UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

LEONARDO MARIANO GOMES

Painel Automatizado para Estudo do Efeito da Radiação Solar Natural sobre os
Óculos de Sol

São Carlos
2016

LEONARDO MARIANO GOMES

Painel Automatizado para Estudo do Efeito da Radiação Solar Natural sobre os
Óculos de Sol

Dissertação de mestrado apresentada à
Escola de Engenharia de São Carlos da
Universidade de São Paulo, como parte
dos requisitos para obtenção do título de
Mestre em Ciências, Programa de
Engenharia Elétrica.

Área de Concentração: Processamento
de Sinais e Instrumentação

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

São Carlos
2016

Trata-se da versão corrigida da dissertação. A versão original se encontra disponível na
EESC/USP que aloja o Programa de Pós-Graduação de Engenharia Elétrica.

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

M633p Mariano Gomes, Leonardo
 Painel Automatizado para Estudo do Efeito da
 Radiação Solar Natural sobre os Óculos de Sol /
 Leonardo Mariano Gomes; orientadora Liliane Ventura.
 São Carlos, 2016.

 Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação
 em Engenharia Elétrica e Área de Concentração em
 Processamento de Sinais e Instrumentação -- Escola de
 Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo,
 2016.

 1. NBR ISO 12312-1. 2. resistência à radiação
 solar. 3. proteção ultravioleta. 4. óculos de sol. 5.
 máquina automática. 6. simulador solar. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Engenheiro **LEONARDO MARIANO GOMES.**

Título da dissertação: "Painel automatizado para estudo do efeito da radiação solar natural sobre os óculos de sol".

Data da defesa: 25/02/2015

Comissão Julgadora:

Resultado:

Profa. Associada **Liliane Ventura Schiabel (Orientadora)**
(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

APROVADO

Profa. Dra. **Ligia de Oliveira Ruggiero**

(Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"/UNESP - Bauru)

APROVADO

Prof. Dr. **Daniel Varela Magalhães**

(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

APROVADO

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica:
Prof. Associado **Luis Fernando Costa Alberto**

Presidente da Comissão de Pós-Graduação:
Prof. Associado **Paulo César Lima Segantine**

Aos meus pais, irmão e amigos, por fazerem de mim o que sou. Muito obrigado pela inspiração.

AGRADECIMENTOS

À Profa. Dra. Liliane Ventura, minha orientadora, pela confiança e oportunidade dada para o desenvolvimento do projeto. Agradeço à dedicação e o incentivo dado para solução de problemas, enfrentamento de desafios e crescimento pessoal e profissional.

Aos amigos, da graduação, do laboratório e da vida, por serem importantes nas mais diferentes situações e também pelas conversas que nos engrandecem.

Ao professor Ruy Alberto Corrêa Altafim, do LATM (Laboratório de Alta Tensão e Materiais) e sua aluna Thamyres Tânulla, pela ajuda com o corte a laser do painel de acrílico.

Ao Dr. Mauro Masili, pelos cálculos das posições azimutais do Sol e valores do índice ultravioleta para a cidade de São Carlos – SP.

À todos os funcionários do Departamento de Engenharia Elétrica da EESC/USP, em especial ao Rui Bertho, por toda a paciência e a enorme contribuição à este trabalho através de seus serviços.

Aos amigos Artur e Ayrton, pela ajuda na revisão final do texto.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, FAPESP, pelo suporte financeiro através de bolsa pelo projeto 2014/17252-5.

RESUMO

GOMES, L. M. **Painel Automatizado para Estudo do Efeito da Radiação Solar Natural sobre os Óculos de Sol**, 2016. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016.

O objetivo principal deste trabalho foi desenvolver um equipamento capaz de expor as lentes de óculos de sol de maneira automática, de forma que simule o uso do acessório pelas pessoas, por um período equivalente ao tempo de uso de um mesmo modelo pela população brasileira e, através das medidas realizadas nas lentes após a exposição prolongada ao sol, verificar o comportamento da transmitância dos raios pela lente, principalmente dos raios UV, e assim, determinar se as lentes se degradam com o tempo. A partir dos resultados, espera-se complementar os estudos teóricos em desenvolvimento pelos pesquisadores do LIO sobre a equivalência entre os testes em simuladores solares e a exposição real ao sol, colaborando para a adequação dos parâmetros apresentados na norma nacional (NBR ISO 12312-1:2015) e internacional (ISO 12312-1:2013). Os parâmetros utilizados nos testes de certificação da norma nacional são os mesmos dos utilizados na internacional e que foram criados para representar as condições de radiação solar na Europa. Tendo conhecimento dos fatores que influenciam os níveis de radiação UV que atingem a Terra fica evidenciado que estes níveis são maiores nas regiões mais próximas do Brasil do que da Europa. Segundo estudos, uma otimização geográfica da norma brasileira deve ser considerada, levando-se em conta as diferenças nos índices UV do Brasil e da Europa. Além disso, os parâmetros para o teste de resistência à radiação em óculos de sol utilizados no Brasil, devem ser revistos para garantir que as condições simuladas sejam suficientes para garantir a proteção UV para as exposições típicas dos óculos ao Sol. A metodologia consistiu no desenvolvimento do protótipo para exposição automática de lentes de óculos de sol, além do desenvolvimento do sistema de medição do índice UV. Por fim, é descrito o teste realizado com uma miniatura de painel para exposição não controlada das lentes e a técnica e equipamentos utilizados para medição da transmitância luminosa e UV das lentes antes e depois da exposição ao Sol. Este protótipo consiste de uma caixa para proteção dos sistemas mecânicos e eletrônicos, uma tampa automática e um painel de acrílico, o qual acomoda 100 lentes posicionadas na posição de uso, as quais são irradiadas pelo Sol desde o nascer até o seu pôr. A tampa é aberta automaticamente, o painel ejetado, através do sistema mecânico, de dentro da caixa e rotaciona no sentido do Sol, de forma que as lentes sejam sempre irradiadas pela frente. A cada intervalo de 15 minutos, o sistema calcula a posição do Sol e ajusta a direção do painel. Sensores de variáveis climáticas avisam o sistema para fechar a tampa e proteger os óculos de condições indesejáveis. Os resultados deste trabalho consistam na apresentação do protótipo finalizado e funcionando, análise das informações obtidas dos sensores e análise preliminar sobre a variação da transmitância UV e luminosa das lentes de óculos de Sol após 150 horas de exposição. É concluído que o período de 150 h não é suficiente para provocar mudanças significativas na características das lentes, portanto o protótipo do painel automatizado será utilizado para exposição a longo prazo e os resultados de pesquisas futuras poderão contribuir para as normas e melhor proteção da saúde ocular da população.

Palavras-chave: NBR ISO 12312-1, resistência à radiação solar, proteção ultravioleta, óculos de sol, máquina automática, simulador solar.

ABSTRACT

GOMES, L. M. **Automated Panel to study the Effect of Natural Sunlight on Sunglasses**, 2016.

Thesis (Master Degree) – São Carlos School of Engineering, University of São Paulo, São Carlos, 2016.

The aim of this work is to develop a device capable of exposing the lenses of sunglasses automatically, so that simulates the use of the accessory for people, for a period equivalent to the time of use of the same model by the Brazilian population and through measurements performed on the lenses after prolonged sun exposure, check the behavior of the transmittance of the rays by the lens, mainly from UV rays, and thus determine if the lenses degrade over time. From the results, it is expected to complement the theoretical studies being developed by LIO researchers on the equivalence in solar simulators tests and actual exposure to the sun, helping to adapt the parameters of the national standard (NBR ISO 12312-1:2015) and international (ISO 12312-1:2013). The parameters used in the certification tests of the national standard are the same as used in international and those were created to represent the solar radiation conditions in Europe. Knowing the factors that influence UV radiation levels reaching the earth is evident that these levels are higher in the nearby regions of Brazil than in Europe. According to studies, a geographical optimization of the Brazilian standard should be considered, taking into account differences in UV indices of Brazil and Europe. Also, the parameters for the radiation resistance test in sunglasses used in Brazil, should be reviewed to ensure that the simulated conditions are sufficient to ensure UV protection for typical exposures of glasses in the sun. The methodology is the development of the prototype for automatic exposure sunglass lenses, and the development of the UV index measuring system. Finally, it is described the test conducted with a miniature panel to expose lens and the technique and equipment used for measuring luminous and UV transmittance of the lenses before and after exposure to the sun. This prototype consists of a box for protection mechanical and electronic systems, automatic cover and an acrylic panel, which accommodates 100 lenses positioned in the use position, which will be irradiated by the sun from sunrise to sunset. The lid will automatically open the panel is ejected through the mechanical system out of the box, and must rotate in the direction of the sun, so that the lens is always irradiated from the front. Every 15-minute interval, the system calculates the position of the sun to set the direction of the panel. Climatic variables sensors alert the system to close the cover and protect the glasses undesirable conditions. The results of this project are to report the finished prototype and running, analysis of the obtained information from the sensors and preliminary analysis of the variation of UV transmittance and light lens sun glasses after 150 hours of exposure. It is concluded that the period of 150 hours is not sufficient to cause significant changes in the characteristics of the lenses, so the automated panel prototype will be used for long-term exposure and the results of future research will contribute to the standards and better protection of eye health of population.

Keywords: NBR ISO 12312-1, resistance to solar radiation, ultraviolet protection, sunglasses, automatic machine, solar simulator.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Espectro solar em três momentos: A – topo da atmosfera; B – Nível do Mar; C – Aproximação do espectro detectável pelo olho humano – adaptada de http://environ.andrew.cmu.edu/m3/s2/graphics/embedded/fig8.gif	28
Figura 2 - Fatores que influenciam absorção e reflexão da radiação UV – adaptada de GLOBAL SOLAR UV INDEX – A Practical Guide – World Health Organization.....	29
Figura 3 - Esquema de absorção da radiação ultravioleta no meio ocular. Os valores representam a porcentagem de radiação ultravioleta incidente sobre a superfície corneana que são absorvidas por várias camadas [Farrell, R. A.; McCally, R.L.;1980; Sliney, D. 1986; 1987].....	31
Figura 4 - Transmitância espectral do filtro de corte; a posição nominal da borda de absorção é $\lambda_c = 320$ nm, definida por $t(\lambda_c) = 46\%$; um desvio de ± 5 nm é permitido pelas bandas de transmitância.....	36
Figura 5 - Simulador Solar LEMA adquirido pelo LIO – Xenon Suntest – Adaptado do manual do fabricante	39
Figura 6 - Curva Eritêmica estabelecida pela Comissão Internacional de Iluminação – Adaptada de http://www.biomedical-engineering-online.com/content/figures/1475-925X-13-45-1-l.jpg	40
Figura 7 - Registro do IUV no planeta para as 4 estações do ano em 2015 –Para o hemisfério Sul: (A) início do outono, (B) início do inverno, (C) início da primavera e (D) início do verão; Fonte: http://www.temis.nl/uvradiation/UVindex.html	42
Figura 8 – Modelo tridimensional do painel automatizado	49
Figura 9 – Situações de funcionamento do painel	49
Figura 10 – Detalhe dos cortes no painel	51
Figura 11 – Painel após corte a laser	52
Figura 12 – Sistema de fixação das lentes com elástico.....	52
Figura 13 – Peças mecânicas do sistema de rotação do painel.....	53
Figura 14 – Painel e sistema de rotação finalizados; (1) Painel de acrílico; (2) Base do painel; (3) Sistema de engrenagens; (4) Mesa ou base do sistema de rotação	54
Figura 15 - Motor de passo, polias e correia - acionamento do sistema de elevação do painel.....	56
Figura 16 - Sistema de elevação do painel - (A) painel no alto, situação na qual as lentes estariam expostas; (B) painel sendo transportado para dentro da caixa; (C) painel totalmente recuado para dentro da caixa.	56
Figura 17 - Estrutura da caixa metálica em aço.....	58
Figura 18 - Parte frontal e lateral da caixa, em alumínio	58
Figura 19 - Face traseira do equipamento, com portas para acesso a parte interna.....	59
Figura 20 - Sistema de abertura da tampa e motor	60
Figura 21 – Representação do ângulo de azimuth do Sol – adaptada de http://sustainabilityworkshop.autodesk.com/buildings/solar-position	61
Figura 22 – Sensor HMC5883L	62
Figura 23 - Imãs e sensor magnético para posicionamento do painel	63
Figura 24 – Céu em dia de queimadas.....	64

Figura 25 – Sensor de luminosidade TSL261	65
Figura 26 – Sensor de pressão barométrica e temperatura BMP085	66
Figura 27 - Sensor de temperatura a prova d'água DS18B20	67
Figura 28 – Sensor de gás CO MQ-7	67
Figura 29 – Sensor de poeira GP2Y1010AU0F.....	68
Figura 30 – Sensor de umidade relativa do ar DHT22	69
Figura 31 – Sensor de chuva	70
Figura 32 – Sistema de secagem do sensor de chuva, modelo 3D e real.....	71
Figura 33 – Vista superior do sensor de chuva no sistema de secagem, modelo 3D e real	72
Figura 34 – Contatos rotativos do sensor de chuva	72
Figura 35 – Vista explodida do sistema de secagem e sensor de chuva	73
Figura 36 - Esquema de ligação entre os módulos eletrônicos do protótipo	74
Figura 37 - Diagrama de blocos representando a placa de monitoramento dos sensores e suas conexões.....	75
Figura 38 - Circuito de monitoramento dos sensores e seus componentes (lado superior e inferior)	76
Figura 39 - Diagrama de blocos representando as conexões e componentes da placa de potência e acionamento dos motores	78
Figura 40 - Placa do circuito de potência e acionamento dos motores e seus componentes (lado superior e inferior)	78
Figura 41 - Painel de controle com <i>display</i> LCD e <i>rotary encoder</i>	80
Figura 42 - Diagrama de blocos representando o circuito do painel de controle.....	80
Figura 43 - Raspberry Pi 2 - Central de processamento representada somente a placa e com caixa feita por impressão 3D.....	81
Figura 44 - Protótipo do painel automatizado – projeto (junho/2014) e versão final (janeiro/2016).....	82
Figura 45 - Abertura da tampa e elevação do painel.....	82
Figura 46 - Rotação do painel.....	83
Figura 47 - Portas de acesso a parte interna do equipamento	83
Figura 48 – Diagrama de blocos do circuito transmissor de dados do sensor UV	84
Figura 49 – Sensor UV Cosine, SGLUX	85
Figura 50 – Medidor de índice ultravioleta: (a) Local de instalação do sensor UV; (b) detalhe do sensor; (c) circuito transmissor de dados	86
Figura 51 – Módulo de rádio XBee	87
Figura 53 – Circuito transmissor de dados.....	88
Figura 54 – Shield ou placa adaptadora do rádio para porta USB	89
Figura 55 – Tela principal do programa do IUV	91
Figura 56 – Janela com informações do IUV em tempo real.....	91
Figura 57 – ferramenta para gerar gráficos a partir dos registros do IUV transmitidos pelo rádio	92
Figura 58 – Gráfico para medidas a cada 15 minutos.....	93
Figura 59 – Gráfico para medidas a cada 1 minuto	93
Figura 60 – Janela para configuração do programa	94

Figura 61 – Janela com informações adicionais sobre o programa.....	94
Figura 62 – Banco de dados online	96
Figura 63 - Exposição preliminar das lentes ao Sol utilizando painel em miniatura	97
Figura 64 - Espectrofotômetro VARIAN Cary 5000, utilizado nas medidas das transmitâncias das lentes – Adaptado de https://nfm.kaust.edu.sa/PublishingImages/Cary_5000.jpg	98
Figura 65 - IUV medido e tensão do sensor	99
Figura 66 - Tensão elétrica do sensor pré e pós processamento.....	100
Figura 67 - IUV total registrado e em período de 15 minutos.....	101
Figura 68 - Comparação entre IUV medido e registros do INPE.....	102
Figura 69 - Média dos registros para três estações no ano de 2014	103
Figura 70 - Concentração do gás CO no dia 21/03/2015	104
Figura 71 - Concentração do gás CO no dia 22/03/2015	105
Figura 72 - Concentração do poeira no dia 21/03/2015	106
Figura 73 - Concentração de poeira no dia 22/03/2015.....	106
Figura 74 - Pressão Atmosférica no dia 21/03/2015	107
Figura 75 - Pressão Atmosférica no dia 22/03/2015	108
Figura 76 - Luminosidade no dia 21/03/2015	109
Figura 77 – Luminosidade no dia 22/03/2015.....	109
Figura 78 - Detecção de Chuva no dia 21/03/2015	114
Figura 79 - Detecção de Chuva no dia 22/03/2015	115

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores de Transmitâncias para Filtros Solares UV de Uso em Óculos – adaptada da norma NBR ISO 12312-1	35
Tabela 2 - Mudança relativa permitida na transmitância luminosa após o teste de resistência à radiação.....	37
Tabela 3 - Incerteza relativa permitida nas medidas de transmitância para nível de confiança de 95 %	37
Tabela 4 - Categorias dos Índices Ultravioleta.....	41
Tabela 5 – Tabela para conversão de valores de tensão em IUV	96
Tabela 6 - Medidas de Temperatura (°C) para o dia 21/03/2015	110
Tabela 7 - Medidas de Umidade Relativa do Ar (%) para o dia 21/03/2015	111
Tabela 8 - Medidas de Temperatura (°C) para o dia 22/03/2015	111
Tabela 9 - Medidas de Umidade Relativa do Ar (%) para o dia 22/03/2015	112
Tabela 10 - Condições Climáticas dia 21/03/2015	112
Tabela 11 - Condições Climáticas dia 22/03/2015	113
Tabela 12- Transmitâncias médias visível e UV para as lentes LE054, LE126, LE127 e LE128.....	116
Tabela 13 - Transmitâncias médias visível e UV para as lentes LE0191, LE198, LE230 e LE232	116
Tabela 14 Transmitâncias médias visível e UV para as lentes LE0237, LE240, LE244 e LE262	116

