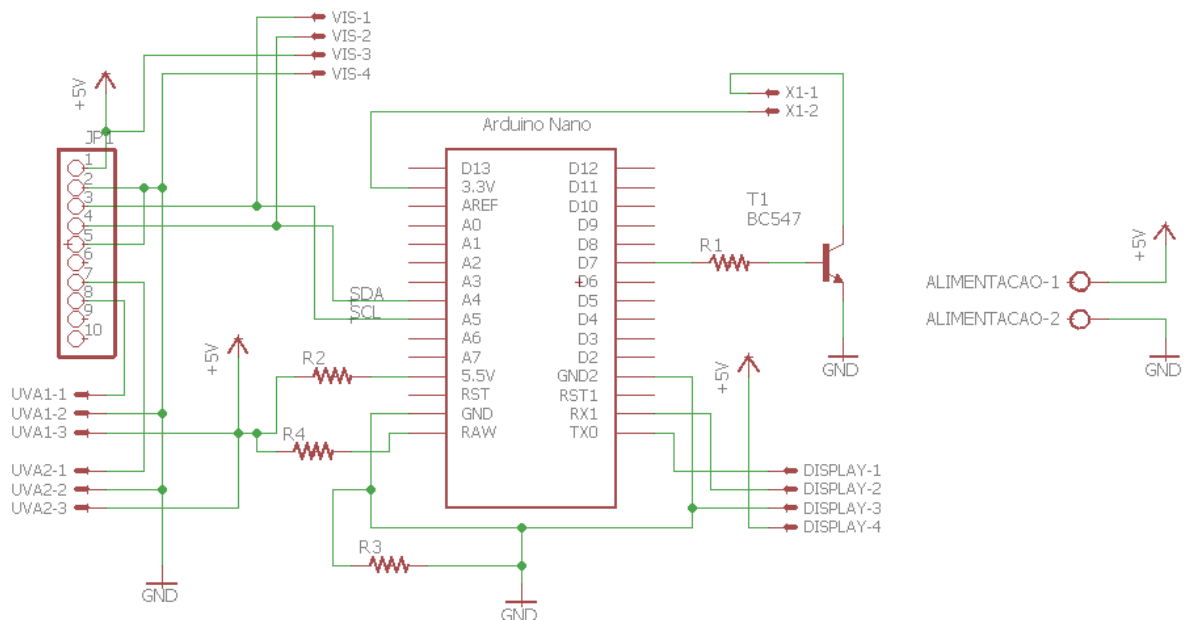
Figura 8 - Placa de controle



Fonte: o autor

O esquemático do sistema mostrado na figura 9 apresenta as ligações entre os componentes e a placa de desenvolvimento.

Figura 9 - Esquemático do sistema desenvolvido



Fonte: o autor

A primeira parte a ser estudada e estruturada foi o conjunto sensor e emissor de luz visível. A combinação dos dois componentes, citados anteriormente, não gerava as ponderações necessárias para simular o olho e a luz solar visível. Para corrigir este problema, Loureiro (2017) em seu trabalho levantou as curvas de resposta de cada um dos quatro canais do sensor, fornecendo quatro ponderações distintas, que através de combinações lineares destas ponderações, geraram ponderações que se aproximam das tabeladas na norma.

Os coeficientes resultantes das combinações lineares são mostrados na tabela 3. Alguns testes de bancada foram feitos para a validação do conjunto.

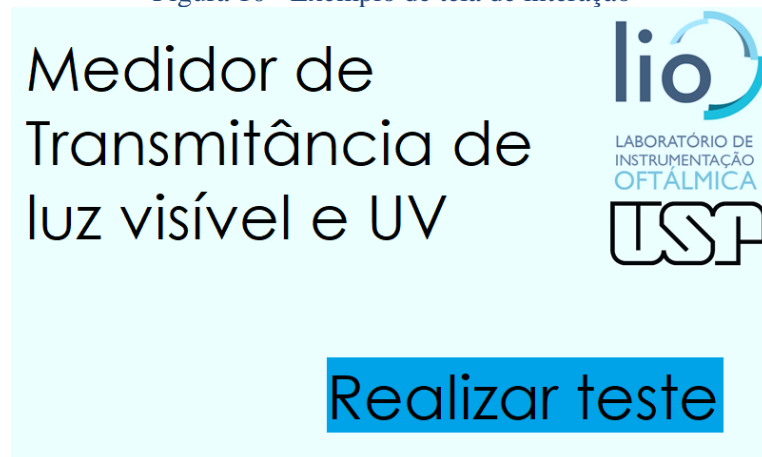
Tabela 3 - Coeficientes de ponderação para aproximação das ponderações da norma

Canal	τ_V
Clear	0,0633
Red	0,2273
Green	0,8551
Blue	-0,1457

Fonte: Adaptado LOUREIRO (2017)

A segunda etapa da construção do protótipo consistiu no funcionamento e programação do display para que interagisse com o usuário e mostrasse os resultados. A ideia nesse momento era entender como funcionava a comunicação entre display e Arduino e desenvolver as telas de interação. A figura 10 é o exemplo de uma das telas mostradas pelo display.