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	23
1 INTRODUÇÃO.....	23
1.1 MOTIVAÇÃO PARA O PROJETO.....	23
1.2 OBJETIVOS.....	25
CAPÍTULO 2	27
2 EMBASAMENTO TEÓRICO	27
2.1 A RADIAÇÃO SOLAR.....	27
2.2 A RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA E O OLHO HUMANO.....	30
2.3 OS ÓCULOS DE SOL E SUA PROTEÇÃO	32
2.4 ANÁLISE EM ÓCULOS SOLARES	33
2.5 O TESTE DE RESISTÊNCIA À RADIAÇÃO DA NORMA BRASILEIRA	36
2.6 ESTUDO DE DEGRADAÇÃO EM LENTES DE ÓCULOS DE SOL.....	39
2.7 ÍNDICE ULTRAVIOLETA.....	40
2.8 ESTUDO SOBRE DOSE E RADIAÇÃO UV	42
CAPÍTULO 3	45
3 METODOLOGIA.....	45
3.1 O PROBLEMA A SER SOLUCIONADO	45
3.2 O PROTÓTIPO – PAINEL AUTOMATIZADO PARA EXPOSIÇÃO DAS LENTES AO SOL.....	47
3.2.1 PAINEL ROTATIVO	50
3.2.1.1 PAINEL	50
3.2.1.2 SISTEMA DE ROTAÇÃO DO PAINEL.....	53
3.2.2 SISTEMA DE ELEVAÇÃO DO PAINEL	55
3.2.3 CAIXA E TAMPA AUTOMÁTICA	57
3.2.4 SISTEMA AUTOMÁTICO DE POSICIONAMENTO DO PAINEL	60
3.2.5 SENSORES	63
3.2.5.1 SENSOR MAGNETÔMETRO – BÚSSOLA DIGITAL.....	64
3.2.5.2 SENSOR DE LUMINOSIDADE	65
3.2.5.3 SENSOR DE PRESSÃO BAROMÉTRICA	65
3.2.5.4 SENSOR DE TEMPERATURA	66
3.2.5.5 SENSOR DE GÁS CO	67
3.2.5.6 SENSOR DE POEIRA	68

3.2.5.7	SENSOR DE UMIDADE RELATIVA DO AR	69
3.2.5.8	SENSOR DE CHUVA E SISTEMA DE SECAGEM	69
3.2.6	CIRCUITOS ELETRÔNICOS	73
3.2.6.1	CIRCUITO DE MONITORAMENTO DOS SENSORES	74
3.2.6.2	CIRCUITO DE POTÊNCIA E CONTROLE DOS MOTORES	77
3.2.6.3	CIRCUITO DO PAINEL DE CONTROLE	79
3.2.6.4	CPU	80
3.2.7	O PROTÓTIPO FINALIZADO.....	81
3.3	SISTEMA DE MEDIÇÃO DO ÍNDICE UV	84
3.3.1	SENSOR DE RADIAÇÃO SOLAR UV	85
3.3.2	MÓDULO DE RÁDIO	86
3.3.3	CIRCUITO TRANSMISSOR.....	87
3.3.4	MÓDULO RECEPTOR USB	88
3.3.5	FIRMWARE DOS MICROCONTROLADORES	89
3.3.6	SOFTWARE DE MEDIDAS DO IUV	89
3.3.7	BANCO DE DADOS.....	94
3.3.8	CÁLCULO DO IUV	96
3.4	ESTUDO PRELIMINAR COM PAINEL EM MINIATURA.....	97
3.5	MEDIDAS DE TRANSMITÂNCIA NAS LENTES DE ÓCULOS DE SOL.....	97
CAPÍTULO 4.....		99
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	99
4.1	MEDIDAS DO IUV PARA SÃO CARLOS – SP	99
4.2	MEDIDAS DOS SENSORES	103
4.3	DESEMPENHO DO SENSOR DE CHUVA.....	112
4.4	MEDIDAS DE TRANSMITÂNCIA NAS LENTES APÓS CURTO PERÍODO DE EXPOSIÇÃO.....	115
CAPÍTULO 5.....		119
5	CONCLUSÃO	119
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		121
APÊNDICE A – ESQUEMÁTICOS DOS CIRCUITOS ELETRÔNICOS.....		125

CAPÍTULO 1

1 INTRODUÇÃO

1.1 MOTIVAÇÃO PARA O PROJETO

Desde sua invenção, os óculos de sol tornaram-se cada vez mais populares mundialmente. Utilizados tanto para fins estéticos ou para providenciar um melhor conforto visual, devem possuir uma característica importante, que muitas vezes é negligenciada na hora da compra como fornecer proteção contra os efeitos nocivos do Sol. Os óculos de sol devem respeitar características previstas em normas internacionais de padrões de segurança e mais precisamente, possuir proteção adequada contra os raios ultravioleta, fato este, objeto de estudo no presente trabalho. As lentes de óculos de sol devem apresentar determinado nível de proteção ultravioleta (UV) de acordo com o seu grau de escurecimento, ou seja, a quantidade de raios ultravioleta que chegam à superfície das lentes, atravessam-na e atingem o olho humano, devendo ser rigorosamente controlada e assim espera-se evitar problemas da saúde ocular. Poucos estudos são realizados a respeito das características da proteção UV em lentes de óculos de sol e, muito embora testes de resistência à radiação UV sejam previstos em normas nacionais e internacionais, pouco se sabe sobre a real eficácia da realização desses testes, ou seja, se o teste da forma como ele é feito hoje representa condições reais sob as quais as lentes estão sujeitas quando em uso pela população. Existe a hipótese de a proteção contra os raios UV nos óculos de sol mudar suas características de transmissão dos raios com o tempo, e com isso os óculos tornar-se-iam menos ou até nada eficientes em proteger os olhos dos usuários. Não se sabe também quais fatores influenciariam esta mudança nas características da proteção UV, como por exemplo a dose de radiação UV absorvida no tempo, temperatura ambiente, umidade relativa do ar, dose de radiação infravermelho, etc.

Em determinado momento, representantes do INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia) questionaram a Professora Dra. Liliane Ventura a respeito de compulsoriedade da proteção UV em lentes de óculos de sol. Apesar de existir uma norma brasileira (na época ABNT NBR 15111:2013), esta, e portanto também os itens relacionados a proteção UV, não eram obrigatórios. A pesquisadora alegou que precisaria

desenvolver um projeto de pesquisa para poder responder se a proteção contra os raios UV em óculos de sol deveria ser obrigatória e regulada. Seria preciso levantar as características das lentes presentes no mercado: caso todas protegessem naturalmente contra os raios UV, um requisito de proteção na norma que envolveria testes caros, não precisaria ser obrigatório. Por outro lado, foi observado que em algumas amostras de óculos de sol provenientes do mercado informal, a proteção UV era insuficiente e algumas vezes inexistente, enquanto que em outras amostras similares, havia proteção.

Uma série de estudos começou a ser desenvolvida pela Prof. Dra. Liliane Ventura e pelos pesquisadores do Laboratório de Instrumentação Oftálmica (LIO) da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC – USP). Dentre os estudos, foi desenvolvido um questionário *online* para avaliar as condições de uso de óculos de sol pela população brasileira. Mais de 2000 pessoas em todo o país responderam o questionário, que envolvia perguntas como localidade em que a pessoa morava, grau de escolaridade e tempo que a pessoa levava para trocar ou comprar um novo óculos de sol. Uma outra questão bastante importante dizia respeito ao tempo de uso diário de óculos de sol. Os resultados mostraram que as pessoas costumavam utilizar os óculos por aproximadamente por um período total de 22 dias e 8 horas no verão, e 52,6% compravam um novo óculos de sol a cada 2 – 4 anos. A partir dos dados levantados, é coerente afirmar que a proteção UV dos óculos de sol deve durar pelo menos 2 anos.

Um outro estudo em desenvolvimento pela equipe do LIO diz respeito à equivalência entre irradiação presente nos testes de resistência à radiação solar previstos em norma, que são realizados em equipamentos chamados de simuladores solar, e na radiação solar. Resultados preliminares sugerem que o teste, feito de acordo com a norma em vigência (NBR ISO 12312-1:2015), é inefetivo para representar condições reais de exposição ao Sol. O estudo ainda mostra a necessidade de se readequar os parâmetros do teste para que possam ser estabelecidos limites apropriados para a proteção UV em óculos. O estudo em questão, apesar de sua extrema relevância e embasamento teórico, carece de experimentos práticos que ajudariam a afirmar a inequivalência entre o teste de resistência à radiação e a exposição solar.

O inédito estudo da influência da radiação solar nas características os óculos de sol, mais especificamente na degradação da proteção UV, contendo tanto resultados teóricos quanto experimentais é de bastante valor para a população mundial. Através da adequação da

proteção UV em óculos solares, é possível proteger a saúde ocular da população contra os males provocados pelos raios solares.

1.2 OBJETIVOS

Diante das informações apresentadas na seção anterior, fica evidenciada a importância de se desenvolver estudo aprofundado sobre a proteção UV nos óculos de sol, e investigar se existe degradação da mesma quando ocorre exposição prolongada ao sol e se essa proteção deve ser obrigatória ou não. Outra questão é, se caso presente a proteção UV, ela dura o suficiente para proteger os olhos do usuário por todo o período que vai ser utilizada (no caso, dois anos)?

O objetivo principal deste trabalho foi desenvolver um equipamento capaz de expor as lentes de óculos de sol de maneira automática, de forma que simule o uso do acessório pelas pessoas, por um período equivalente ao tempo de uso de um mesmo modelo pela população brasileira e, através das medidas realizadas nas lentes após a exposição prolongada ao sol, verificar o comportamento da transmitância dos raios pela lente, principalmente dos raios UV, e assim, determinar se as lentes se degradam com o tempo.

A partir dos resultados obtidos, espera-se complementar os estudos teóricos em desenvolvimento pelos pesquisadores do LIO sobre a equivalência entre os testes em simuladores solares e a exposição real ao sol, colaborando para a adequação dos parâmetros apresentados em normas nacionais e internacionais.

No próximo capítulo será apresentado o embasamento teórico, ou seja, as principais informações a respeito do tema principal do trabalho: a radiação UV e a proteção UV em óculos de sol. Nos capítulos seguintes serão apresentados a metodologia do projeto desenvolvido, como a construção do protótipo e a exposição das lentes ao sol e depois os resultados e discussão pertinentes, além da conclusão.

CAPÍTULO 2

2 EMBASAMENTO TEÓRICO

2.1 A RADIAÇÃO SOLAR

A radiação solar, que é a principal fonte de energia para a Terra, sustenta a vida no planeta e determina o clima. Ela é fundamental para a fotossíntese, processo em que os vegetais verdes transformam o gás carbônico e água em glicose, lipídios, proteínas, vitaminas, liberando oxigênio para a atmosfera. Como os organismos fotossintetizantes formam a base das cadeias alimentares dos ecossistemas em geral, os benefícios da fotossíntese são aproveitados pelos outros seres vivos que daqueles se alimentam. Por fim, a radiação solar no corpo humano é essencial para auxiliar a absorção da vitamina D, responsável por fixar o cálcio e fortalecer os ossos.

O Sol pode ser considerado uma fonte pontual de energia radiante que emite radiação de forma isotrópica. A radiação emitida pelo Sol tem composição espectral correspondente à radiação de corpo negro de 5800 K (aproximadamente 6000°C), de acordo com a Lei de Planck, com pico de emissão em torno do comprimento de onda de 550 nm (luz verde-amarelada). No topo da atmosfera terrestre, a irradiância solar é equivalente a 1366,1 W/m² (esse valor é denominado de Constante Solar), dos quais apenas aproximadamente 5% é devido à radiação ultravioleta (UV). Da constante solar de 1366,1 W/m², cerca de 1000 W/m² atingem a superfície terrestre.

A atmosfera controla a quantidade de radiação solar que atinge a superfície terrestre e regula a quantidade de radiação da Terra que escapa para o espaço. Mesmo aparentemente, pequenas mudanças nas concentrações de certos gases poderiam perturbar o equilíbrio de reações e ser prejudicial para a vida como a conhecemos. Para demonstrar como a atmosfera afeta a radiação solar recebida, a Figura 1 mostra o espectro de radiação solar no topo da atmosfera (curva A), e no nível do mar (curva B). Também é mostrada a parte do espectro que é detectável pelo olho humano (curva C) (CARNEGIE MELLON UNIVERSITY, 2003). A

Figura 1 mostra que o ozônio (O_3) absorve radiação ultravioleta, O_2 absorve ultravioleta mas também parte da radiação visível e infravermelho.

Figura 1 – Espectro solar em três momentos: A – topo da atmosfera; B – Nível do Mar; C – Aproximação do espectro detectável pelo olho humano – adaptada de <http://environ.andrew.cmu.edu/m3/s2/graphics/embedded/fig8.gif>

A fração da radiação solar que chega à superfície terrestre é constituída por uma componente direta, devido ao feixe de raios incidentes, e por uma componente difusa devido à reflexão pela própria atmosfera e pelo ambiente local (cobertura de nuvens, solo, vegetação, construções, etc.). A quantidade de radiação que atinge a superfície da Terra varia devido às condições atmosféricas e à variação da posição do Sol, tanto durante o dia quanto durante o ano. As nuvens compõem a condição atmosférica predominante que determina a quantidade de radiação que chega ao planeta, conseqüentemente, regiões com clima predominantemente nublado recebem menos radiação solar do que regiões com menos cobertura de nuvens. A quantidade de radiação solar também varia de acordo com o horário no dia e a estação do ano. Geralmente, a radiação solar é maior durante o meio do dia do que em relação ao amanhecer e entardecer. Durante o meio do dia, o Sol está posicionado “a pino”, e logo a distância percorrida pelos raios solares entre o Sol e superfície terrestre é menor do que em outros horários (RREDC, 2015).

Em resumo, os principais fatores que influenciam a radiação incidente (direta e difusa) em uma determinada localidade são:

- Latitude e altitude em relação ao mar (posição);
- Dia do ano e hora do dia (tempo);
- Coluna de Ozônio local;

- Cobertura das nuvens, aerossóis, gases poluentes, etc;
- Albedo (predominância de estrutura do ambiente, solo, etc).

A posição e o tempo determinam diretamente o ângulo da incidência dos raios solares na superfície da Terra, o que influencia na intensidade da radiação UV local. Na estratosfera, a camada de ozônio absorve todo o UV com comprimento de onda abaixo de 280 nm e parcialmente acima deste valor. A quantidade de nuvens e a dispersão de aerossóis também afetam o espalhamento da radiação. O albedo (refletância em função das características locais do ambiente) é responsável por parte da radiação difusa no local, de acordo com o tipo de solo (cobertura de vegetação, concreto, areia, água, etc.). A Figura 2 representa algumas das características terrestres responsáveis por absorver ou refletir a radiação UV.

Figura 2 - Fatores que influenciam absorção e reflexão da radiação UV – adaptada de GLOBAL SOLAR UV INDEX – A

2.2 A RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA E O OLHO HUMANO

A radiação ultravioleta é a uma parcela do espectro de radiação solar e é dividida em três faixas: UVA (315 – 400 nm), UVB (280 – 315 nm) e UVC (100 – 280 nm). Como a luz solar passa através da atmosfera, toda a UVC e aproximadamente 90% da radiação UVB são absorvidas pelo ozônio, vapor de água, oxigênio e dióxido de carbono. A radiação UVA é a menos afetada pela atmosfera. Dessa maneira, a radiação UV que atinge a superfície da Terra é em sua maior parte composta por UVA e com uma pequena parcela de UVB.

Os três tipos de radiação UV diferem com relação às suas atividades biológicas e a extensão em que eles podem penetrar na pele. Quanto mais curto o comprimento de onda, mais prejudicial é a radiação. No entanto, a radiação UV de comprimento de onda mais curto é menos capaz de penetrar a pele (WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2015). A radiação UVC é a mais prejudicial dos tipos de radiação UV, entretanto como já citado, ela é completamente absorvida pela atmosfera e não atinge a superfície terrestre. As únicas formas de as pessoas ficarem expostas à radiação UVC na Terra são de maneiras artificiais, como por exemplo ao operarem uma máquina de solda elétrica, sem a devida proteção (MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO, 2014).

A radiação UVB é bastante biologicamente ativa mas não pode penetrar mais do que as camadas superficiais da pele. Esta radiação é responsável pelo bronzeamento não imediato e queimaduras. Além dos problemas citados, a radiação UVB aumenta o envelhecimento da pele e promove significativamente o desenvolvimento de câncer de pele (WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2015).

Cerca de 95% da radiação ultravioleta que atinge a superfície da Terra é a UVA, que é a parte com maior comprimento de onda. Ela pode penetrar nas camadas mais profundas da pele e é responsável pelo efeito imediato de bronzeamento, além de contribuir para o envelhecimento e enrugamento da pele (WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2015).

Ainda atualmente, existem controvérsias em relação aos malefícios causados ao olho devido à exposição do meio ocular à irradiação ultravioleta. O que se sabe, porém, é o quanto a radiação penetra o olho humano, com é mostrado na Figura 3.

Figura 3 - Esquema de absorção da radiação ultravioleta no meio ocular. Os valores representam a porcentagem de radiação ultravioleta incidente sobre a superfície corneana que são absorvidas por várias camadas [Farrell, R. A.; McCally, R.L.;1980; Sliney, D. 1986; 1987]

Uma série de estudos recentes aponta que a exposição da córnea à irradiação ultravioleta induz alterações patológicas em sua estrutura (DOUGHTY; CULLEN, 1989). Os raios ultravioleta podem causar inflamações na córnea, opacidade no cristalino (catarata) além de problemas na retina. A exposição da córnea aos raios UV, a altos níveis ou baixos níveis repetidamente, pode causar danos irreversíveis, resultando em ceratopatias que afetam o epitélio e a parte anterior do estroma. Quanto menor o comprimento de onda da radiação, maior o dano causado à estrutura ocular. Por esta razão, a radiação ultravioleta, bem como a luz azul são mais nocivas do que a luz nos comprimentos de onda visível e infravermelha (GRIMM *et al.*, 2000). Outro fator que diferencia os danos causados pela radiação ultravioleta é que sua percepção não é imediata. Enquanto a radiação infravermelha se manifesta na forma de calor e a luz visível pode ser vista, o ultravioleta não provoca nenhuma reação que desperte algum dos sentidos do ser humano.

2.3 OS ÓCULOS DE SOL E SUA PROTEÇÃO

É creditado a James Ayscough, o uso de lentes coloridas para proteção contra o brilho do Sol, em 1752, embora, os chineses tenham usado lentes coloridas 2000 anos antes para outro propósito: se protegerem de maus espíritos. Ayscough observou que lentes que não eram coloridas deixavam um brilho muito forte atingir os olhos, o que era muito prejudicial para o olho e assim recomendava o uso de lentes verdes ou azuis. Outra recomendação foi feita na Espanha, em 1763, por Pablo Mingnet, que lentes de cor turquesa, verdes ou amarelas deveriam ser usadas pelos mesmos motivos que Ayscough acreditava (DAIN, 2003).

Até o início século XX, o termo “óculos escuros” não era usado e os poucos produtos com lentes coloridas disponíveis no mercado eram associados a prescrições oftálmicas. Os óculos de sol como produto parecem ter surgido na década de 1920. Segundo relata um famoso fabricante de óculos de sol norte-americano, o Foster-Grant, o seu fundador Sam Foster vendeu o primeiro par de óculos de sol em 1929, em “Atlantic City”. A famosa marca norte-americana “Ray-Ban” é datada de 1937 e em 1929, Edwin Land inventou a “Polaroid” (DAIN, 2003). Segundo (SASIENI, 1962), até 1962, 39 tintas diferentes já eram usadas pelos fabricantes de óculos, incluindo “Ray-Ban” e “Polaroid”, e apenas duas eram fabricadas em lentes de plástico, todo o restante era feito com lentes de vidro. Atualmente a maioria das lentes é feita em plástico e o policarbonato é o material mais utilizado, devido sua resistência a impactos, alto índice de refração, material leve e resistência a embaçamento e riscos.

Embora algumas normas tenham surgido antes, o primeiro padrão para óculos de sol de uso geral (como exemplo óculos para uso industrial) foi a norma australiana AS1067-1971, que foi aprovada pela “Standards Association of Australia”, em 8 de março de 1971 (DAIN, 2003). Essa norma surgiu com intuito de proteger os usuários de óculos de sol contra malefícios e danos secundários que podem ser ocasionados aos olhos (COLE, 2003).

Os óculos de sol devem possuir proteção ultravioleta de acordo com os valores de transmitância permitidos por comprimento de onda, segundo a norma brasileira vigente NBR ISO 12312-1:2015 e internacionais ISO 12312-1:2013, (EN1836:2005, 2005) (Z80.3-2009, 2009) (AS/NZS 1067:2003, 2003). Quando o usuário coloca os óculos de sol, o olho não sofre a midríase, ou seja, a pupila não se contrai – como ocorre ao sairmos ao sol sem óculos – e o olho fica sem a proteção natural de limitar a quantidade de feixes UV que nele adentram.

Assim, se os óculos não possuírem a proteção adequada, os raios UV adentram o olho, causando danos oculares (HOOVER, 1987), ou seja, é melhor não utilizar um óculos de sol do que utilizá-los sem a proteção adequada.

Atualmente, uma extensa parcela da população brasileira utiliza óculos de sol de forma constante, segundo o INMETRO. Inicialmente, os produtos eram adquiridos com uma finalidade estética e pelo conforto visual proporcionado, mas sua importância como instrumento de proteção contra os efeitos nocivos do Sol vem crescendo substancialmente (INMETRO, 2009). A crescente importância dada aos óculos de sol se reflete no mercado. Segundo estudo realizado pela GS&MD, empresa especialista em varejo, marketing e distribuição, em 2013, o mercado óptico faturava R\$ 19,5 bilhões e tinha projeções de um salto de faturamento para R\$ 39,2 bilhões nos próximos 5 anos. Participaram desse estudo 1409 pessoas entre consumidores, oftalmologistas e proprietários de óticas e laboratórios de algumas capitais brasileiras. Foi verificado também que a região Sudeste possuía a maior concentração de consumo desse mercado, com 58%, seguida pela Região Sul (16%), Nordeste (16%), Centro-oeste (7%) e Norte (3%) (OPTICANET, 2013). Segundo outro estudo realizado pela Associação Brasileira da Indústria Óptica – ABIÓPTICA, o prejuízo com a informalidade foi de 84%, com expectativas de piora nos próximos anos (ABIÓPTICA, 2010). Segundo o INMETRO, quando o assunto é a percepção dos consumidores, os lojistas consideram que 56% dão importância à marca do produto vendido, 87% veem no preço um dos principais atributos capazes de influenciar a decisão de compra e 94% priorizam a qualidade do produto. Ainda segundo reportagem (G1, 2013), óculos piratas representam 41% das vendas e ainda somente 0,4% das unidades falsas seguem normas de fabricação. Todas as informações levam a crer que a importância da análise e regulamentação de óculos solares é grande, visto que a população cada vez mais sofre os malefícios de produtos de qualidade duvidosa, e isso pode trazer problemas a longo prazo para saúde das pessoas.

2.4 ANÁLISE EM ÓCULOS SOLARES

Segundo a norma brasileira NBR ISO 12312-1:2015 e normas internacionais, os óculos de sol devem possuir proteção ultravioleta de acordo a categoria a que as lentes pertencem. As lentes solares são divididas em 5 categorias, de 0 – 4, que se referem à porcentagem da transmitância da luz visível (380nm – 780nm). As categorias estão apresentadas na Tabela 1, bem como a proteção ultravioleta necessária para cada categoria.

A categoria dos óculos de sol indica o grau de escurecimento dos óculos, sendo 0 atribuído às lentes mais claras e 4 às mais escuras.

Filtros com transmitância luminosa inferior a 75% não podem ser utilizados em condução de veículos no crepúsculo ou à noite. Para cada uma destas categorias existe um limite para transmissão de radiação UVA e UVB.

A transmitância luminosa ou visível, τ_V , é definida como a média da transmitância espectral, $\tau_F(\lambda)$, entre 380 nm e 780 nm ponderada pela distribuição espectral da radiação do iluminante-padrão D65 da CIE, $S_{D65\lambda}(\lambda)$, pela função da visibilidade espectral para a visão com luz diurna, $V(\lambda)$, e é calculada através da Equação (1).

$$\tau_V = \frac{\int_{380}^{780} \tau_F(\lambda) V(\lambda) S_{D65\lambda}(\lambda) d\lambda}{\int_{380}^{780} V(\lambda) S_{D65\lambda}(\lambda) d\lambda} \quad (1)$$

A transmitância do ultravioleta solar, τ_{SUV} , representa a média da transmitância espectral, $\tau_F(\lambda)$, entre 280 nm e 380 nm ponderada pela intensidade de radiação do Sol, $E_{s\lambda}(\lambda)$, ao nível do mar e massa de ar 2, e pela função de eficácia espectral relativa a radiação UV, $S(\lambda)$, também conhecida como espectro de ação eritema. A definição de τ_{SUV} é dada pela Equação (2).

$$\tau_{SUV} = \frac{\int_{280}^{380} \tau_F(\lambda) E_{s\lambda}(\lambda) S(\lambda) d\lambda}{\int_{280}^{380} E_{s\lambda}(\lambda) S(\lambda) d\lambda} \quad (2)$$

A transmitância UVA solar, τ_{SUVA} , é calculada usando a Equação 2, porém com o intervalo de integração entre 315 nm a 380 nm, assim como a transmitância do UVB, τ_{SUVB} , que é calculada no intervalo de 280 nm a 315 nm.

Existem controvérsias a respeito dos limites da faixa espectral correspondente à radiação UV. Na norma atual, houve a alteração do limite superior de 400 nm para 380 nm. O Laboratório de Instrumentação Oftálmica contribui para que a norma anterior (NBR 15111:2013) tivesse o valor da faixa de UV alterada para entre 280 nm até 400 nm, porém com a entrada em vigência da norma NBR ISO 12312-1 em 2015, o limite superior voltou a ser o mesmo (380 nm) adotado em alguns países do hemisfério norte. Neste trabalho, é adotado 380 nm somente quando as informações são fornecidas da norma, permanecendo 400 nm para os outros casos.

Tabela 1 - Valores de Transmitâncias para Filtros Solares UV de Uso em Óculos – adaptada da norma NBR ISO 12312-1

Categoria dos filtros	Região visível do espectro						Região ultravioleta do espectro	
	Transmitância luminosa (τ_V)		Mínimo quociente de atenuação visual para luzes semafóricas (Q)				Valor máximo da transmitância do UVB solar (τ_{SUVB})	Valor máximo da transmitância do UVA solar (τ_{SUVA})
	de	até	Vermelho	Verde	Azul	Amarelo	de 280 nm até 315 nm	de 315 nm até 380 nm
0	80,0	100	0,8	0,6	0,6	0,6	0,05 τ_V	τ_V
1	43,0	80,0					1,0% absoluto ou 0,05 τ_V (o maior)	0,5 τ_V
2	18,0	43,0					1,0% absoluto	1,0% absoluto ou 0,25 τ_V (o maior)
3	8,0	18,0					1,0% absoluto	
4	3,0	8,0	-	-	-	-		

Assim, para se saber se os óculos de sol estão protegidos contra a radiação ultravioleta, é necessário previamente saber em que categoria estes óculos se enquadram.

Um teste importante a ser realizado nos óculos de sol determina se a categoria dos óculos não se altera ao submetermos os óculos ao teste de resistência à radiação solar. Há evidências de que óculos de baixa qualidade alteram a transmitância no visível, após um certo período de tempo de exposição ao sol. Este teste é chamado de “teste de resistência à radiação solar”, e consiste em irradiar os óculos com um simulador solar, nos parâmetros exigidos pelas normas. Após o período de irradiação, as transmitâncias no visível 380nm – 780 nm são medidas, e comparadas com as transmitâncias registradas anteriormente ao teste de irradiação. Dessa maneira, é possível saber se houve deterioração ou não da amostra.

Neste trabalho, além de investigarmos e realizarmos este teste com irradiação solar natural e comparar com a do simulador, também estamos interessados em saber se a proteção ultravioleta deteriora-se durante a superexposição das lentes ao sol.

2.5 O TESTE DE RESISTÊNCIA À RADIAÇÃO DA NORMA BRASILEIRA

Os óculos devem ficar expostos a um sistema que simula a irradiação solar por 50 horas, para uma lâmpada de arco de xenônio OFR de 450W, com a corrente estabilizada em $(25 \pm 0,2)A$ e que possua o espectro solar (D65). Entre a lâmpada e a amostra é colocado um filtro de corte, cuja curva da transmitância espectral deste filtro é mostrada na Figura 4.

Figura 4 - Transmitância espectral do filtro de corte; a posição nominal da borda de absorção é $\lambda_c = 320$ nm, definida por $t(\lambda_c) = 46\%$; um desvio de ± 5 nm é permitido pelas bandas de transmitância

Para tal é utilizado o simulador solar à disposição no LIO, adquirido em processo FAPESP (2011/06079-2). A Figura 5 mostra a foto do simulador solar adquirido.

Uma variação relativa na transmitância luminosa $\Delta\tau / \tau_v = (\tau_v' - \tau_v) / \tau_v$, onde τ_v' e τ_v são as transmitâncias luminosas após e antes do tratamento com radiação, deve ser menor ou igual aos limites dados pela Tabela 2.

Tabela 2 - Mudança relativa permitida na transmitância luminosa após o teste de resistência à radiação

Categoria do filtro	Mudança relativa na transmitância luminosa $\Delta\tau / \tau_v$
0	$\pm 3 \%$
1	$\pm 5 \%$
2	$\pm 8 \%$
3	$\pm 10 \%$
4	$\pm 10 \%$

Além disso, deve ser atendido o seguinte:

- a) o ângulo de espalhamento não pode exceder o valor de 3 %;
- b) para os filtros fotossensíveis, τ_0/τ_1 deve ser $\geq 1,25$;
- c) os requisitos de UV para a τ_v inicial devem continuar a ser atendidos;
- d) todos os requisitos de transmitância especificados devem ser atendidos.

Durante o teste, a temperatura do ar próximo às amostras deve ser de $(28 \pm 5) ^\circ\text{C}$.

Na determinação da transmitância devem ser usados métodos de ensaio que tenham nível de confiança de 95 %, incertezas relativas menores ou iguais às dadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Incerteza relativa permitida nas medidas de transmitância para nível de confiança de 95 %

Faixa de Transmitância Luminosa (%)		Incerteza relativa (%)
100	17,8	± 2
17,8	0,44	± 10
0,44	0,023	± 15
$23 \cdot 10^{-3}$	$1.2 \cdot 10^{-3}$	± 20
$1.2 \cdot 10^{-3}$	$23 \cdot 10^{-6}$	± 30

De acordo com a Tabela 3, para que a medição do valor de transmitância de uma lente clara, que possui o valor transmitância luminosa média entre 100 % e 17,8 %, esteja dentro da norma, é necessário que o equipamento utilizado para realização das medidas apresente um erro máximo de 2 %. Neste caso, o equipamento poderia ser um espectrofotômetro. Para lentes mais escuras, como os valores de transmitância são muito baixos, é admitido um erro maior, como mostra a tabela.

As normas internacionais divergem em relação ao teste resistência a radiação das lentes, quanto ao tempo de irradiação necessário para a simulação do envelhecimento das amostras. Na norma europeia (EN1836:2005, 2005) e na norma brasileira NBR ISO 12312-1:2015, assim como na ISO 12312-1:2013, é estabelecido que o tempo de exposição das lentes deva ser de 50 horas, utilizando-se uma lâmpada de 450W, que associada com um filtro de corte, proporciona uma aproximação do espectro de radiação solar. A norma Neozelandesa/ Australiana (AS/NZS 1067:2003, 2003) estabelece o tempo de exposição de 25 horas.

Os tempos de irradiação têm uma correspondência em tempos de números de horas/dias de uso para determinadas condições da exposição dos óculos ao sol. Não é levado em conta, por exemplo, as condições de incidência de radiação ultravioleta, ou o índice ultravioleta da região simulada no teste, pelo simulador solar. Desta forma, devem ser realizados estudos para que se possa avaliar o tempo estimado para os outros países e verificar se é adequado para o nosso país. Há necessidade de se determinar, para as condições regionais brasileiras, a correspondência entre o tempo de uso de óculos e os parâmetros do teste de estresse na norma brasileira. Em outras palavras: 50 horas de irradiação do sistema (lâmpada + filtro) sobre os óculos correspondem a quanto tempo de uso regular dos mesmos óculos por um indivíduo no seu dia a dia? Ademais, é extremamente importante a realização de medidas e cálculos para se determinar o tempo adequado de exposição para o teste de envelhecimento dos óculos de sol, considerando as lentes a serem usadas nas condições brasileiras.

Em estudos teóricos, ainda em andamento pelos pesquisadores do Laboratório de Instrumentação Oftálmica (LIO), a comparação entre a radiação emitida pelo simulador solar e pelo Sol que atinge o Brasil, tem mostrado que é necessário maior tempo de irradiação no simulador para se atender às características de uso de óculos de sol no Brasil.

Figura 5 - Simulador Solar LEMA adquirido pelo LIO – Xenon Suntest – Adaptado do manual do fabricante

A importância e grande contribuição deste trabalho é poder experimentalmente verificar as condições dos óculos de sol vendidos no Brasil, em relação a suas transmitâncias no visível e ultravioleta. Os cálculos teóricos têm sido realizados em artigos publicados (MASILI; SCHIABEL; VENTURA, 2014) e submetidos (MASILI; VENTURA, 2015). É importante saber com propriedade que a dose de radiação solar que atinge o Brasil é bastante diferente da que atinge a Europa. Assim, o conhecimento sobre índice ultravioleta e dose de radiação é indispensável.

2.6 ESTUDO DE DEGRADAÇÃO EM LENTES DE ÓCULOS DE SOL

Um estudo realizado por Ralph Chou e outros pesquisadores investiga os efeitos da exposição à radiação UV na característica de resistência ao impacto em lentes de óculos. Foi utilizado um simulador solar para expor as lentes, compostas de materiais como o policarbonato, e posteriormente, estas lentes foram submetidas a um teste de impacto balístico. Foi analisada a variação da velocidade de impacto da esfera de aço de 6 mm com as lentes, antes e depois da exposição necessária para quebrar as lentes e os pesquisadores

chegaram a conclusão que a exposição prolongada à radiação UV causa significativa redução na resistência ao impacto nas lentes. Muito embora as lentes utilizadas no teste sejam específicas para óculos de uso específico (proteção ocular ocupacional), foi utilizado mesmo método de exposição previsto na norma brasileira para óculos de sol de uso geral, e foram observadas mudanças nas características das lentes. Este estudo ajuda a reforçar o fato de que as características das lentes devem ser estudadas para melhor compreensão de seu comportamento após a exposição prolongada ao Sol e aos raios UV (B. RALPH CHOU, 2015).

2.7 ÍNDICE ULTRAVIOLETA

Para informar as pessoas sobre a radiação UV, é adotado o Índice Ultravioleta (IUV), que consiste em uma medida dos níveis de radiação solar ultravioleta relevantes, que contribui para a formação de uma queimadura na pele humana, também conhecida como eritema. A ocorrência de tais efeitos está relacionada com a resposta biológica dos diferentes tipos de pele à dose e ao comprimento de onda da radiação UV recebida.

Em 1987, a Comissão Internacional de Iluminação estabeleceu a curva eritêmica, ou seja, um espectro de ação que reflete a sensibilidade biológica nos diferentes comprimentos de onda. Tal curva pode ser vista na Figura 6.

Figura 6 - Curva Eritêmica estabelecida pela Comissão Internacional de Iluminação – Adaptada de <http://www.biomedical-engineering-online.com/content/figures/1475-925X-13-45-1-l.jpg>

O IUV é apresentado como um número inteiro. De acordo com recomendações da Organização Mundial da Saúde, esses valores são agrupados em categorias de intensidades, como mostrado na Tabela 4.

Tabela 4 - Categorias dos Índices Ultravioleta

Categoria	Índice UV
Baixo	1, 2
Moderado	3, 4, 5
Alto	6, 7
Muito Alto	8, 9, 10
Extremo	Maiores que 11

O índice ultravioleta de uma cidade pode ser encontrado em “sites” da “internet” e é uma medida que representa o valor máximo diário da radiação ultravioleta, no período referente ao meio-dia solar, que é o horário de máxima intensidade de radiação.

O IUV é sempre apresentado para uma condição de céu limpo, isto é, para ausência de nuvens que, na maioria dos casos, representa a máxima intensidade de radiação. A medida do índice ultravioleta pode ainda ser influenciada por diversos fatores, tais como: horário, posição do Sol, localidade, altitude, espessura da camada de ozônio, presença de nuvens, poluentes atmosféricos, entre outros.