Figura 10 - Exemplo de tela de interação



Fonte: o autor

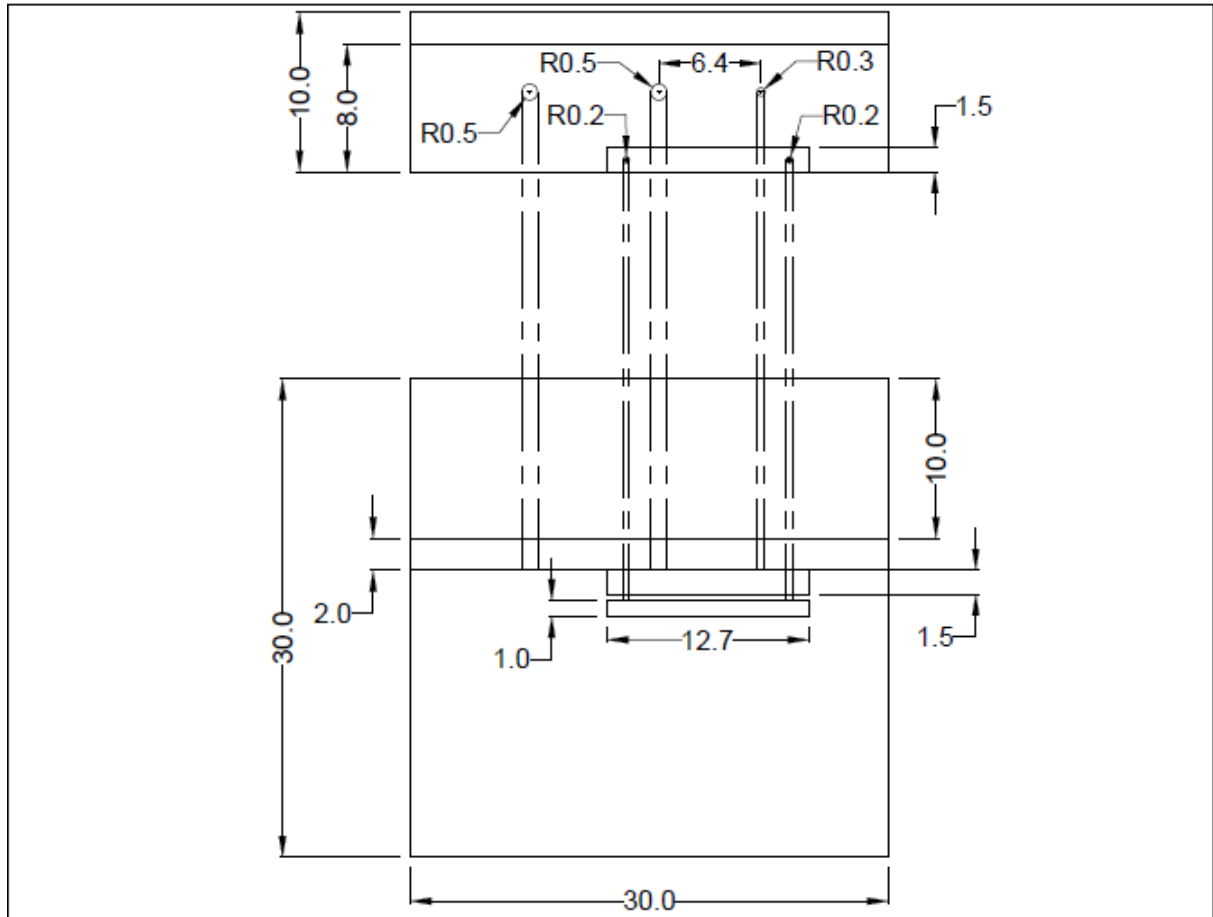
Como o objetivo do protótipo é ser de fácil interação, as telas são intuitivas, destacando os locais a serem tocados (como em “Realizar teste”) e o processo é basicamente linear, evitando que o usuário fique confuso ao interagir com o sistema.

A etapa seguinte prosseguiu com a montagem e os testes para os sensores e lâmpada ultravioleta. Como a lâmpada apresentava oscilações, foram utilizados dois sensores: um para referência e outro para a medição. O sensor de referência possui duas funções: determinar a variação do sinal no momento em que foi calibrado e no momento em que foi medido, e determinar qual é o “zero” do sensor, já que o mesmo apresenta um offset de tensão e seu valor absoluto não é zero. A potência da lâmpada era de 4 W, não sendo suficiente para que se gerasse uma grande variação entre os valores mínimo e máximo de tensão. Então, para aumentar a precisão das medidas, a conversão do sinal analógico para digital foi feita por um dispositivo auxiliar, o ADS1115, que possui controladores de ganho para uma melhor resolução e precisão. Uma biblioteca da Adafruit foi utilizada para verificar o funcionamento dos sensores e baseada nela, foi desenvolvido o software para aquisição das medidas de base, de zero e transmitância.

O último passo da construção do projeto foi desenvolver um sistema mecânico simples, por se tratar de um protótipo, que comportasse toda a eletrônica, os emissores, os sensores e a tela. Dentro da caixa feita de madeira, há um suporte para sustentar os emissores de luz. Nessa peça, foram feitos pequenos furos para que a luz tivesse a menor dispersão possível. Os detalhes

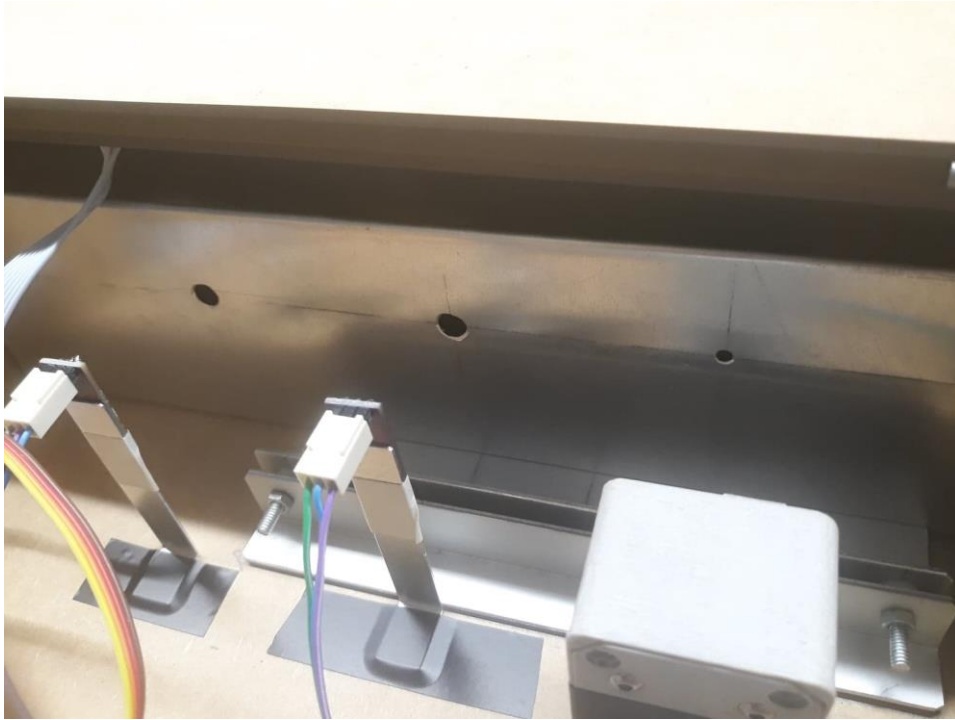
das distâncias utilizadas são mostrados na figura 11. As cotas estão em centímetros e o desenho representa a visão superior e frontal da caixa. Essas dimensões permitem que o sistema seja transportado facilmente.

Figura 11 - Desenho técnico da estrutura mecânica



Fonte: o autor

Figura 12 - Aparato de sustentação e foco dos emissores de luz



Fonte: o autor

Há também um suporte para as lentes. Este possui dois furos com distâncias centrais idênticas à distância dos olhos definida pela norma de testes de óculos de sol ISO 12311:2013 e elásticos que prendem as lentes para a medição. A ideia do suporte para esse projeto é apenas de caráter validador, uma vez que as amostras disponíveis para medição não possuem armação. Projetado para ser removível, pode ser facilmente trocado por um suporte que sustente os óculos de sol.

Figura 13 - Suporte para as lentes



Fonte: o autor

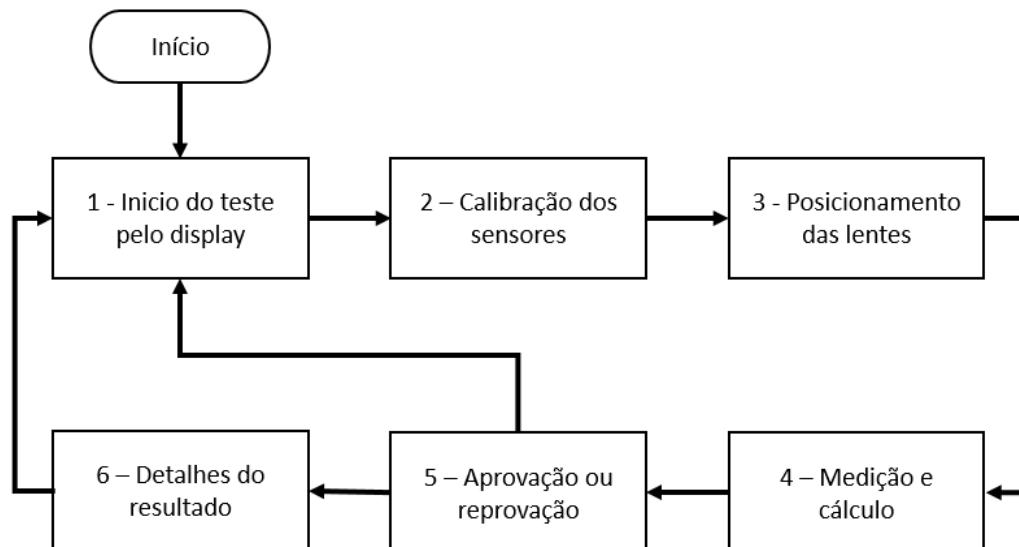
Figura 14 - Protótipo final



Fonte: o autor

O processo de medição do sistema é descrito pelo fluxograma da figura 15.