Todas essas características mencionadas são levadas em consideração como parâmetros de entrada no modelo computacional utilizado para os cálculos. Desta maneira:

$$IUV = C \int_{280nm}^{400nm} E\lambda \varepsilon\lambda d\lambda \quad (3)$$

Da equação (3), $E\lambda$ é a irradiância espectral (quantidade de energia por unidade de área e por comprimento de onda – $W/(m^2/nm)$), $\varepsilon\lambda$ é a irradiância eritêmica que é ponderada pela resposta da pele humana à radiação ultravioleta, pelo Espectro de Ação Eritêmica. Após integração no intervalo espectral entre 280 e 400nm (UVB e UVA) e multiplicação por C, que é a constante de conversão equivalente à $40W/m^2$, obtêm-se o resultado de que cada unidade

de IUV corresponde a 25 mW/m^2 . Desse modo, o IUV nada mais é do que um formato simplificado para a apresentação da Irradiância Eritêmica.

2.8 ESTUDO SOBRE DOSE E RADIAÇÃO UV

Levando-se em conta de que a norma brasileira NBR ISO 12312-1:2015 é a tradução da ISO 12312-1:2013, baseada na norma europeia EN 1836:2005, muitos dos parâmetros utilizados nos testes de certificação da norma nacional, são os mesmos dos utilizados nas internacionais e que foram criados para representar as condições de radiação solar na Europa. Tendo conhecimento dos fatores que influenciam os níveis de radiação UV que atingem a Terra (posição geográfica, altitude, condições climáticas, etc.) fica evidenciado que estes níveis são maiores nas regiões de latitude menores, ou seja, regiões mais próximas do Brasil do que da Europa. Essa afirmação é representada na Figura 7, na qual o registro dos níveis máximos de índice UV, para cada estação do ano de 2015, é mostrado. É evidenciado o fato de que a intensidade média de radiação UV recebida durante o ano é sempre maior no Brasil do que em países do hemisfério norte.

Figura 7 - Registro do IUV no planeta para as 4 estações do ano em 2015 –Para o hemisfério Sul: (A) início do outono, (B) início do inverno, (C) início da primavera e (D) início do verão; Fonte: <http://www.temis.nl/uvradiation/UVindex.html>

Na Figura 7A, que representa o final do verão e início do outono do hemisfério sul, pode ser verificada uma maior intensidade de radiação UV incidente na América do Sul e Brasil, representada pelas cores quentes, do que para as mesmas estações do ano do hemisfério norte (final do verão e início do outono), representada na Figura 7C. A mesma diferença entre incidências ocorre para todas as estações do ano, por exemplo na transição entre outono e inverno, no hemisfério sul (Figura 7B) e no hemisfério norte (Figura 7D).

Segundo estudos realizados por pesquisadores do Laboratório de Instrumentação Oftálmica (MASILI; SCHIABEL; VENTURA, 2014), uma otimização geográfica da norma brasileira NBR ISO 12312-1 deve ser considerada, levando-se em conta as diferenças nos índices UV do Brasil e da Europa. Além disso, os parâmetros para o teste de estresse por irradiação em óculos de sol utilizados no Brasil, devem ser revistos para garantir que as condições simuladas sejam suficientes para garantir a proteção UV para as exposições típicas dos óculos ao Sol.

CAPÍTULO 3

3 METODOLOGIA

A seção de metodologia descreve o desenvolvimento do protótipo para exposição automática de lentes de óculos de sol. É descrito também o desenvolvimento do sistema de medição do índice UV, cujas medidas são registradas e posteriormente utilizadas em estudos em conjunto com a medição das lentes expostas, a fim de se determinar a contribuição da radiação solar recebida e a degradação das lentes. Por fim, é descrito o teste realizado com uma miniatura de painel para exposição não controlada das lentes e a técnica e equipamentos utilizados para medição da transmitância luminosa e UV das lentes antes e depois da exposição ao Sol.

3.1 O PROBLEMA A SER SOLUCIONADO

A proposta principal era expor as lentes de óculos de sol ao Sol, de maneira controlada. Era necessário que as lentes fossem expostas posicionadas de forma que simulassem a situação de uso dos óculos de sol pelas pessoas, ou seja, as lentes precisariam estar no sentido vertical, com sua superfície frontal perpendicular ao solo. O movimento das lentes deveria acompanhar o movimento do Sol, mas apenas sua rotação com relação a um ponto de referência na Terra, e não seu movimento de elevação e redução da altitude. Outro requisito seria de expor a maior quantidade de lentes por vez. As lentes deveriam ser expostas somente em condições favoráveis, ou seja, somente quando o tempo não estivesse chuvoso e o Sol presente, mesmo que em situações de dia nublado. Em outras palavras, enquanto for dia e o clima favorável, as lentes deveriam ser expostas, e caso contrário, guardadas de alguma maneira e protegidas das condições desfavoráveis. Entende-se por condições de exposição desfavoráveis, situações como tempo chuvoso, presença de material particulado na atmosfera como acontece em dias de queimadas e também em período noturno, onde não há incidência de raios UV. Seria necessário proteger as lentes de chuvas e material particulado pois tanto a água quanto a fuligem se depositariam nas lentes, prejudicando a absorção de raios UV. O tempo em que as lentes ficariam expostas deveria ser registrado, para que depois fosse contabilizado o tempo total de exposição e pudesse ser feito um controle do tempo em que as

lentes seriam medidas para avaliação dos efeitos do Sol nas lentes. O objetivo era expor as lentes por no mínimo dois anos, que equivale ao tempo estimado de uso de um mesmo modelo de óculos solar pelos brasileiros, e assim avaliar o comportamento das lentes ao longo do tempo.

Uma possível solução para o problema, seria fabricar um painel no qual o maior número possível de lentes seria fixado. Este painel necessitaria de uma base pesada o suficiente para que quando as lentes estivessem em exposição, todas na posição vertical, uma ação do vento não derrubasse o painel. Seria necessário que uma pessoa ficasse responsável por posicionar todos os dias o painel com as lentes para exposição. Além disso, esta pessoa teria a função de rotacionar o painel a cada intervalo de tempo, por exemplo de 15 em 15 minutos, para que as lentes acompanhassem o movimento do Sol, desde a manhã até o fim da tarde. Caso acontecesse de chover, esta pessoa deveria imediatamente recolher o painel, secar as lentes e guarda-lo em um local seguro, isso sem mencionar a situação das queimadas. Caso logo em seguida parasse de chover, a pessoa deveria novamente posicionar o painel, voltado para o Sol e para isto, esta pessoa precisaria conhecer a posição exata do Sol para qualquer data e hora, pois caso o dia ainda estivesse nublado, ela poderia não localizar o Sol. Além de ter todo este trabalho, a pessoa deveria registrar rigorosamente o tempo total que as lentes foram expostas, descontando, por exemplo, períodos em que elas tiveram que ser guardadas, como nos momentos de chuva. Obviamente, é impensável deixar que uma pessoa seja responsável por todas estas tarefas e portanto torna-se viável e necessário o desenvolvimento de um equipamento que cumpra tais funções.

Nas seções seguintes, será descrita a ideia do protótipo que foi desenvolvido para exposição controlada das lentes de óculos de sol, assim como toda a tecnologia empregada e soluções desenvolvidas.

3.2 O PROTÓTIPO – PAINEL AUTOMATIZADO PARA EXPOSIÇÃO DAS LENTES AO SOL

O protótipo desenvolvido consiste de um painel de movimentação automatizada, capaz de alocar e expor 100 lentes de óculos de sol aos raios solares, enquanto houver iluminação solar ou condições favoráveis para a exposição. Este painel rotaciona em torno de seu eixo vertical, para que as lentes possam acompanhar o movimento solar, e as lentes são posicionadas de maneira que fiquem na vertical, removidas de sua armação e assim simulem a situação de uso de um óculos pelas pessoas. Também são registrados os horários e data de exposição das lentes ao Sol. As lentes esquerdas dos óculos ficarão expostas no painel e as direitas, posteriormente expostas no simulador solar, para que em trabalhos futuros sejam realizados estudos comparativos entre os dois métodos.

O protótipo possui uma caixa metálica para proteção dos sistemas mecânicos e eletrônicos, uma tampa automática e um painel de acrílico com detalhes cortados a laser. A tampa será aberta automaticamente, o painel será levantado com auxílio do sistema mecânico, de dentro da caixa e deverá girar no sentido de acompanhamento do sol, de forma que as lentes sejam sempre irradiadas pela frente e na posição de uso, verticalmente em relação à Terra. O sistema eletrônico do equipamento calcula a posição do Sol para qualquer dia e horário em que esteja em funcionamento e assim, envia comandos para que o sistema mecânico rotacione o painel.

Sensores foram instalados no protótipo para que possam ser monitoradas as condições climáticas e o estado de funcionamento do equipamento. São eles: níveis de material particulado suspensos, ocorrência de chuva e intensidade de radiação UV recebida pelas lentes. Caso sejam detectadas condições climáticas desfavoráveis para as amostras ou segurança do protótipo, um comando automático será dado e o painel será recolhido para dentro da caixa, e a tampa fechada. O painel continuará protegido enquanto as situações climáticas desfavoráveis estejam acontecendo ou caso o Sol já tenha se posto. Todo o funcionamento do painel ocorre de maneira automática, mas também será permitido o monitoramento remoto por uma câmera e o acionamento de funções do protótipo através de comunicação pela internet.

Para determinar o índice ultravioleta no qual as lentes estão expostas, foi instalado próximo ao equipamento um sensor de índice ultravioleta (IUV), que está conectado a um sistema de transmissão de dados sem fio via rádio. As medidas do índice UV são transmitidas para um computador com um *software* desenvolvido especialmente para registrar os valores do índice UV em um banco de dados, além de mostrar o valor da medida a cada 21 segundos. O tempo de exposição das lentes e o índice UV serão automaticamente registrados.

As lentes, antes de serem colocadas no painel, serão submetidas à espectroscopia, no intervalo de 280nm – 2000nm, em 5 diferentes posições. Após um período de exposição de 30 dias, uma nova medida da transmitância das lentes será feita e posteriormente as lentes serão colocadas no painel para um novo ciclo de exposição. Serão realizados estudos sobre o comportamento da resposta espectral das lentes nos períodos antes e depois da exposição solar, podendo-se assim inferir sobre o envelhecimento da lente e a proteção UV pós-irradiação.

Inicialmente, foram avaliadas as possibilidades do *design* de painel, para que pudessem ser projetadas suas dimensões e funcionamento. Foi decidido desenvolver um equipamento em que o painel saísse de dentro de uma caixa e ficasse elevado, de forma que nenhuma outra parte de seu sistema pudesse fazer sombra nas lentes. Através de um *software* de modelagem 3D, foi desenvolvida uma projeção de como deveria ser o equipamento, representada na Figura 8, com alguns dos componentes principais indicados.

Na Figura 9, é mostrado o princípio de funcionamento do painel automatizado: nas imagens (a) e (b) são representadas duas posições do painel, ambas com as lentes expostas frontalmente aos raios incidentes; em (c) é mostrado o painel sendo guardado dentro da caixa, por exemplo no entardecer; em (d) é mostrado o painel totalmente guardado e protegido pela caixa, com a tampa fechada, ao anoitecer.

Figura 8 – Modelo tridimensional do painel automatizado

Figura 9 – Situações de funcionamento do painel

Nas sub-seções seguintes, serão mostrados os detalhes de cada componente mecânico e eletrônico, responsáveis pelo funcionamento do protótipo. Por fim, será mostrado o protótipo desenvolvido e suas características.

3.2.1 PAINEL ROTATIVO

O painel rotativo consiste em um sistema mecânico composto por uma base de aço, acoplada a um eixo que por sua vez é acionado através de um sistema de engrenagens por um motor de passo. Na base metálica está instalado o painel que comporta as lentes a serem expostas. O sistema permite que, através do acionamento do motor de passo, o painel seja rotacionado em torno do eixo e as lentes expostas frontalmente aos raios solares.

3.2.1.1 PAINEL

O painel tem como função principal acomodar de forma segura as lentes dos óculos de sol, que serão expostas à radiação solar como explicado anteriormente. Dentre as opções de material possíveis para a fabricação do painel, foi escolhido o acrílico. Essa escolha se justifica pela facilidade de corte com detalhes nas placas acrílicas, através de uma máquina cortadora a laser, disponível no Departamento de Engenharia Elétrica. Os cortes e detalhes no painel foram projetados de forma a posicionar 100 lentes. Elementos vazados que tem como função diminuir a resistência do painel a rajadas de vento. Para cada lente, há um conjunto de cinco detalhes cortados do painel de acrílico, que são um orifício de 30mm de diâmetro para posicionamento do centro da lente, além de servir para futuras medições com o espectrofotômetro portátil; quatro cortes detalhados com formato de dentes, para prender o par de elásticos que fixa as lentes. Há também entre cada conjunto de orifícios das lentes, um orifício alongado e arredondado nas extremidades, com 15 mm de largura por 50 mm de comprimento, que possui a função de auxiliar a passagem de vento pelo painel. Os detalhes do corte do acrílico são representados na Figura 10. As dimensões do painel de acrílico são: 785mm de largura por 825mm de altura e 5mm de espessura.

Figura 10 – Detalhe dos cortes no painel

Na parte inferior do painel foram coladas placas menores do mesmo acrílico para reforçar as bordas do painel e prover maior resistência mecânica do mesmo. Também foram coladas as placas nas bordas, na frente e na traseira do painel, resultando em uma espessura de 15 mm nessas regiões, além de utilizadas cantoneiras de alumínio nas bordas, como uma moldura. Estas cantoneiras tem a função de evitar que o painel empene com o tempo. Foi utilizada uma cola apropriada para colagem de peças de acrílico, modelo S320, da fabricante Sinteglas. Na Figura 11 é possível observar o painel de acrílico após o corte mas antes da colagem das placas reforçadoras. Na máquina de corte a laser, foram feitos também, através de gravação, traços que passam pelo centro de todos os furos onde devem ser posicionadas as lentes. Estes traços têm como função auxiliar no posicionamento das lentes de modo que o centro da lente fique posicionado no centro dos furos e assim sejam facilitadas as medições com o espectrofotômetro portátil.

Figura 11 – Painel após corte a laser

As lentes são presas no painel através de elásticos de tecido, também chamados de elásticos de embutir. Foi escolhido este tipo de elástico devido sua maior resistência à permanência em ambientes externos, em comparação, por exemplo, com elásticos comuns (elásticos de látex). Na Figura 12, é mostrado um esquema de como as lentes são presas ao painel.

Figura 12 – Sistema de fixação das lentes com elástico

3.2.1.2 SISTEMA DE ROTAÇÃO DO PAINEL

O sistema de rotação do painel consiste de um sistema de engrenagens acionadas por motor de passo, que tem por função de além de proporcionar torque através da redução, transmitir a rotação do eixo do motor para a base onde o painel estará fixado. As peças que compõe esse sistema foram projetadas e confeccionadas na oficina mecânica do Departamento de Engenharia Elétrica. Na figura Figura 13, são mostrados alguns dos componentes.

Figura 13 – Peças mecânicas do sistema de rotação do painel

- (1) Bucha do mancal;
- (2) Mancal do eixo do painel;
- (3) Engrenagem do eixo do painel;
- (4) Peça de fixação da engrenagem;
- (5) Rosca sem fim;
- (6) Eixo de rotação do painel;
- (7) Mancal com rolamento para eixo do motor;
- (8) Mancal do motor de passo;
- (9) Motor de passo;
- (10) Eixo do motor de passo;
- (11) Mancal com rolamento do eixo do painel.

Foi utilizado nesse sistema, um motor de passo NEMA23, com torque de 19 Kgf/cm e passo de 1,8°. Através de *drivers* de acionamento específicos, é possível que o motor funcione

a baixíssimas rotações, com até $1,8^\circ/32$ de passo. As engrenagem e rosca sem fim são ambas de nylon, e produzem um sistema de redução de 1:20.

A base do painel é fabricada a partir de chapas de ferro e três peças fazem parte da base: uma chapa com as bordas dobradas em 90° , formando um perfil em U e duas cantoneiras. Na parte de baixo da base do painel, foi soldada uma porca de 1" que tem a função de rosquear a base do painel no eixo de rotação do sistema, onde foi usinada uma rosca. A base do painel tem como função dar sustentação e resistência mecânica à peça de acrílico, fazendo com que o mesmo resista a esforços mecânicos provocados por possíveis rajadas de vento. Na Figura 14, está mostrada a montagem final do sistema de rotação, base do painel e painel.

Figura 14 – Painel e sistema de rotação finalizados; (1) Painel de acrílico; (2) Base do painel; (3) Sistema de engranagens; (4) Mesa ou base do sistema de rotação

3.2.2 SISTEMA DE ELEVAÇÃO DO PAINEL

O sistema de elevação do painel é responsável por transportar o painel e sua base para fora da caixa metálica, por através de uma abertura no teto da caixa. Quando o painel está para fora da caixa, ele pode ser acionado pelo sistema de rotação e posicionar as lentes de maneira correta com relação aos raios solares. Caso seja necessário guardar as lentes por algum motivo, o sistema de elevação também é responsável por transportar o painel de volta para dentro da caixa. O painel e sua base devem ser transportados verticalmente por uma distância de aproximadamente 90 cm. O tempo que esse deslocamento deve ocorrer não é tão importante no movimento de subida, porém é crucial no movimento de descida. Supondo que ocorra uma chuva, quanto menos tempo o painel demorar para ser guardado, mais protegidas estarão as lentes e também toda a parte interna da caixa.

A solução adotada para o sistema de elevação do painel foi a utilização de um sistema de fuso de esferas, acionado através de um sistema de polias sincronizadas, correia e por um motor de passo. O fuso de esferas possui diâmetro de 16 mm, passo de 10 mm e é acoplado na base do sistema de rotação através de uma castanha, que por sua vez é parafusada à base do sistema de rotação do painel. Nas duas extremidades do fuso (na base e no topo do lado interno da caixa), foram instalados mancais com rolamentos e na extremidade inferior, foi acoplada uma polia sincronizadora de plástico (polia maior). Próximo à extremidade inferior do fuso de esferas, foi instalado o motor de passo, que é um modelo NEMA23 de 19 kgf (similar ao usado no sistema de rotação do painel), em um mancal de forma que fique na vertical, com seu eixo voltado para o lado de baixo, como mostrado na Figura 15. No eixo do motor foi instalada uma polia de nylon (polia menor) que é acoplada a polia do fuso através de uma correia sincronizadora, e a relação das polias fornece uma redução de 1:3,6. Ao acionar o motor de passo com 24 V é obtida uma velocidade máxima de 250 r.p.m., velocidade essa em que o motor consegue transportar a carga sem perder passos. Nessas configurações, para transportar o painel por uma distância de 900 mm, é necessário um tempo de aproximadamente 80 segundos, ou 1 minuto e 20 segundos e com esse tempo, é possível guardar as lentes na caixa de forma segura, sem que a chuva cause grandes danos. Para auxiliar a movimentação do painel, foram utilizados dois tubos de alumínio em cada extremidade da base do sistema de rotação e estes tubos, de diâmetro 20 mm, servem como guias lineares e sustentam o sistema de maneira segura. São utilizadas buchas usinadas em nylon para acoplar a base do painel às guias lineares.

Figura 15 - Motor de passo, polias e correia - acionamento do sistema de elevação do painel

Na Figura 16, é representado o funcionamento do sistema de elevação do painel, com o painel sendo guardado na caixa através da sequência de imagens. É possível ver nas imagens as guias lineares (tubos de alumínio) nas laterais da base do painel.

Figura 16 - Sistema de elevação do painel - (A) painel no alto, situação na qual as lentes estariam expostas; (B) painel sendo transportado para dentro da caixa; (C) painel totalmente recuado para dentro da caixa.

3.2.3 CAIXA E TAMPA AUTOMÁTICA

A caixa metálica é o componente mecânico responsável por abrigar os outros sistemas mecânicos (painel rotativo, sistema de elevação), além dos sistemas eletrônicos (circuitos de controle e sensores) e proteger o painel e as lentes quando necessário. Foi projetada uma caixa com estrutura feita de cantoneiras de aço de 1” de largura e espessura 2 mm, que foram soldadas para que pudessem fornecer melhor resistência mecânica. A estrutura da caixa é mostrada na Figura 17.

No topo e no chão da caixa, foram fixadas chapas de aço de espessura 3 mm, para que pudessem ser fixados os elementos do sistema de elevação do painel (mancal do motor, mancal do fuso de esfera e guias lineares) e na teto da caixa, foi aberta uma janela pela qual o painel passará através, quando as lentes forem expostas ou transportadas de volta para a caixa.

Posteriormente à montagem da estrutura da caixa, foram dimensionadas chapas de alumínio para tampar as laterais, a parte frontal e a traseira da caixa. Estas chapas, assim como a base e o teto da caixa, foram parafusadas. Na parte frontal da caixa, foram utilizadas duas chapas grandes e uma mais estreita, que foram rebitadas formando uma chapa única que cobre toda a frente do equipamento, como mostrado na Figura 18. A cor azul na foto se deve ao fato de que é utilizado um filme colado às chapas de alumínio para evitar que elas sejam arranhadas, e este filme foi retirado assim que o equipamento foi pintado, na etapa de acabamento.

Figura 17 - Estrutura da caixa metálica em aço

Figura 18 - Parte frontal e lateral da caixa, em alumínio

Optou-se em utilizar um sistema de portas, na parte traseira do equipamento, pois já que todas as outras faces eram fixas, seria preciso alguma maneira de acessar a parte interna do equipamento, tanto para fazer a instalação de seus componentes elétricos e eletrônicos, quanto para providenciar manutenção quando necessário. A parte traseira do equipamento com suas portas é representada na Figura 19.

Figura 19 - Face traseira do equipamento, com portas para acesso a parte interna

Parte essencial do equipamento é o sistema de fechamento da caixa. Como explicado anteriormente, o teto da caixa possui uma abertura pela qual o painel e as lentes passam, a cada momento em que as lentes precisam ser expostas ou guardadas e essa janela não pode ficar desprotegida. Para isso, foi projetada uma tampa de alumínio que cobre toda a superfície superior da caixa, e é acionada por um motor DC BOSCH CEP 006 WMO 310 de 24 V que fornece torque nominal de 10 Nm. A tampa possui um eixo acoplado a uma engrenagem, que por sua vez é acoplada à engrenagem de tamanho menor presente no eixo do motor através de uma corrente, similar à usada em motocicletas e bicicletas. A tampa é capaz de abrir totalmente, até encostar na parte traseira do equipamento. Foi necessário que a tampa pudesse ser totalmente aberta para evitar que o Sol refletisse nela e os raios refletidos atingissem as lentes, afetando assim a dose de radiação recebida pelas mesmas e não prevista no projeto. A tampa, com eixo e sistema de engrenagens e correia, assim como o motor instalado no lado interno da caixa, são representados na Figura 20.

Figura 20 - Sistema de abertura da tampa e motor

3.2.4 SISTEMA AUTOMÁTICO DE POSICIONAMENTO DO PAINEL

Para que o painel de acrílico posicione as lentes sempre com a face orientada aos raios solares, é necessário um sistema automático de posicionamento do mesmo. Este sistema deve localizar a posição do Sol no instante atual, e fazer com que o painel rotacione até que esteja com sua face frontal na direção do Sol. Diversas abordagens podem ser utilizadas, porém foi escolhido um método no qual o protótipo realiza cálculos para cada instante de tempo, de sua posição com relação à Terra e a posição exata do sol.

A determinação da posição do Sol é feita através de cálculos matemáticos, segundo (CHISTIANA HONSBURG, 2016), que foram programados na CPU do protótipo e que será detalhada nas próximas seções. Os cálculos retornam dois valores: o ângulo de elevação do Sol e seu ângulo azimutal ou de azimute, ambos em graus. O programa toma como entrada os valores da latitude e longitude da cidade na qual o protótipo está instalado (São Carlos – SP), além horário (horas, minutos e segundos) e dia do ano (1 – 366). A posição do Sol é calculada de 15 em 15 minutos enquanto o equipamento estiver em funcionamento e assim a posição da face do painel com as lentes é corrigida para que as mesmas estejam sempre voltadas para o Sol, seguindo o ângulo de azimute. O ângulo de elevação é utilizado para saber quando é dia e quando é noite, em outras palavras, quando o Sol está ou não no céu. Quando o ângulo de elevação é muito baixo, é porque o Sol ainda não terminou de nascer ou já se pôs, e portanto não há necessidade de as lentes serem expostas. Na Figura 21, são representados os ângulos da posição do solar.

Figura 21 – Representação do ângulo de azimute do Sol – adaptada de <http://sustainabilityworkshop.autodesk.com/buildings/solar-position>

Tendo a informação da posição do Sol com relação ao norte geográfico (ângulo de azimute), é necessário que o sistema de posicionamento do painel saiba também onde está o norte geográfico, com relação à posição do protótipo. Para que o sistema tenha essa informação, foi utilizado um sensor magnetômetro, ou bússola eletrônica. O modelo utilizado foi o circuito integrado HMC5883L (LADYADA, 2014), presente em uma pequena placa de circuito impresso já com os componentes externos (reguladores de tensão, resistores e capacitores). O sensor possui como características interface I2C de comunicação, acurácia de 1-2° de indicação do norte, conversor AD integrado de 12 bits, taxa máxima de amostragem de 160Hz e faixa de utilização de -8 a +8 Gauss. O HMC5883L (Figura 22) é projetado para ser sensível a campos magnéticos de baixa intensidade através de elementos magneto-resistivos e as componentes do campo-magnético da Terra nos eixos x, y e z podem ser medidas de intensidades de mili-Gauss até 8 Gauss. A partir da medida do campo magnético nas componentes x, y e z, esse sensor é capaz de calcular o campo magnético resultante e assim o norte magnético, com relação à posição do sensor.

Figura 22 – Sensor HMC5883L

A partir da localização do norte-magnético com relação à posição do sensor, é possível se calcular o norte geográfico (norte verdadeiro), que é o valor que o sistema de posicionamento do painel precisa para rotacionar o painel em direção do sol.

Declinação magnética, também chamada de variação magnética, é definida como a diferença “em graus” apontada pelo norte magnético e o norte geográfico, para determinada posição na Terra. O campo magnético da Terra é muito irregular e varia de acordo com a localização e o tempo. Essa irregularidade é causada por variações e o movimento do material no interior do planeta. A Terra é composta de diferentes tipos de rochas e rochas derretidas que possuem diferentes propriedades magnéticas e, como elas se movem no interior da Terra, o campo magnético também varia. A única maneira de prever as mudanças na declinação magnética é através de diversas medidas em muitos lugares, geralmente feitas através de satélites e então mapas da variação magnética são criados. Dependendo do lugar no planeta, a declinação magnética pode ter um valor positivo ou negativo (BRITNEY, 2015). Além da utilização de mapas especiais para determinar a variação magnética, é possível a utilização de modelos disponíveis em websites (MAGNETIC-DECLINATION, 2015), que a partir da latitude e da longitude, pode calcular o valor da declinação magnética para o local desejado. Para a cidade de São Carlos –SP, mais exatamente para onde se localiza o Departamento de Engenharia Elétrica da USP, os dados são: Latitude $22^{\circ}0'26.6''S$, Longitude $47^{\circ}53'54.1''W$ e declinação magnética $-20^{\circ}41'$, ou seja, a diferença entre o norte magnético (localizado pelo sensor) e o norte geográfico é de aproximadamente -20° .

Com o sistema de localização tendo informação de data, hora, posição do norte magnético e geográfico e posição do ângulo azimutal do sol (em relação ao norte geográfico), é possível acionar o motor de passo do sistema de rotação do painel até que a face do painel

esteja voltada para o Sol. A posição inicial do painel será conhecida, assim como o norte geográfico, e para determinado horário do dia, uma quantidade calculada em graus deve ser rotacionada pelo painel de modo que as lentes sejam irradiadas pela frente. Para se obter a posição de repouso do painel, também chamada de posição inicial, foram instalados dois sensores magnéticos, um em cada extremidade da base do painel e dois conjuntos de ímãs, localizados na parte superior, sob o painel. Quando o painel é rotacionado e os ímãs estão alinhados com os sensores magnéticos, o sistema sabe que o painel está na posição inicial.

Figura 23 - Ímãs e sensor magnético para posicionamento do painel

3.2.5 SENSORES

Um conjunto de sensores eletrônicos, aliado a um circuito eletrônico microcontrolado, faz com que o protótipo seja capaz de medir e registrar variáveis climáticas. A função dos sensores é medir as condições climáticas e verificar a todo instante se as condições são favoráveis ou não para a exposição das lentes ao Sol pelo painel. Por exemplo, caso seja detectado o começo de uma tempestade de chuva ou mesmo uma chuva fraca, os sensores enviarão um comando para o sistema eletrônico central, que fará com que o painel retorne à posição inicial e seja guardado dentro da caixa, bem como a tampa do painel também seja fechada. Outra situação que pode ser prejudicial às lentes é a ocorrência de queimadas em

regiões próximas à cidade. Quando ocorrem queimadas (Figura 24), há a presença de material particulado no ar que ao se depositar nas lentes, fará com que a incidência e absorção de radiação UV nas mesmas sejam prejudicadas.

Figura 24 – Céu em dia de queimadas

Fazem parte do sistema eletrônico um conjunto de 8 sensores: sensor de iluminação, sensor magnetômetro ou bússola eletrônica, sensor de pressão barométrica, sensor de temperatura, sensor de concentração de Gás CO, sensor de poeira/ material particulado, sensor de umidade relativa do ar e sensor de Chuva. Nas próximas seções, os componentes serão explicados e uma visão geral sobre o funcionamento total do sistema será detalhada.

3.2.5.1 SENSOR MAGNETÔMETRO – BÚSSOLA DIGITAL

Na seção 3.2.4 já foi feita uma explicação sobre o sensor magnetômetro HMC5883L, mas é válido mencionar que sua comunicação é através do barramento I2C. Apesar de estar posicionado juntamente com os outros sensores conectado na placa de circuito de processamento dos sensores (a ser apresentada nas próximas seções), sua montagem é feita de forma que o sensor fique sempre orientado para a frente do equipamento ao localizar o norte.

3.2.5.2 SENSOR DE LUMINOSIDADE

É utilizado o sensor TSL2561 (Figura 25), que é um sensor de luz de baixo custo, porém sofisticado. Diferentemente de sensores mais simples, como fotoresistores (LDR) e fotodiodos, o TSL2561 incorpora ambos sensores de raios infravermelhos e de luz visível para uma melhor aproximação da resposta do olho humano. Devido o TSL2561 ser um sensor integrador, ele é capaz de medir tanto intensidades muito baixas quanto intensidades muito altas de luz. Através de cálculos em seu programa, este sensor é capaz de fornecer uma resposta da intensidade de luz em lux, sendo que um lux equivale a um lúmen por metro quadrado. Na prática, lux é a medida de quão brilhosa uma dada iluminação vai ser percebida pelo olho humano. De acordo com o fabricante, o sensor não deve ser utilizado como um luxímetro (instrumento próprio para medir intensidades luminosas), porém sua resposta é bem próxima de um instrumento comercial, já que o sensor foi calibrado utilizando um instrumento desse tipo (MIKEGRUSIN, 2015). Este sensor, em conjunto com o valor calculado do ângulo de elevação do Sol, é utilizado para determinar quando o Sol nasceu e quando se pôs, já que antes e depois desse período, não há interesse em deixar as lentes expostas pois não há incidência de raios ultravioleta.

Figura 25 – Sensor de luminosidade TSL261

3.2.5.3 SENSOR DE PRESSÃO BAROMÉTRICA

O sensor utilizado para medir a pressão barométrica é o BMP085, fabricado pela Bosch e mostrado na Figura 26. Devido ao fato de a pressão variar de acordo com a altitude, este sensor também pode ser utilizado como um altímetro. O sensor utilizado é alimentado

com tensão elétrica de 5V e utiliza protocolo I2C para comunicação. Sua faixa dinâmica de medidas está entre 300-1100 hPa (que corresponde de 9000 m a -500 m abaixo do nível do mar), possui precisão de 0,03 hPa/0.25 m de resolução, além de poder medir temperaturas de -40 até +85°C, com precisão de $\pm 2^{\circ}\text{C}$ (ADAFRUIT, 2015). As medidas de pressão atmosférica são tomadas para que se possa tentar prever chuvas com algum nível de confiança em curtos espaços de tempo, já que a pressão atmosférica varia para menos quando o clima está chuvoso.

Figura 26 – Sensor de pressão barométrica e temperatura BMP085

3.2.5.4 SENSOR DE TEMPERATURA

Foi escolhido o sensor DS18B20 da fabricante Dallas Semiconductor, similar ao representado na Figura 27. Este sensor possui como características tensão de entrada necessária entre 3,0 – 5,5 V, é à prova d'água, mede temperaturas entre -55°C a $+125^{\circ}\text{C}$, com precisão de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ e necessita de somente um fio para realizar transmissão dos dados da temperatura medida, além de ser um sensor do tipo digital. Este sensor tem como função monitorar a temperatura ambiente, para o sistema saber se as lentes estão expostas em condições que possam ser deterioradas.

Figura 27 - Sensor de temperatura a prova d'água DS18B20

3.2.5.5 SENSOR DE GÁS CO

O sensor de concentração de gás CO (monóxido de carbono) é utilizado para detectar a ocorrência de queimadas na região de São Carlos –SP, que é a cidade onde o painel automatizado está instalado. O modelo utilizado é o MQ-7 (Figura 28), fabricado pela Henan Hanwei Electronics (HENAN HANWEI ELECTRONICS CO., LTD, 2015). Este sensor é capaz de medir concentrações de gás de 10 – 10000 ppm de CO, é alimentado com tensão de 5V e a leitura das medidas é feita através de uma entrada analógica no microcontrolador. Foi escolhido um sensor para gás CO pois esse gás é um subproduto do processo de combustão ou queima de materiais. Pelo fato de o sensor não vir calibrado de fábrica, os valores de saída são representados em números que variam de 0 a 1023. É necessário que sejam realizados alguns processos e testes para que o sensor seja calibrado para os propósitos da utilização no projeto, como por exemplo o registro de alguma queimada ou incêndio e posterior verificação das medidas do sensor para o horário da ocorrência.

Figura 28 – Sensor de gás CO MQ-7

3.2.5.6 SENSOR DE POEIRA

O sensor modelo GP2Y1010AU0F, fabricado pela Sharp, é um sensor óptico de qualidade do ar, projetado para ser sensível à partículas de poeira. Através de um diodo emitindo raios infra-vermelhos e um fototransistor posicionados diagonalmente dentro do invólucro do sensor, é possível detectar a luz refletida nas partículas de poeira no ar (SHARP, 2015). As medidas são feitas através de fotometria e a saída do sensor é um pulso com largura variável, que depende da concentração de partículas no ar. A concentração de poeira ou partículas que podem ser medida pelo sensor está na faixa de 0 a 0,8 mg/m³ e o sensor pode ser utilizado tanto para detecção de fumaça quanto de poeira. Sua utilização no painel automatizado pode ser dividida de duas maneiras: na primeira, ele trabalha em conjunto com o sensor de gás CO para detectar a presença de queimadas. Quando uma altíssima concentração de partículas for detectada e a concentração de gás CO no ar tenha aumentado, é possível que esteja ocorrendo uma queimada e as lentes devem ser protegidas. A segunda utilização do sensor, acontece quando a caixa está fechada e as lentes protegidas. É feita a medida da concentração de poeira dentro da caixa e caso essa concentração esteja alta dentro dos padrões, será dado um alerta no sistema avisando que as lentes precisam ser limpas, para melhorar a incidência de raios UV nas mesmas. Em ambos os casos, queimada e poeira na caixa, será necessária a calibração do sensor e do sistema para as condições de uso. Na Figura 29 é representado o sensor utilizado neste projeto.

Figura 29 – Sensor de poeira GP2Y1010AU0F

3.2.5.7 SENSOR DE UMIDADE RELATIVA DO AR

No protótipo do painel automatizado, é utilizado um sensor de umidade relativa do ar para monitorar as condições climáticas sob as quais as amostras estão expostas e também para prever uma possível chuva, a partir do aumento da umidade relativa do ar. O sensor utilizado é o DHT22, que utiliza um elemento sensível capacitivo a umidade, e é capaz de medir uma faixa de 0-100% de umidade relativa, com acurácia de 2-5%, além de poder ser amostrado a uma taxa de 0.5 Hz (ADAFRUIT, 2015). Possui 4 pinos, sendo que um par é para alimentação (5V), um é para dados das medidas e o quarto não é conectado. O sensor utilizado no projeto é mostrado na Figura 30.

Figura 30 – Sensor de umidade relativa do ar DHT22

3.2.5.8 SENSOR DE CHUVA E SISTEMA DE SECAGEM

No projeto do painel automatizado, é de absoluta importância que, além de que seja feita uma previsão do tempo através dos sensores já mencionados, ou mesmo que se consulte os dados de sites especializados em meteorologia, é necessário que o sistema detecte a chuva tão logo quanto ela comece. A chuva é prejudicial para o protótipo pois, além de molhar a superfície das lentes, facilitar a aderência de poeira nas mesmas e assim prejudicar futuras medidas, ela pode molhar por dentro da caixa, danificando os sistemas eletrônicos de controle do funcionamento a curto prazo, e os sistemas mecânicos a longo prazo.