Figura 15 - Fluxograma do processo de medição



Fonte: os autores

Descrevendo cada etapa do processo:

- 1 – Início do teste pelo display: o usuário, através da tela sensível ao toque, inicia o teste de avaliação;
- 2 – Calibração dos sensores: após o início, o sistema irá tirar a linha de base (baseline), medindo o que será o seu valor máximo. Para o sensor ultravioleta, o valor mínimo também será medido, devido à questão do offset do sensor;
- 3 – Posicionamento das lentes: após a calibração, o usuário irá colocar as lentes no suporte de lentes, que dispõe dos elásticos que as fixarão. Uma vez posicionadas as lentes, o usuário irá fechar a tampa e tocará na tela para dar prosseguimento às medições;
- 4 – Medição e cálculo: após tocar na tela, o sistema irá medir as intensidades da luzes visível e UV-A e, através dos valores aferidos na etapa de calibração, fará os cálculos, divulgando o resultado em seguida, após poucos segundos;
- 5 – Aprovação ou reprovação: após os cálculos, o sistema apresentará na tela se as lentes ou os óculos estão em conformidade, notificando se apresenta a proteção UV-A de acordo com a norma. Nessa etapa, o display terá a opção de voltar ao início ou prosseguir para detalhes;
- 6 – Detalhes do resultado: após o usuário clicar em “Detalhes”, o display mostrará os resultados de categoria, transmitância visível e transmitância ultravioleta, obtidos dos cálculos e medições da etapa 4.

3 RESULTADOS

Os testes de medição foram feitos em dois grupos de lentes fornecidos pelo LIO. Como os testes foram realizados em momentos diferentes, não havia a disponibilidade de utilizar o primeiro grupo de amostras para o segundo teste, uma vez que esse conjunto já estava sendo utilizado em outro projeto. Além disso, o primeiro grupo havia sido avaliado pelo equipamento comercial e o segundo não.

O primeiro grupo tinha 13 pares de lentes e o segundo 19. Em todas as lentes, foram avaliados os valores de categoria, transmitância visível, transmitância ultravioleta e se fornece a proteção suficiente do UV-A estipulada pela norma.

Os valores obtidos para o grupo 1 foram comparados com o sistema comercial U.Vision – Victor Vision, cujo protótipo também foi desenvolvido no LIO. A tabela 4 traz a comparação dos valores de transmitância. A amostra 13 não foi classificada em nenhuma categoria, pois sua transmitância visível medida foi abaixo de 3%. Com isso, não foi possível classificar a conformidade dos óculos.

Como os dois equipamentos foram construídos baseados em normas diferentes, a ideia da comparação era verificar os valores de categoria, transmitância visível e transmitância UV-A, pois esses valores independem da norma. O que muda é se os óculos estão ou não em conformidade com a norma vigente.

Tabela 4 - Comparativo das transmitâncias medidas pelo sistema desenvolvido e pelo U.Vision

AMOSTRA	CATEGORIA		TRANSMIT. VIS. (%)		TRANSMIT. UV-A (%)		PROTEGE CONFORME A NORMA?	
	SISTEMA	U.VISION	SISTEMA	U.VISION	SISTEMA	U.VISION	SISTEMA	U.VISION
1	3	3	9,96	9	1,77	0	SIM	SIM
2	3	3	12,32	11	1,89	0	SIM	SIM
3	3	3	8,87	11	0,92	0	SIM	SIM
4	3	3	12,03	13	0,9	0	SIM	SIM
5	3	3	11,53	15	0,9	2,2	SIM	SIM
6	2	2	27,9	29	0	0	SIM	SIM
7	3	3	15,4	15	2,91	0	SIM	SIM
8	3	3	9	10	2,7	0	SIM	SIM
9	4	4	4,91	5	0	0	SIM	SIM
10	3	3	9,71	10	3,67	0,5	SIM	SIM
11	3	3	10,02	12	0,93	0	SIM	SIM

12	4	3	7,19	9	1,89	0	NÃO	SIM
13	-	4	2,63	4	3,67	0	-	SIM

Fonte: o autor

Já os valores do grupo 2 foram comparados aos valores obtidos através da espectroscopia das amostras pelo espectrofotômetro Cary, aparelho referência do laboratório. O aparelho mede a transmitância por cada comprimento de onda, com passo de 5 nm. As ponderações utilizadas para o cálculo da transmitância média visível e ultravioleta se encontram no Anexo A e B, respectivamente.