Para que seja detectada a chuva, foi instalado no protótipo um sensor de chuva, também conhecido como sensor de pingos de chuva, como o mostrado na Figura 31. O sensor consiste em uma placa (preta e prata), com dois contatos impressos nela de forma que se

entrelacem e fiquem muito próximos, porém não encostem. Caso alguma gota de chuva caia em cima dos contatos, o circuito onde estão ligados será fechado e assim a chuva é detectada. Analogamente, a resistência elétrica desse sensor é da ordem de $2\text{M}\Omega$ quando está seco e de $100\text{k}\Omega$ ou menos quando molhado. Conectada a essa placa, é utilizada uma pequena placa eletrônica que mede a resistência da placa com contatos e envia um sinal analógico para o microcontrolador na placa de gerenciamento dos sensores, que varia de 0 a 1023, sendo que 1023 representa o sensor quando seco e valores inferiores significam que o sensor está molhado.

Figura 31 – Sensor de chuva

O sensor utilizado se mostrou bastante eficiente na detecção de gotas de chuva, porém um problema foi encontrado na utilização do mesmo em situações práticas: quando chovia sobre o sensor, o mesmo molhava e a chuva podia ser detectada pela parte eletrônica, porém caso parasse de chover, o sensor continuaria molhado, indicando um falso-positivo na medida. Foi necessário o desenvolvimento de um sistema de secagem do sensor de chuva para que a secagem do sensor se realizasse de tempos em tempos, uma nova medida fosse feita e assim pudesse ser determinada a continuidade ou não do tempo chuvoso.

Algumas abordagens foram testadas para o sistema de secagem do sensor, entre elas deixar o sensor inclinado, para que a força da gravidade fizesse com que as gotas escorressem ou utilizar um secador de cabelos para forçar a passagem de ar quente por cima do sensor, mas a abordagem que melhor apresentou resultados foi a utilização de um sistema análogo a uma centrífuga. O protótipo foi projetado e fabricado na oficina do Departamento de

Engenharia Elétrica e é representado na Figura 32, do lado direito o modelo 3D e no esquerdo o protótipo físico.

Figura 32 – Sistema de secagem do sensor de chuva, modelo 3D e real

A montagem consiste das seguintes peças: dois anéis de cobre, isolados por uma peça de nylon usinada, além de uma peça de nylon na parte superior e outra na base. Presa à base do protótipo, está um cooler (ventoinha) de computador, alimentado por tensão de 12 V e sobre a hélice desse cooler, está colado através de uma fita dupla face resistente, o sensor de chuva, como mostra a Figura 33, tanto para o modelo 3D (lado esquerdo) quanto para o protótipo físico (lado direito). A ventoinha é capaz de girar a aproximadamente 3000 RPM (sem carga), velocidade suficiente para fazer com que as gotas de chuva sobre o sensor sejam forçadas para fora da placa.

Figura 33 – Vista superior do sensor de chuva no sistema de secagem, modelo 3D e real

Para que as medidas possam ser feitas no sensor pela placa eletrônica, é necessário ter acesso ao par de terminais do próprio sensor. Como para que ocorra a secagem, o sensor irá rotacionar com uma alta velocidade, não é possível a utilização de fios e cabos conectados ao mesmo, pois estes que enrolariam com a rotação. Para resolver esse problema, foi projetado um sistema que pode ser usado com rotação de maneira eficiente e esse sistema consiste em duas hastes de cobre, soldadas nos terminais do sensor em uma das extremidades, e na outra extremidade das hastes, é soldada uma pequena placa de bronze (Figura 34), levemente curvada de modo que esteja sempre em contato com a parte interna de cada anel de cobre. Do lado externo de cada anel de cobre, é soldado um fio que finalmente vai para a placa eletrônica do sensor e assim as medidas podem ser feitas.

Figura 34 – Contatos rotativos do sensor de chuva

A montagem das peças do sistema de secagem é mostrada na Figura 35, através de uma vista explodida. Todas as peças são encaixadas, possibilitando que o sistema seja desmontado facilmente para ajustes ou manutenção. A placa de monitoramento dos sensores monitora constantemente as medidas do sensor de chuva, e caso seja detectado um valor baixo, o painel será guardado dentro da caixa e o a tampa fechada. Além disso, é acionado o sistema de secagem que faz com que o sensor rotacione por 10 segundos. Após os 10 segundos, é feita uma nova medição do sensor de chuva, e caso o mesmo esteja seco, é enviado um comando para o painel seja exposto novamente. Caso continue chovendo, novos procedimentos de secagem serão realizados até a chuva pare.

Figura 35 – Vista explodida do sistema de secagem e sensor de chuva

3.2.6 CIRCUITOS ELETRÔNICOS

Para controlar todo o funcionamento do protótipo do painel automatizado para exposição das lentes de óculos de sol, foram projetadas três placas de circuito eletrônico, que se comunicam e trabalham juntamente com uma placa de processamento central (CPU). Os módulos, ou circuitos eletrônicos, foram nomeados da seguinte forma: circuito de monitoramento dos sensores, circuito de potência e controle dos motores, circuito do painel de controle, além da CPU. Os circuitos, seus componentes e funcionamento serão detalhados nas

próximas seções. Na Figura 36 é representado o diagrama de blocos que mostra todo o sistema elétrico/ eletrônico do protótipo. Cada componente será detalhado a seguir.

Figura 36 - Esquema de ligação entre os módulos eletrônicos do protótipo

3.2.6.1 CIRCUITO DE MONITORAMENTO DOS SENSORES

O circuito de monitoramento dos sensores é responsável por fazer a leitura dos sensores citados nas seções anteriores, processar os dados e envia-los para a CPU, que por sua vez determinará o funcionamento do equipamento. Neste circuito, está presente um circuito microcontrolado chamado Arduino Pro mini, que é um circuito programável e que fará a leitura dos sensores através do protocolo de comunicação I2C, leitura de porta de dados e conversor AD, além de acionar o sistema de secagem do sensor de chuva quando necessário.

Após a leitura de todos os sensores, o Arduino cria um pacote com os dados e os envia para a Raspberry Pi, que interpretará os dados, além de registra-los em um arquivo de texto que ficará disponível como *backup* e para acesso *online*. Na Figura 37, é representado o diagrama de blocos da placa de monitoramento dos sensores e sua ligação com os sensores, e na Figura 38 é mostrada a placa fabricada, especificando cada componente presente na mesma.

Figura 37 - Diagrama de blocos representando a placa de monitoramento dos sensores e suas conexões

Figura 38 - Circuito de monitoramento dos sensores e seus componentes (lado superior e inferior)

- 1 - conector para o sensor de poeira
- 2 – conector para o sensor de temperatura
- 3 – conector para o sensor de umidade relativa do ar
- 4 – conector para o sensor de gás CO
- 5 – conector para sensor de pressão barométrica
- 6 – conector para a bússola eletrônica
- 7 – conector para o sensor de luminosidade
- 8 – conector para o módulo do sensor de chuva
- 9 – saída para alimentação do sistema de secagem do sensor de chuva
- 10 – Arduino pro mini 5V
- 11 – conector para o circuito do painel de controle
- 12 – conector para a placa de potência e controle dos motores
- 13 – entrada para o módulo FTDI/USB para programação do Arduino
- 14 – entrada da tensão de alimentação 5 V
- 15 – entrada da tensão de alimentação 3,3 V

3.2.6.2 CIRCUITO DE POTÊNCIA E CONTROLE DOS MOTORES

O circuito de potência e controle dos motores (Figura 39) foi projetado para, além de acionar os motores do sistema de rotação do painel, sistema de elevação e motor de abertura e fechamento da tampa, desempenhar outras funções essenciais para o funcionamento do protótipo. Este circuito é responsável por fazer a leitura das chaves fim-de-curso, que identificam o estado de funcionamento do painel (se ele está elevado ou abaixado) e também da tampa (aberta ou fechada), e assim um comando vindo da CPU pode ser executado e os motores acionados. Para acionamento dos motores de passo são utilizados dois drivers específicos para motores de passo (DRV8825), comumente utilizados em impressoras 3D, e um driver de motor DC que utiliza o circuito de ponte-H L298N, para acionar o motor da tampa. Os motores de passo trabalham com tensão de 24 V e o motor da tampa com 12 V. O circuito de potência é responsável por também fornecer tensão elétrica para as placas dos sensores e do painel de controle, além de receber os dados dessas placas e transmitir para a CPU. A leitura dos sensores magnéticos, que identificam a posição inicial e de repouso do painel, também é feita por este circuito e transmitida para a CPU. Uma das funções essenciais que esta placa realiza é o monitoramento da tensão da rede, para verificar quando há ou não falhas na energia elétrica nas tomadas que alimentam o protótipo (127/220 V). A fonte chaveada que alimenta todo o equipamento, é alimentada através da tensão alternada fornecida por uma das saídas de um equipamento no-break. Mesmo que ocorra queda na tensão de alimentação do sistema, o no-break garante que o equipamento funcione por 25 minutos. Entretanto, quando houver queda da tensão elétrica, é preciso que o painel seja guardado e as lentes protegidas, pois caso comece a chover antes de a energia ser reestabelecida, as lentes e todo equipamento poderão ser danificados. Para resolver este problema, a placa de potência monitora a tensão elétrica de um fonte de tensão DC de saída 5,0 V, que é ligada diretamente à rede elétrica, e não ao no-break. Desta maneira, caso exista algum problema no fornecimento de energia elétrica, o sinal da fonte DC é interrompido, e o circuito de potência, que assim como todo o sistema continua a ser alimentado pela tensão da bateria do no-break, envia um sinal para a CPU, que imediatamente comandará que o painel rotacione até sua posição de repouso, o sistema de elevação do painel atuará guardando-o na caixa e a tampa será fechada. Com as lentes protegidas e a caixa fechada, não há problema com o tempo que leve para a energia elétrica ser reestabelecida, pois quando isso acontecer, o

sistema reiniciará automaticamente. Na Figura 40 é mostrado o circuito fabricado (lado superior e inferior) e seus principais componentes são enumerados.

Figura 39 - Diagrama de blocos representando as conexões e componentes da placa de potência e acionamento dos motores

Figura 40 - Placa do circuito de potência e acionamento dos motores e seus componentes (lado superior e inferior)

- 1 – Entrada da fonte de alimentação 24 V/15 A
- 2 – Conector para alimentação da placa dos sensores – 5 V
- 3 - Conector para alimentação da placa dos sensores – 3,3 V
- 4, 5, 6, 7, 8, 9 – respectivamente conectores para: fim de curso do painel elevado, fim de curso do painel abaixado, fim de curso para tampa da caixa aberta, fim de curso para tampa fechada, sensor magnético para posicionamento do painel do lado direito e do lado esquerdo.
- 10 – entrada da fonte de alimentação para monitoramento de quedas de energia
- 11 – conector para a placa dos sensores
- 12 – conector de flat cable para a CPU – *Raspberry Pi*
- 13 – multiplexador
- 14 – *driver* de motor de passo para o sistema de rotação do painel
- 15 - *driver* de motor de passo para o sistema de elevação do painel
- 16 – conector para o motor de passo do sistema de rotação do painel
- 17 – conector para o motor de passo do sistema de elevação do painel
- 18 – conector para o motor DC de abertura da tampa
- 19 – LED indicativo de falta de energia elétrica
- 20 – *driver* do motor DC de abertura e fechamento da tampa

3.2.6.3 CIRCUITO DO PAINEL DE CONTROLE

O painel de controle é responsável por exibir as informações de funcionamento do sistema, como por exemplo se existe ou não queda de energia elétrica, posição em graus que o painel deve estar rotacionado e posição atual, valor dos sensores, etc. Além disso, através do *rotary encoder* e dos botões, é possível comandar o funcionamento do equipamento, como por exemplo fazer com que o painel volte a posição inicial, que a tampa abra e feche, elevar ou guardar o painel na caixa, etc. Embora o painel tenha o funcionamento automático, é interessante que o operador possa comandar o painel através de comandos manuais, para por exemplo realizar a manutenção do equipamento. Na Figura 41, é mostrado o painel de controle já instalado em sua caixa, que foi feita através de impressão 3D, assim como o *knob* do *rotary encoder*, que funciona como um potenciômetro, gerando pulsos digitais conforme é rotacionado ou pressionado como botão. Na Figura 42 é representado o diagrama de blocos do

painel de controle. Os dois botões (função e de emergência) foram instalados na lateral da caixa do equipamento, próximos ao painel de controle.

Figura 41 - Painel de controle com *display* LCD e *rotary encoder*

Figura 42 - Diagrama de blocos representando o circuito do painel de controle

3.2.6.4 CPU

A CPU do equipamento desenvolvido é uma placa com sistema linux embarcado, conhecida como Raspberry Pi 2, modelo B. Foi escolhida esta placa devido sua capacidade de

processamento, possibilidade de funcionar com um sistema operacional programável (linguagem Python) e que pode facilmente se comunicar através da internet, facilitando o acesso remoto ao equipamento. Sua função no equipamento é comandar todo o seu funcionamento, fazer a leitura dos sensores e acionar os drivers dos motores. Além disso, esta CPU registrará os dados dos sensores em arquivos de texto, que poderão ser acessados a qualquer momento através da internet. Esta placa utiliza um módulo wi-fi USB para se conectar ao roteador instalado próximo ao equipamento. Na Figura 43, é mostrada a placa Raspberry utilizada e ela já instalada em uma caixa feita sob medida, através da impressão 3D.

Figura 43 - Raspberry Pi 2 - Central de processamento representada somente a placa e com caixa feita por impressão 3D

3.2.7 O PROTÓTIPO FINALIZADO

Após a fabricação de todos os sistemas descritos nas seções anteriores (sistema de rotação e elevação do painel, caixa metálica e tampa, circuitos eletrônicos de controle do funcionamento e sensores de variáveis climáticas), o equipamento foi montado e iniciou-se a fase de testes e validação do funcionamento. Na Figura 44 é mostrado o protótipo do equipamento desenvolvido, comparando o projeto feito por modelagem 3D e a versão final. Foram instaladas 20 lentes para representar como elas devem ser fixadas no painel em funcionamento. Na Figura 45 é mostrado o funcionamento do sistema de abertura da tampa e elevação do painel e na Figura 46 é representado o princípio de rotação do painel para posicionar as lentes com suas faces voltadas para o Sol. Por fim, na Figura 47, são mostradas as portas de acesso a parte interna do equipamento, tanto abertas quando fechadas com trincos e chave.

Figura 44 - Protótipo do painel automatizado – projeto (junho/2014) e versão final (janeiro/2016)

Figura 45 - Abertura da tampa e elevação do painel

Figura 46 - Rotação do painel

Figura 47 - Portas de acesso a parte interna do equipamento

3.3 SISTEMA DE MEDIÇÃO DO ÍNDICE UV

O projeto do medidor de índice UV pode ser dividido em duas partes: o *hardware* e o *software*. A parte do *hardware* consiste no sistema físico de medição do índice UV, apresentando os seguintes componentes: sensor de raios UV, circuito rádio transmissor e módulo USB de rádio. O *software* possui como componentes os firmwares (programas embarcados) dos microcontroladores usados nos circuitos de recepção e transmissão de dados; o *software* de computador que mostra o índice UV, gera gráficos e gerencia os dados e o banco de dados online. A descrição detalhada de cada componente do *hardware* e *software* será mais bem abordada nas próximas seções. O fluxograma de funcionamento do sistema de medição do índice UV está detalhado na Figura 48, destacando os principais componentes de *hardware* e *software*.

Figura 48 – Diagrama de blocos do circuito transmissor de dados do sensor UV

3.3.1 SENSOR DE RADIAÇÃO SOLAR UV

Foi utilizado o sensor UV Cosine (Figura 49), da marca SGLUX, que é um sensor UV à prova d'água para fins de uso ao ar livre e que foi construído com correção de ângulo zenital. Uma calibração foi feita para a latitude de São Carlos- SP, Brasil ($21,87^{\circ}$ S), que é a cidade onde estão sendo realizadas as medidas. Outras características deste sensor são a sua saída de 0 a 5V e sua resposta de acordo com a curva eritêmica (SGLUX, 2013). A saída do sensor utilizado é uma tensão proporcional ao índice de UV.

Figura 49 – Sensor UV Cosine, SGLUX

O sensor foi instalado no terraço do prédio do departamento de Engenharia Elétrica (Figura 50 - a), de modo que sua superfície esteja posicionada paralelamente ao solo, minimizando assim erros por mal posicionamento do sensor com relação a incidência de raios UV. O sensor também foi instalado em um lugar alto e isolado para evitar que sombras do ambiente pudessem interferir as medidas (Figura 50 - b). Foi feito um furo passante na parede do prédio para que o cabo do sensor pudesse ser conectado ao circuito rádio transmissor, localizado do lado interno da parede do edifício, representado na Figura 50 – c.

Figura 50 – Medidor de índice ultravioleta: (a) Local de instalação do sensor UV; (b) detalhe do sensor; (c) circuito transmissor de dados

3.3.2 MÓDULO DE RÁDIO

Para transmissor de rádio, foi utilizado o Xbee-PRO ZB, representado na Figura 51. Este sistema de rádio foi escolhido por ter alcance de transmissão de dados que atende às necessidades do projeto, isto é, longa distância entre o sensor e o computador com o *software* para tratamento dos dados. As especificações do rádio são: frequência: 2.4 GHz; potência de saída: 63 mW; alcance máximo: 3,2 km; taxa de transmissão: 250 kbps.

O ZigBee é um protocolo de comunicação de rádio digital estabelecido por um conjunto de importantes fabricantes de dispositivos eletrônicos. Esse protocolo garante estabilidade e confiabilidade na implementação de redes sem fio de curta distância e é baseado no padrão IEEE 802.15. Essa tecnologia tem sido muito usada em redes de sensores industriais e tem como principais vantagens o baixo consumo de potência, longo alcance e segurança de rede.

No projeto existem dois módulos de rádio que utilizam a tecnologia ZigBee: Um coordenador (*host*) e um roteador (*slave*). O módulo coordenador é o responsável por gerir a

rede, e nesse caso é também ele que envia os dados obtidos do sensor ultravioleta para o módulo roteador que está conectado à sua rede. O coordenador também pode ser referido como "transmissor" nesse caso.