Tabela 5 - Comparativo das transmitâncias medidas pelo sistema desenvolvido e pelo Cary

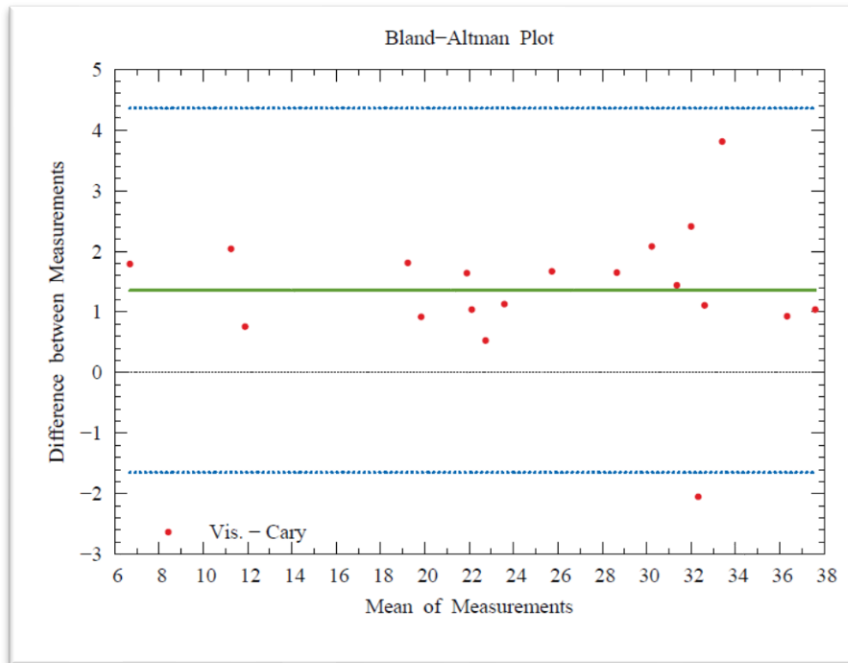
AMOSTRA	CATEGORIA		TRANSMIT. VIS. (%)		TRANSMIT. UV-A (%)		PROTEGE CONFORME A NORMA?	
	SISTEMA	CARY	SISTEMA	CARY	SISTEMA	CARY	SISTEMA	CARY
1	2	2	22,63	21,59	5,98	5,84	SIM	SIM
2	2	2	33,17	32,06	2	0	SIM	SIM
3	2	2	35,31	31,5	10,3	7,44	SIM	SIM
4	4	4	7,58	5,79	2,24	1,01	NÃO	SIM
5	2	2	26,56	24,89	2,29	2,9	SIM	SIM
6	2	2	24,15	23,02	1,17	0	SIM	SIM
7	2	2	31,3	33,35	0	3,67	SIM	SIM
8	3	3	12,26	11,5	1,12	0	SIM	SIM
9	2	2	31,27	29,19	2,67	4,02	SIM	SIM
10	2	2	20,29	19,37	14,45	6,65	NÃO	SIM
11	2	2	38,12	37,08	1,06	2,01	SIM	SIM
12	2	2	23	22,47	3,4	4,65	SIM	SIM
13	2	2	32,08	30,64	1,13	0	SIM	SIM
14	2	2	36,8	35,87	5,55	3,01	SIM	SIM
15	2	2	20,13	18,32	6,09	6,45	SIM	SIM
16	2	2	22,71	21,07	12,5	8,68	NÃO	SIM
17	2	2	29,48	27,83	20	8,83	NÃO	SIM
18	3	3	12,27	10,23	0	0	SIM	SIM
19	2	2	33,21	30,8	8,69	2,65	SIM	SIM

Fonte: o autor

Através da análise de Bland-Altman, foram gerados os gráficos que comparam as medidas obtidas utilizando o sistema desenvolvido com o espectrofotômetro e o sistema comercial. As linhas tracejadas representam os limites de concordância, calculado para um intervalo de confiança do dado de 95%. As figuras 16 e 17 apresentam o resultado entre o

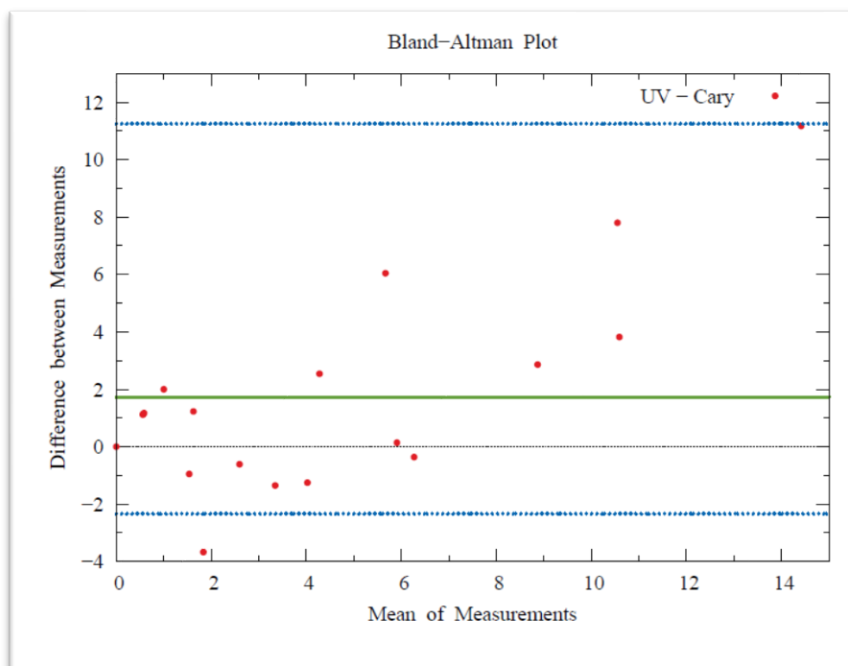
sistema desenvolvido e o Cary para as medidas de transmitância visível e UV-A, respectivamente.