O roteador, ou "receptor", está conectado a um computador através de um *shield* (placa adaptadora) USB. No PC, o *shield* USB emula uma porta de comunicação serial. Através dessa porta, programas como MatLab e LabVIEW podem processar os dados recebidos e armazená-los para posterior consulta.

Figura 51 – Módulo de rádio XBee

3.3.3 CIRCUITO TRANSMISSOR

O circuito rádio-transmissor tem a função de converter o valor de tensão de saída do sensor, que é uma tensão analógica, para um valor de digital. O valor digital por sua vez deve ser enviado para o módulo de rádio presente no circuito e o rádio transmitirá os valores para o circuito rádio-receptor, presente no computador que gerenciará os dados, como será explicado nas próximas seções.

Para converter os valores de tensão analógica para valores digitais e comunicar esses dados com o módulo de rádio, foi utilizado um microcontrolador PIC18F4550, da Microchip. O circuito é composto basicamente pelos reguladores de tensão de valores 3.3V e 5.0V, além de os componentes periféricos básicos recomendados pelo *datasheet* do microcontrolador, o módulo de rádio, LED's indicadores e conectores. Para alimentação do circuito é utilizada uma fonte chaveada com tensão de saída de 12V. Uma conversão AD de 10 bits é utilizada

pelo microcontrolador para converter a tensão analógica e a porta serial (terminais Tx e Rx), configurada para 9600 baud, 8 bits e sem paridade, é utilizada para comunicação entre o microcontrolador e o módulo de rádio Xbee.

O circuito foi montado em uma placa de prototipagem simples e alocado em uma caixa plástica, para proteger o circuito e facilitar sua instalação. A foto da montagem final do circuito em sua caixa é mostrada na Figura 52.

Figura 52 – Circuito transmissor de dados

3.3.4 MÓDULO RECEPTOR USB

Para comunicação dos dados do sensor com o *software* desenvolvido para mostrar o índice UV e também para gerenciar os dados de medidas realizadas, é utilizado um módulo USB (*shield*) que se conecta ao módulo de rádio. O módulo de rádio é configurado como receptor de dados e quando conectado ao computador, seu *driver* é instalado automaticamente. Desta forma, é criada uma porta serial virtual que recebe os dados através da porta USB e assim, os dados recebidos podem ser visualizados em um programa do tipo terminal ou então em qualquer *software* que possa acessar a porta serial, geralmente chamada nomeada COMx, onde x é um número inteiro. O *software* desenvolvido acessa a porta USB/Serial e processa os dados. Uma foto do módulo de rádio USB é mostrada na Figura 53.

Figura 53 – Shield ou placa adaptadora do rádio para porta USB

3.3.5 FIRMWARE DOS MICROCONTROLADORES

O *firmware*, ou *software* embarcado, do microcontrolador utilizado no projeto (circuito transmissor) foi escrito em linguagem de programação C. Foi utilizada a IDE (*Integrated Development Environment*) MPLAB, da Microchip, que é a mesma fabricante do microcontrolador PIC18f4550 utilizado no projeto. Como foi explicado anteriormente, o firmware foi escrito de forma que realizasse as funções propostas por cada circuito.

No caso do transmissor, o microcontrolador deveria converter os valores de tensão presente em uma de suas entradas analógicas para um valor digital e comunicar-se com o módulo de rádio através da porta serial, enviando assim o valor de tensão digital lido do sensor. Após a transmissão do dado, a tensão do sensor volta a ser medida e convertida e o ciclo se repete. Por características do projeto, foi escolhido um tempo de espera de 21 segundos para início de um novo ciclo assim que os dados fossem enviados, e esse valor foi definido, podendo ser alterado para mais ou para menos sem causar grandes mudanças no restante do projeto.

3.3.6 SOFTWARE DE MEDIDAS DO IUV

O programa foi desenvolvido em linguagem de programação Python, que foi escolhida por sua simplicidade de programação e por possuir módulos (bibliotecas) com funcionalidades facilmente encontradas na internet, juntamente com material de estudo e

exemplos de aplicações. Python é uma linguagem de programação orientada a objetos e de alto nível, que oferece recursos como o sistema de tipo dinâmico e gerenciamento automático de memória.

Em Python, o equivalente a bibliotecas de outras linguagens é chamado de módulo. O programa desenvolvido é constituído de módulos principais, que são responsáveis pelo funcionamento do programa e também a comunicação deste com a porta serial e a internet, por exemplo. Os principais módulos foram: *Tkinter*, *ttk* e *tkFileDialog* para a interface gráfica; *time* para registro de tempo e acesso ao relógio do computador; *os* para interface com o sistema operacional do computador; *sys* utilizado para função de reinício automático do programa; *threading* para execução de tarefas simultâneas; foram desenvolvidos também módulos para execução de tarefas especiais, como o *inpe_data* que acessa o site do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) e coleta dados sobre o índice UV; *plot_iuv* responsável por gerar os gráficos da variação do IUV; *iuv_serial* que acessa a porta serial e recebe os dados do módulo de rádio conectado à porta USB e finalmente *sqlUVI* que é responsável por armazenar os dados recebidos do sensor em um banco de dados, no servidor online do Departamento de Engenharia Elétrica da EESC – USP. Após a escrita de todo o código e os testes de funcionamento, foi gerado um arquivo executável que executa os códigos, e dessa forma, para que o programa funcione, não é necessário que o computador tenha Python instalado, somente o driver do módulo de rádio USB.

A tela inicial do programa é mostrada na Figura 54. Além de mostrar o logotipo do LIO – Laboratório de Instrumentação Oftálmica, são apresentados 4 botões: IUV NOW, GRAPHICAL TOOL, OPTIONS e HELP. Ao clicar no primeiro botão, é exibida a janela que mostra o índice UV a cada 21s, e se tem como exemplo o índice 7, mostrado na Figura 55. Na janela do IUV NOW, são mostrados a data e o horário em que foi feita a última medição segundos. É mostrado também o Índice UV atual, que é o resultado de uma comparação do valor de tensão medido pelo sensor e transmitido pelo rádio, com uma tabela. A cor de fundo do Índice UV segue a recomendação da WHO (WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2002). São mostradas também informações sobre grau o grau de malefício referente ao índice UV registrado no momento da medida e também proteção recomendada contra a exposição à radiação solar. A última informação exibida pela janela do IUV é o último valor do IUV para a cidade de São Carlos/SP, fornecido pelo site do INPE. Os valores exibidos são calculados a partir de modelos matemáticos e são atualizados

aproximadamente de meia em meia hora pelo site. Essa informação é mostrada apenas para comparação com a medida sendo feita pelo sistema desenvolvido.

Figura 54 – Tela principal do programa do IUV

Figura 55 – Janela com informações do IUV em tempo real

Na janela principal, selecionando a opção GRAPHICAL TOOL, é exibida a janela representada na Figura 56, onde é possível digitar o intervalo de tempo entre as medidas a serem plotadas no gráfico em minutos e selecionar o arquivo que contém as medidas a serem representadas pelo gráfico. O *software* IUV armazena automaticamente todas as medidas realizadas em arquivos do tipo *txt*, separados pela data em que as medidas foram realizadas. Cada arquivo de log de medidas possui 134 kb no final de cada dia e as informações que são registradas são: data e horário em que a medida foi feita, valor de tensão registrado pelo sensor e valor do índice UV após a conversão. Segue o exemplo de uma linha de um arquivo de log: 07/12/14 11:04:16 87 mV 7 IUV.

Figura 56 – ferramenta para gerar gráficos a partir dos registros do IUV transmitidos pelo rádio

Ao selecionar o arquivo de log de medidas e digitar o intervalo entre medidas desejado, o gráfico é apresentado na tela, como representado nas Figura 57 e Figura 58. Na Figura 57, foi escolhido um intervalo entre medidas de 15 minutos e na Figura 58, o intervalo escolhido foi de 1 minuto. Nota-se que na Figura 58, o gráfico formado parece mais sensível às variações e no gráfico da Figura 57, uma ideia melhor sobre a variação diária do IUV é fornecida, mesmo com uma quantidade menor de informação.

Figura 57 – Gráfico para medidas a cada 15 minutos

Figura 58 – Gráfico para medidas a cada 1 minuto

Na função OPTIONS, é possível configurar a porta serial e a conexão com a internet. Os dados digitados nessa janela são gravados em um arquivo e são carregados toda vez que o programa do IUV é iniciado. A janela OPTIONS é representada na Figura 59. A função HELP presente na tela inicial apresenta apenas informações sobre o programa e contato para assistência técnica e suporte com relação ao sistema de medição do índice UV (Figura 60).

Figura 59 – Janela para configuração do programa

Figura 60 – Janela com informações adicionais sobre o programa

3.3.7 BANCO DE DADOS

Como citado na seção anterior, cada medida realizada pelo sistema é guardada em um arquivo de texto, como o do exemplo a seguir.

Exemplo de arquivo de texto gerado:

09/02/14 12:33:36	87 mV	7 IUUV
09/02/14 12:33:57	90 mV	7 IUUV
09/02/14 12:34:18	83 mV	6 IUUV
09/02/14 12:34:39	84 mV	6 IUUV

09/02/14 12:35:00	93 mV	7 IUUV
09/02/14 12:35:21	74 mV	6 IUUV
09/02/14 12:35:42	79 mV	6 IUUV
09/02/14 12:36:03	71 mV	5 IUUV
09/02/14 12:36:24	86 mV	6 IUUV
09/02/14 12:36:45	87 mV	7 IUUV
09/02/14 12:37:06	73 mV	5 IUUV
09/02/14 12:37:27	86 mV	6 IUUV
09/02/14 12:37:48	70 mV	5 IUUV

Todos os arquivos de registro de medidas, ou logs, são armazenados em uma pasta do sistema e organizados pelos seus nomes, que contém a data em que as medidas foram feitas. Como o programa do índice UV está sempre em funcionamento no computador, quando é registrada uma mudança de data à meia-noite de cada dia, um novo arquivo é criado e a partir desse momento as medidas são registradas nesse novo arquivo. Por precaução, todos os arquivos de log presentes na pasta do sistema são sincronizados com uma pasta no Dropbox, e assim caso haja algum problema com o computador no qual o programa funciona, os dados de medidas não serão perdidos, embora novas medidas não sejam registradas até que o problema no computador ou no *software* seja resolvido.

Como citado nas seções anteriores, um dos módulos utilizados pelo programa é chamado de *sqlIUUV*. Este módulo utiliza a ferramenta conhecida como SQL (Structured Query Language), que é uma linguagem de pesquisa declarativa padrão utilizada para consulta e escrita em bancos de dados. Dessa forma, é possível que o programa do IUUV armazene os dados também em um banco de dados presente em um servidor do Departamento de Engenharia Elétrica. Ao armazenar no banco de dados, é possível que as medidas sejam registradas com maior segurança e proteção contra possíveis falhas no computador principal e no Dropbox, e além disso outros serviços como Websites, podem acessar as medidas através também da ferramenta de SQL. Na Figura 61 é possível observar como os dados das medidas ficam armazenados no banco de dados online. O programa acessa o banco de dados através de um endereço de IP do servidor, nome de usuário e senha, que estão inseridos já no seu código fonte.

				id	date	time	voltage	uv_index
☐		Edit		Inline Edit		Copy		Delete
				116	05/28/14	09:31:31	50	4
☐		Edit		Inline Edit		Copy		Delete
				117	05/28/14	09:31:52	51	4
☐		Edit		Inline Edit		Copy		Delete
				118	05/28/14	09:32:13	61	5
☐		Edit		Inline Edit		Copy		Delete
				119	05/28/14	09:32:34	53	4
☐		Edit		Inline Edit		Copy		Delete
				120	05/28/14	09:32:55	54	4
☐		Edit		Inline Edit		Copy		Delete
				121	05/28/14	09:33:16	47	4

Figura 61 – Banco de dados *online*

3.3.8 CÁLCULO DO IUV

Conforme explicado nas seções anteriores, o sensor de radiação UV instalado no telhado do prédio produz uma tensão analógica, que é convertida para um valor digital e este valor é enviado para o rádio receptor conectado ao computador onde o programa do IUV está sendo executado. Para converter o valor de tensão é utilizada uma tabela, que é escrita tanto no *firmware* do microcontrolador quando no código fonte do *software* IUV. Na Tabela 5 são representados os valores para conversão.

Tabela 5 – Tabela para conversão de valores de tensão em IUV

Tensão (bits)	Índice UV
0	0
1 to 19	1
20 to 32	2
33 to 45	3
46 to 59	4
60 to 72	5
73 to 85	6
86 to 98	7
99 to 111	8
112 to 124	9
125 to 137	10
138 to 150	11
151 to 163	12
167 to 177	13
> 178	14

Os valores dessa tabela foram obtidos por calibrações feitas com um medidor de radiação UV comercial modelo UV SENS, da SGLUX.

3.4 ESTUDO PRELIMINAR COM PAINEL EM MINIATURA

Antes de expor as lentes ao Sol utilizando o protótipo automatizado, pois este estava ainda sendo desenvolvido, doze óculos escuros (categorias 3, 4 e sem categoria) foram selecionados e as suas lentes foram expostas ao Sol utilizando um painel de tamanho reduzido em comparação com o protótipo principal, conforme mostrado na Figura 62. Este painel é feito de acrílico, com o desenho similar ao painel do protótipo, e foi montado sobre uma base de metal. O painel tem doze orifícios para fixar as lentes de óculos de sol, com o auxílio de elásticos de latex. O painel foi posicionado manualmente em direção ao Sol, em um lugar onde as lentes são livres de sombras, no caso, o mesmo terraço onde foram instalados o sensor de índice UV e o protótipo automatizado. A duração do tempo de exposição do Sol foi levada em conta e, a cada 50 h de exposição solar, as lentes foram removidas do painel e medidas utilizando o espectrofotômetro Varian Cary 5000. Foram usadas as lentes esquerdas dos óculos de sol e as lentes direitas foram guardadas para futura exposição no simulador solar. O objetivo desta exposição foi analisar preliminarmente a variação da transmitância UV (280 nm - 400 nm) e transmitância visível (380 nm - 780 nm). Medidas de transmitância foram realizadas em 5 pontos diferentes de cada lente.

Figura 62 - Exposição preliminar das lentes ao Sol utilizando painel em miniatura

3.5 MEDIDAS DE TRANSMITÂNCIA NAS LENTES DE ÓCULOS DE SOL

A análise das mudanças de transmitância nas lentes após a exposição ao Sol depende de medidas dos seus espectro de transmitância. As transmitâncias visível (380 nm - 780 nm) e UV (280 nm - 400 nm) foram medidas em 5 pontos de lentes: um ponto central e 4 pontos situados 5 mm acima, abaixo, à esquerda e à direita do ponto central. Medidas de

transmitância foram obtidos de 780 nm a 280 nm, com passos de 10 nm. Para fazer essas medidas, foi utilizado o VARIAN Cary 5000 UV-Vis-NIR (Figura 63). Um dispositivo mecânico é usado para deslocar cada lente para as posições necessárias, e a lente ser colocada com o seu ponto central alinhado com uma marcação no dispositivo. O dispositivo é colocado dentro do espectrofotômetro e são tomadas medidas de transmitância no ponto central. Após este passo, o dispositivo mecânico é ajustado para mover a lente até 5 mm, 5 mm para baixo e assim por diante. As medidas de transmitância em todos os 5 pontos de cada lente são registradas em um arquivo de texto.

Figura 63 - Espectrofotômetro VARIAN Cary 5000, utilizado nas medidas das transmitâncias das lentes – Adaptado de https://nfm.kaust.edu.sa/PublishingImages/Cary_5000.jpg

CAPÍTULO 4

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 MEDIDAS DO IUV PARA SÃO CARLOS – SP

A partir da instalação do sistema de medição do IUV foram realizados os registros das medidas e posteriormente analisado o comportamento do IUV na cidade de São Carlos – SP. Para ilustrar o funcionamento do sensor e a forma de registro de dados, foi escolhido o arquivo do dia 05/12/2014 devido à presença de variadas amplitudes de IUV. Na Figura 64, estão registrados os IUV medidos pelo sistema, em intervalos de 21 s, além da tensão elétrica (em *bits*) do sensor, usada para o cálculo do IUV, de acordo com a Tabela 5 do Capítulo 2. Como era de se esperar, a variação do IUV segue a variação da tensão elétrica, já que para conversão dos valores é usada uma tabela, com valores proporcionais. É utilizada a escala de tensão do sensor em *bits*, que é a maneira como o circuito transmissor envia as informações para o circuito receptor, presente no computador que armazena os dados. A partir da conversão A/D é possível determinar a relação de $1 \text{ bit} = 4,88 \text{ mV}$, pois a resolução do conversor é 1024 e a tensão de referência é de 5,0 V.

Figura 64 - IUV medido e tensão do sensor

O registro da variação do IUV, representada na Figura 64, mostra a variação crescente, alcançando valores máximos entre às 12 horas até às 13 horas, e uma tendência à diminuição dos valores de IUV até o valor mínimo por volta das 17 horas. Há um decréscimo dos valores por volta das 15:00h e depois um aumento, e este decréscimo representa possivelmente a presença de nuvens, diminuindo a incidência de radiação UV na superfície terrestre momentaneamente onde está o sensor.

Na Figura 65, é mostrada a variação da tensão do sensor registrada pelo sistema e o valor filtrado ou valor médio. Para filtragem dos valores de tensão originais do sensor, foi utilizada média móvel, com janela de 1 % do total de amostras, que no caso equivale a 41 amostras (total 4114). É percebido que a tensão registrada a partir do sensor é bastante ruidosa e, conseqüentemente, o IUV varia muito a cada intervalo de 21 s.

Figura 65 - Tensão elétrica do sensor pré e pós processamento

A Figura 66 traz os registros de IUV para intervalos de 21 segundos e intervalos maiores, de 15 min. Ao diminuir o número de amostras a variação do IUV no tempo é menor. Dependendo da finalidade do uso dos registros de IUV, é possível a diminuição desse intervalo, sem perda significativa de informação. Por exemplo, para o cálculo preciso de doses de radiação UV, para análise do impacto da radiação no estresse da proteção UV em óculos, que é o objetivo deste projeto, é necessária a utilização de intervalos menores. Ao utilizar intervalos menores, é possível registrar a influência de interferência das nuvens, por exemplo. Caso o objetivo do registro do IUV seja apenas informar as pessoas acerca dos

perigos de excessiva exposição à radiação UV, ou mesmo educar sobre o IUV, como num painel de informação ao usuário desenvolvido pelo LIO, intervalos maiores, como de 15 minutos, são suficientes.