Figura 16 - Gráfico de Bland-Altman para as medidas do sistema desenvolvido e do Cary para luz visível



Fonte: o autor

Figura 17 - Gráfico de Bland-Altman para as medidas do sistema desenvolvido e do Cary para luz UV-A

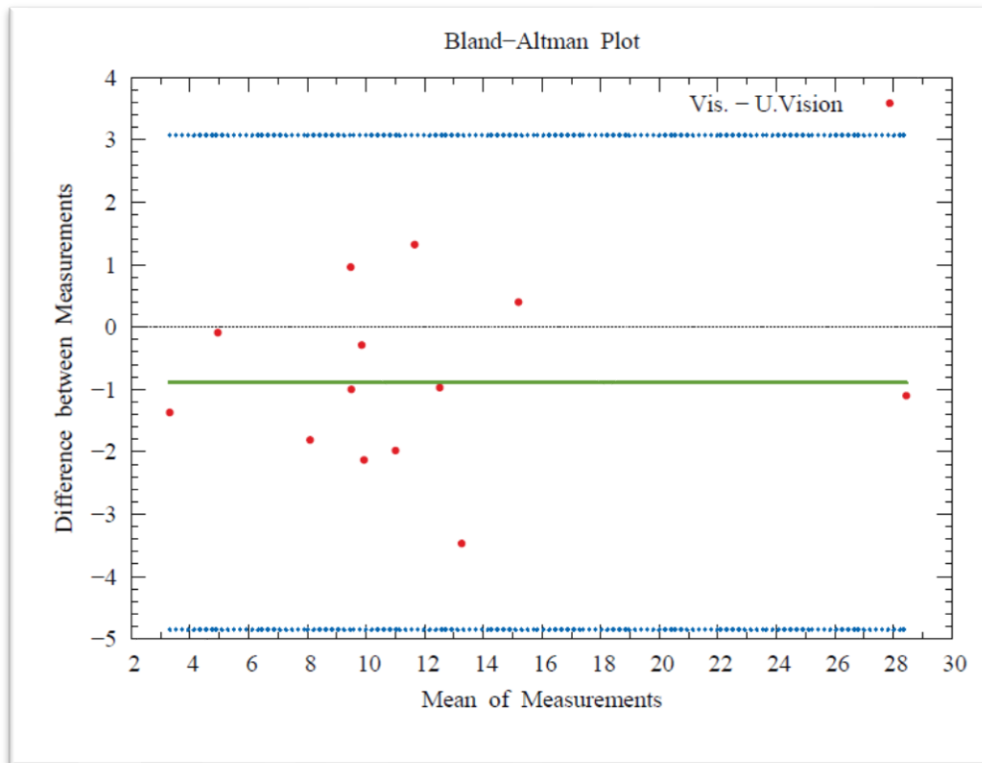


Fonte: o autor

Analisando as figuras 16 e 17, das 19 amostras comparadas, só 1 (5,26%) está fora do limite de concordância, ou seja, o resultado dentro dos limites de concordância é de 94,74%.

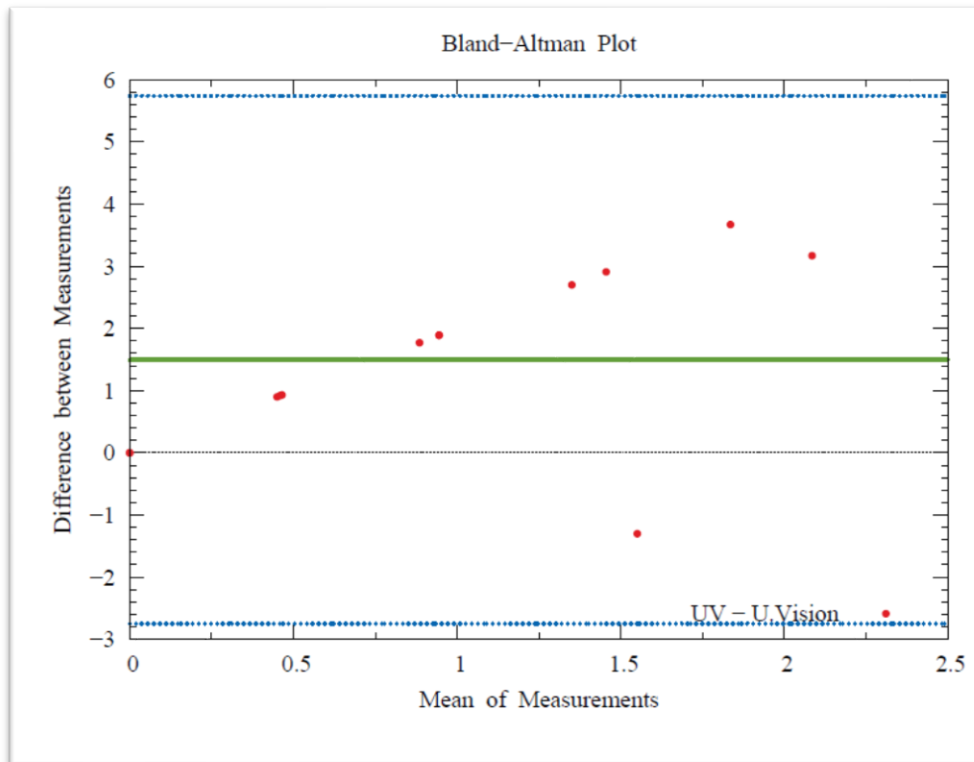
A mesma análise foi feita para a relação das medidas entre o sistema desenvolvido e o sistema comercial.

Figura 18 - Gráfico de Bland-Altman para as medidas do sistema desenvolvido e do U.Vision para luz visível



Fonte: os autores

Figura 19 - Gráfico de Bland-Altman para as medidas do sistema desenvolvido e do U.Vision para luz UV



Fonte: os autores

A partir da interpretação das figuras 18 e 19, todas as amostras estão dentro dos limites de concordância definidos através do método. Portanto, o resultado para essa análise é de 100% de concordância.

4 CONCLUSÃO

A proposta de se construir um sistema para avaliar a proteção UV-A dentro dos padrões da norma vigente dos óculos ou das lentes parte do princípio de disseminar a informação da importância de saber em que medida os olhos estão protegidos dos raios UV solares. A motivação foi desenvolver um equipamento que fosse de fácil manuseio e que desse rápidos resultados, além de ser portátil.

O protótipo possui praticidade por ser de pequeno porte e de fácil interface com o usuário.

Utilizando o método de Bland-Altman, verificou-se que em relação espectrofotômetro, considerado o padrão ouro, 94,74% das medidas estão dentro dos limites de concordância com um intervalo de confiança de 95%. Já em relação ao sistema comercial U.Vision, 100% das medidas estavam dentro dos limites de concordância calculados. Alguns pontos, mesmo estando dentro dos limites de concordância, estão no limiar dos limites, o que significa que se o intervalo de confiança for maior, esses pontos podem estar fora dos limites de concordância.

Alguns fatores como as lentes serem degradé e os sensores não possuírem a curva do espectro de ação eritêmica podem interferir no resultado das medições. Além disso, valores muito próximos das zonas de uma categoria a outra podem interferir significativamente, pois a dose de UV-A permitida entre uma categoria e outra varia.

O sistema embarcado ficará inicialmente disponível no LIO para melhorias que foram identificadas após o término do projeto. Quando a estrutura externa for redesenhada, o equipamento poderá ficar disponível ao acesso público na área 1 do campus USP de São Carlos.

5 PROPOSTAS DE MELHORIA

Após o término do projeto, alguns pontos foram avaliados como melhorias, que podem ser implementados em futuros projetos:

- A lâmpada UV: a lâmpada UV utilizada no projeto possui potência de 4 W, produzindo intensidade relativamente baixa e isso impacta diretamente no quanto o sensor varia. Uma lâmpada de 8 W seria mais adequada para melhores resultados;
- Ponderação do sensor UV-A: a curva de sensibilidade do sensor não é exatamente a curva do espectro de ação eritêmica e isso ocasiona divergência nas medições. Levantando-se a curva do sensor através de um monocromador, é possível matematicamente utilizar parâmetros de ponderação para que a curva do sensor se assemelhe à curva eritêmica;
- Suporte para os óculos de sol: como não houve tempo hábil para projetar um suporte de óculos de sol já que as amostras de validação do sistema eram lentes, pode-se desenvolver um suporte para que atenda também aos óculos de sol, visto que é possível remover o suporte atual.

REFERÊNCIAS

ABNT. **História da normalização brasileira**. Rio de Janeiro: 2011. 112 Disponível em: http://www.abnt.org.br/imprensa/livro_abnt/70anos_ABNT.pdf.

ADS1115. **ADS111x Ultra-Small, Low-Power, I2C-Compatible, 860-SPS, 16-Bit ADCs With Internal Reference, Oscillator and Programmable Comparator Datasheet – Texas Instruments**. 2009, revised 2018.

AL-RAWASHDEH, N. A. F. **Current Achievement and Future Potential of Fluorescence Spectroscopy**. 212: Macro to Nano Spectroscopy. 2012.

AMS. **TCS3472 – Color Light-to-Digital Converter with IR Filter**. Version 1.3. 2018.

GENUV. **UV-A Sensor GUVA-S12SD**. 2018. Disponível em: <http://www.geni-uv.com/download/products/GUVA-S12SD.pdf>

ISO 11664-2. **Colorimetry – Part 2: CIE Standard Illuminants**. 2007

JOINT ISO/CIE Standard ISO 17166:1999/CIE S007–1998. **Erythema Reference Action Spectrum and Standard Erythema Dose**. Viena, Austria; 1999.

LOUREIRO, A. D. **Dispositivo para Medição e Teste de Transmitância Luminosa e Semafórica em Óculos de Sol de Acordo com a Norma Brasileira – ABNT NBR ISO 12312-1:2015**. Dissertação (Mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2017.

LUW W5AM, **Golden DRAGON Plus Datasheet, Version 1.1 – OSRAM Opto Semiconductors**. 2015. Disponível em: https://www.osram.com/os/ecat/Golden%20DRAGON%C2%AE%20Plus%20LUW%20W5AM/com/en/class_pim_web_catalog_103489/global/prd_pim_device_2402629/

MELLO, M. M. **Sistema de Análise de Transmitâncias em Lentes Solares**. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2014.

MELLO, M.M.; LINCOLN V.A.C.; VENTURA, L. **Self-Service Kiosk for Testing Sunglasses**. BioMedical Engineering OnLine 2014;13:45. <https://doi.org/10.1186/1475-925X-13-45>

NEVES, N. I. S. **Avaliação de Sistemas de Medidas de Proteção Ultravioleta em Óculos de Sol**. Iniciação Científica. São Carlos, 2018.

NIST, SIM Metrology School. **Optical Metrology – Photometry**. Gaithersburg, 2013.

PHILIPS Lighting, **Actinic BL Datasheet**. 2018. Disponível em:

https://www.assets.lighting.philips.com/is/content/PhilipsLighting/fp928000001030-pss-pt_pt

PROCLUS. **P80480V70C_T07 Product Specification Datasheet**. 2017. Disponível em:

http://www.proculustech.com/upload/file/P80480V70C_T07_DATASHEET.pdf

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Environmental Health Criteria**. 160: Ultraviolet Radiation. Geneva, 1994.

ANEXO A – TABELA DO PRODUTO DA DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA
DO PADRÃO ILUMINANTE D65 COM A FUNÇÃO ESPECTRAL DE
VISIBILIDADE PARA LUZ DIURNA

Wavelength λ nm	$SD65(\lambda) \cdot V(\lambda)$	Wavelength λ nm	$SD65(\lambda) \cdot V(\lambda)$	Wavelength λ nm	$SD65(\lambda) \cdot V(\lambda)$
380	0,0001	515	3,0589	650	0,4052
385	0,0002	520	3,5203	655	0,3093
390	0,0003	525	3,9873	660	0,2315
395	0,0007	530	4,3922	665	0,1714
400	0,0016	535	4,5905	670	0,1246
405	0,0026	540	4,7128	675	0,0881
410	0,0052	545	4,8343	680	0,0630
415	0,0095	550	4,8981	685	0,0417
420	0,0177	555	4,8272	690	0,0271
425	0,0311	560	4,7078	695	0,0191
430	0,0476	565	4,5455	700	0,0139
435	0,0763	570	4,3393	705	0,0101
440	0,1141	575	4,1607	710	0,0074
445	0,1564	580	3,9431	715	0,0048
450	0,2104	585	3,5626	720	0,0031
455	0,2667	590	3,1766	725	0,0023
460	0,3345	595	2,9377	730	0,0017
465	0,4068	600	2,6873	735	0,0012
470	0,4945	605	2,4084	740	0,0009
475	0,6148	610	2,1324	745	0,0006
480	0,7625	615	1,8506	750	0,0004
485	0,9001	620	1,5810	755	0,0002
490	1,0710	625	1,2985	760	0,0001
495	1,3347	630	1,0443	765	0,0001
500	1,6713	635	0,8573	770	0,0001
505	2,0925	640	0,6931	775	0,0001
510	2,5657	645	0,5353	780	0,0000

ANEXO B – TABELA DA FUNÇÃO DE PONDERAÇÃO PARA O
CÁLCULO DA TRANSMITÂNCIA UV SOLAR

Wavelength nm	Solar spectral irradiance $ES(\lambda)$ mW/m ² /nm	Relative spectral effectiveness function $S(\lambda)$	Weighting function $W(\lambda)=ES(\lambda)\cdot S(\lambda)$
280	0	0,88	0
285	0	0,77	0
290	0	0,64	0
295	$2,09\cdot 10^{-4}$	0,54	0,00011
300	$8,10\cdot 10^{-2}$	0,30	0,0243
305	1,91	0,060	0,115
310	11,0	0,015	0,165
315	30,0	0,003	0,090
320	54,0	0,0010	0,054
325	79,2	0,00050	0,040
330	101	0,00041	0,041
335	128	0,00034	0,044
340	151	0,00028	0,042
345	170	0,00024	0,041
350	188	0,00020	0,038
355	210	0,00016	0,034
360	233	0,00013	0,030
365	253	0,00011	0,028
370	279	0,000093	0,026
375	306	0,000077	0,024
380	336	0,000064	0,022