Figura 66 - IUV total registrado e em período de 15 minutos

O *software* do sistema de medição em tempo real do IUV foi projetado para, além de receber as medidas do sensor e fazer o registro destas medidas, também acessar automaticamente o site do INPE¹ e registrar os valores fornecidos pelo modelo meteorológico utilizado pelo instituto. Os registros do IUV do INPE são armazenados em um segundo arquivo de texto a cada dia. Na comparação apresentada na Figura 67, é possível notar certa discrepância entre os valores medidos pelo sensor (LIO) e os valores fornecidos pelo modelo meteorológico do INPE. É observado que os valores do INPE são maiores que os medidos pelo sensor e isso se deve ao fato de se tratarem de dois modos diferentes de representar a mesma variação: o sensor produz uma medida real, que leva em consideração a variação da cobertura de nuvens, além da reflexão dos raios na superfície terrestre; os dados do INPE, embora também levem em conta alguns fatores que afetem a incidência de raios UV, são baseados em modelos matemáticos e fotos de satélite, e representam uma estimativa para o pior caso, ou seja condição de céu aberto. Esse fato explicaria os valores absolutos do IUV do INPE serem maiores do que os calculados a partir de medidas do sensor.

¹ <http://servicos.cptec.inpe.br/XML/cidade/4774/condicoesAtuaisUV.xml>

Figura 67 - Comparação entre IUV medido e registros do INPE

Através dos arquivos de registro do IUV, durante os meses nos quais o sistema funcionou continuamente, foi possível realizar uma comparação da variação média do IUV para cada estação do ano de 2014, e o resultado é mostrado na Figura 68. As estações do ano de 2014 compreendem os períodos de:

- Inverno: 21/06/2014 até 21/09/2014;
- Primavera: 22/06/2014 até 21/12/2014;
- Verão: 21/12/2014 até 20/03/2015.

Para o cálculo do IUV médio por estação do ano, foram utilizados apenas arquivos completos, ou seja, em que não foram perdidas medidas por motivos variados, como por exemplo desligamento do computador o *software* do IUV era executado ou quedas de energia elétrica, por exemplo. Cada arquivo utilizado representa um dia completo de medições, portanto foram utilizados para representar o inverno 50 arquivos, para a primavera 61 arquivos e para o verão 31 arquivos. O número reduzido de arquivos no período do verão foi circunstancial. Em Abril de 2015, o sistema apresentou mau funcionamento, pois o sensor – UV COSINE da marca SGLUX - que é dito pelo fabricante ser à prova d'água, teve problemas com a água da chuva que adentrou sua carcaça. Foram calculados os valores de

IUV médios para cada período e os resultados, mostrados na Figura 68 mostram uma incidência de radiação maior na primavera que nos outros períodos. Era esperado que a maior incidência média ocorresse no verão, porém nosso verão em São Carlos (SP) é extremamente nublado e chuvoso, e mesmo com a maior incidência de radiação chegando à atmosfera, é comum haver cobertura de nuvens, que absorvem o UV. Outro fator que explica o resultado é o fato de menos amostras terem sido tomadas no verão, em comparação com as outras estações. A incidência média maior na primavera com relação ao inverno é uma característica natural, que foi observada pelo sistema. Além disso, os meses da primavera, principalmente Novembro, foram bastante ensolarados com relação aos anteriores.

Figura 68 - Média dos registros para três estações no ano de 2014

4.2 MEDIDAS DOS SENSORES

A placa dos sensores foi utilizada para conectar os sensores apresentados na seção 3.2.5. Ela foi exposta por durante dois dias, no período da tarde, no terraço do prédio do Departamento de Engenharia Elétrica da EESC, local onde também será instalado o protótipo do painel automatizado. Os dias escolhidos foram 21 e 22 de março de 2015. Foram feitos registros das medidas dos sensores, e nessa seção, serão mostrados os resultados obtidos para os sensores de gás CO, poeira, pressão atmosférica e luminosidade, além de medidas

comparativas dos sensores de temperatura e umidade relativa do ar com sites de agências meteorológicas.

Na Figura 69 e na Figura 70, estão representadas as medidas feitas pelo sensor MQ7, de detecção da concentração de gás CO, além de curvas para os valores após processamento (filtragem). No registro do dia 21 é possível observar resultados bastante ruidosos, ou seja, que variavam muito em pouco tempo. Não houve ocorrências de eventos que pudessem causar essa variação na medição de concentração do gás CO, por exemplo fumaça, então suspeita-se que houve uma possível falha no funcionamento do sensor, porém um número maior de testes precisa ser realizado para que o problema, caso se repita frequentemente, possa ser identificado. Nos registros do dia 22, é possível observar que houve uma estabilização das medidas, em comparação com o dia anterior. Ao aplicar o pós-processamento, notou-se que a concentração de gás CO permaneceu na faixa entre 50 e 150 *bits*. A concentração por enquanto é dada em bits (níveis lógicos), pois o sensor não foi calibrado.

Figura 69 - Concentração do gás CO no dia 21/03/2015

Figura 70 - Concentração do gás CO no dia 22/03/2015

As medidas realizadas pelo sensor de poeira não apresentaram problemas ou variações fora do esperado. As Figura 71 e Figura 72 representam as medidas para os dois dias. É percebida a presença de alguns resultantes de pequenos ruídos no processo de medição e alguns valores negativos de concentração de poeira, algo que não existe fisicamente, mas são registrados devido a erros causados por ruído no cálculo da concentração. Nas figuras também são representados os valores médios, calculados usando filtro de média móvel, para os dois dias (em preto).

Figura 71 - Concentração do poeira no dia 21/03/2015

Figura 72 - Concentração de poeira no dia 22/03/2015

Nos dias 21 e 22 de março de 2015, pôde ser registrada também a variação da pressão atmosférica. De acordo com estudos (GALVANI, 2015), a pressão atmosférica, além de influenciada pela temperatura e pelo vapor d'água, é influenciada pela atração gravitacional da Lua. Durante o dia, a pressão atmosférica oscila entre dois máximos (às 10 horas e às 22 horas) e dois mínimos (4 horas e 16 horas) na região tropical. Devido ao movimento de rotação da Terra, além da influência gravitacional da Lua e do Sol, sendo a maior contribuição da primeira, ocorrem duas marés. O fenômeno das marés também é observado na parte sólida do planeta, mas com menor intensidade. Com a soma dos movimentos de rotação da Terra e a revolução da Lua em torno da Terra, pode-se ter duas marés altas e duas baixas essas marés alteram a quantidade de massa de ar presente na superfície terrestre e consequentemente a pressão atmosférica. Nos registros das Figura 73 e Figura 74, é possível verificar o aumento da pressão atmosférica, que está variando do mínimo por volta das 16h e alcançará o máximo em torno das 22h.

Figura 73 - Pressão Atmosférica no dia 21/03/2015

Figura 74 - Pressão Atmosférica no dia 22/03/2015

Além dos resultados anteriormente descritos, foi feito o registro da luminosidade através do sensor TSL2561 e os registros são representados nas Figura 75 e Figura 76, para os dias 21 e 22 respectivamente. Em ambos os casos, é notado uma diminuição dos valores com o passar das horas até o escurecimento do dia. No dia 21, em comparação com o dia 22, é possível verificar uma amplitude menor dos valores de luminosidade em Lux e isso se deve ao fato de o dia ter sido bastante nublado, e no dia 22 houve a presença de sol entre nuvens. Alguns picos são representados na Figura 76, e nesses momentos o sol iluminou diretamente a superfície do sensor, e fora desses momentos houve iluminação indireta ou presença de nuvens. Embora pelos gráficos não seja possível perceber, o período em que o sensor detectou luz se estendeu até por volta das 18:15h. O horário previsto para o pôr do sol, divulgado por alguns *sites* de agências meteorológicas era às 18:21h ou seja, o sensor pode ser usado para controle de abertura e fechamento do painel, de acordo com a luminosidade medida.

Figura 75 - Luminosidade no dia 21/03/2015

Figura 76 – Luminosidade no dia 22/03/2015

Os resultados obtidos a partir das medidas de temperatura e umidade relativa do ar serão mostrados a partir de tabelas. Para a análise, os dados foram colhidos de três *sites* da

internet: *WeatherUnderground*², *Accuweather*³ e *Climatempo*⁴. Foram utilizados intervalos de 30 min, nos dias em que o sistema ficou exposto às condições climáticas (21 e 22 de Março de 2015). Para comparação, a partir do total de medições realizadas pelos sensores, foi feita uma média simples para intervalos de mais e menos 5 minutos com relação ao intervalo em que foram coletados dados dos *sites*. Por exemplo, foi calculada a temperatura média entre 16:25 h e 16:35 h para representar a temperatura do sensor às 16:30 h. Os valores das temperaturas medidas e fornecidas pelos *sites* são representadas nas Tabela 6 e Tabela 8 para os dias 21 e 22 respectivamente. Com relação à umidade relativa do ar, foi feito o mesmo procedimento e os resultados são apresentados nas Tabela 7 e Tabela 9. Nos dois dias, houve decréscimo da temperatura com o passar do tempo e aumento da umidade relativa, e no dia 21, os valores de temperatura e umidade foram menores e maiores, respectivamente, com relação ao dia 22, e isso se explica pela presença de tempo chuvoso e bastante nublado no dia 21, fatos que não ocorreram dia 22. Notou-se também que, com relação às três fontes de dados meteorológicos, os dados dos sensores se aproximaram mais dos dados do *site Weatherunderground*, devido ao fato destes serem realizados a partir de uma estação meteorológica na própria cidade de São Carlos, e não baseada em modelos climáticos, como no caso dos *sites Accuweather* e *Climatempo*. Uma desvantagem de se utilizar dados de *sites* baseados em modelos, é que eles normalmente não atualizam a uma taxa rápida, como as medidas dos sensores. Em alguns momentos, ao acessar o *site*, as medidas de temperatura e umidade mostradas eram relativas a um período anterior de até 3 horas.

Tabela 6 - Medidas de Temperatura (°C) para o dia 21/03/2015

Site/Horario (h)	Sensor Temp. (°C)	WeatherUnderground (°C)	Accuweather (°C)	Climatempo (°C)
16:30	23,68	22,2	26	25
17:00	23,53	21,2	26	25
17:30	23,13	21,0	25	27
18:00	22,97	20,6	25	20
18:30	22,47	20,6	23	20
19:00	22,10	20,4	23	20

² <http://www.wunderground.com/q/zmw:00000.1.83726>

³ <http://www.accuweather.com/en/br/sao-carlos/36362/current-weather/36362>

⁴ <http://www.climatempo.com.br/previsao-do-tempo/cidade/549/saocarlos-sp>

Tabela 7 - Medidas de Umidade Relativa do Ar (%) para o dia 21/03/2015

Site/Horario (h)	Sensor Umid. (%)	WeatherUnderground (%)	Accuweather (%)	Climatempo (%)
16:30	86,29	78	68	66
17:00	86,88	73	68	66
17:30	87,66	80	73	53
18:00	88,86	82	73	88
18:30	90,9	83	80	88
19:00	90,13	86	81	92

Tabela 8 - Medidas de Temperatura (°C) para o dia 22/03/2015

Site/Horário (h)	Sensor Temp. (°C)	WeatherUnderground (°C)	Accuweather (°C)	Climatempo (°C)
14:30	26,73	25,5	23	23
15:00	27,91	25,8	23	23
15:30	27,19	23,0	23	24
16:00	26,80	23,0	23	24
16:30	26,81	23,9	22	27
17:00	26,06	23,5	22	23
17:30	25,76	22,3	21	22
18:00	25,53	23,0	21	22
18:30	24,67	22,4	20	23
19:00	24,10	22,2	20	22

Tabela 9 - Medidas de Umidade Relativa do Ar (%) para o dia 22/03/2015

Site/Horario (h)	Sensor Umid.(%)	WeatherUnderground (%)	Accuweather (%)	Climatempo (%)
14:30	64,79	54	84	75
15:00	60,99	52	83	75
15:30	64,67	67	86	72
16:00	74,39	67	73	72
16:30	68,07	61	80	65
17:00	68,61	63	80	78
17:30	69,28	66	83	81
18:00	70,63	64	83	81
18:30	76,68	71	88	73
19:00	77,81	71	90	84

4.3 DESEMPENHO DO SENSOR DE CHUVA

Para análise do sensor de chuva, foram feitas observações das condições climáticas nos períodos nos quais os sensores estavam em funcionamento. Para comparação e verificação de eficiência de previsão do tempo, foram registradas também informações sobre condições meteorológicas de três *sites* e esses resultados são mostrados nas Tabela 10 e Tabela 11. Ao se fazer a comparação entre as observações das condições climáticas reais e compará-las com as previsões fornecidas por *sites* nota-se que em poucos casos coincidem. Esse fato pode ser observado no registro correspondente às 15 horas do dia 22 de março (Tabela 11), no qual era observado o tempo ensolarado, e cada um dos *sites* dava uma previsão: nuvens esparsas, tempestade e muitas nuvens.

Tabela 10 - Condições Climáticas dia 21/03/2015

Horário(h)	Observação	Weatherunderground	Accuweather	Climatempo
16:30	chuva fraca	parcialmente nublado	tempestade	poucas nuvens
17:00	chuva fraca/média	parcialmente nublado	tempestade	poucas nuvens
17:30	chuva média	carregado de nuvens	tempestade	pancada de chuva

18:00	chuva fraca	carregado de nuvens	tempestade	pancada de chuva
18:30	chuva muito fraca	carregado de nuvens	tempestade	pancada de chuva
19:00	chuva muito fraca	parcialmente nublado	nublado	pancada de chuva

Tabela 11 - Condições Climáticas dia 22/03/2015

Horário(h)	Observação	<i>Weatherunderground</i>	<i>Accuweather</i>	Climatempo
14:30	nublado	nuvens esparsas	sol e nuvens	muitas nuvens
15:00	ensolarado	nuvens esparsas	tempestade	muitas nuvens
15:30	ensolarado e garoa	carregado de nuvens	tempestade	muitas nuvens
16:00	nublado	carregado de nuvens	nublado	pancada de chuva
16:30	sol entre nuvens	carregado de nuvens	nublado	muitas nuvens
17:00	chuva fraca	carregado de nuvens	tempestade	pancada de chuva
17:30	nublado	parcialmente nublado	tempestade	pancada de chuva
18:00	nublado	parcialmente nublado	parcialmente nublado	pancada de chuva
18:30	nublado noite	parcialmente nublado	parcialmente nublado	pancada de chuva

Através dos dados apresentados nas tabelas anteriores, é possível concluir que o protótipo automatizado, como descrito no capítulo 3, não pode basear-se em informações de previsão do tempo de *sites* para determinar se as lentes ficam expostas ou não. Para que seja feito o controle automático de abertura e fechamento do tampa da caixa e a exposição do painel, de acordo com a ocorrência ou não de chuvas, é imprescindível a utilização de um sensor de chuva, como o descrito na seção 3.2.5.8.

Nos dias 21 e 22 de março de 2015, foi testado também o sensor de chuva e o seu sistema de secagem. A partir dos registros feitos, foram gerados os gráficos da Figura 77 e Figura 78, que representam os valores da saída do sensor de chuva no intervalo de tempo de em que foi testado. Como descrito no capítulo 3, a saída do sensor apresenta o valor 1023 quando está seco e valores menores quando úmido, porém nos gráficos esses valores foram invertidos para melhorar a visualização e entendimento da informação. Na figuras estão representados os valores puros (raw) que representam com fidelidade as medidas e os valores filtrados. Na Figura 77, existem picos quase que durante todo o tempo em que foram realizadas medições, e isso representa o tempo constantemente chuvoso registrado nesse dia. Já na Figura 78, os picos são registrados no intervalo entre aproximadamente 15:45 h e 16:20 h, instantes depois de ter sido observada garoa (chuva fraca).

Figura 77 - Detecção de Chuva no dia 21/03/2015

Figura 78 - Detecção de Chuva no dia 22/03/2015

4.4 MEDIDAS DE TRANSMITÂNCIA NAS LENTES APÓS CURTO PERÍODO DE EXPOSIÇÃO

As doze lentes que foram expostas utilizando o painel em miniatura, como descrito na seção 3.4, tiveram suas medidas de transmitância UV e luminosa realizadas para cada 50 h de exposição solar, até um total de 150 h. Os valores de transmitância foram registrados para os cinco pontos de cada lente e, em seguida, o valor da transmitância média foi calculado, tanto para comprimentos de onda da faixa visível e ultravioleta. São representados nas Tabela 12, Tabela 13 e Tabela 14 os valores de transmitância para todas as amostras, em porcentagem. Valores de transmitância negativos devem-se à correção de linha de base feita pelo espectrofotômetro durante as medições, e o efeito acontece para valores de transmitância muito baixos. A partir dos valores apresentados nas tabelas abaixo, calculou-se a variação de transmitância percentual para cada comprimento de onda de 280 nm a 780 nm, e para cada 50 horas de exposição em relação aos valores de transmitância iniciais (antes da exposição).

Tabela 12- Transmitâncias médias visível e UV para as lentes LE054, LE126, LE127 e LE128

	LE054		LE126		LE127		LE128	
Tempo de Exposição (h)	T% vis	T% UV	T% vis	T% UV	T% vis	T% UV	T% vis	T% UV
0	13.37	0.77	24.45	10.39	18.96	0.84	17.08	4.32
50	13.55	0.77	24.70	10.47	18.71	0.83	17.11	4.36
100	13.05	0.72	24.37	10.28	18.81	0.83	17.22	4.39
150	13.34	0.64	24.28	10.02	18.81	0.80	17.12	4.24

Tabela 13 - Transmitâncias médias visível e UV para as lentes LE0191, LE198, LE230 e LE232

	LE191		LE198		LE230		LE232	
Tempo de Exposição (h)	T% vis	T% UV	T% vis	T% UV	T% vis	T% UV	T% vis	T% UV
0	10.38	0.00	9.02	0.00	2.65	0.00	2.46	0.00
50	10.22	0.00	9.08	0.00	2.69	0.00	2.51	0.00
100	10.68	0.00	9.19	0.00	2.71	0.00	2.52	0.00
150	10.83	0.00	9.30	0.00	2.76	0.00	2.55	0.00

Tabela 14 Transmitâncias médias visível e UV para as lentes LE0237, LE240, LE244 e LE262

	LE237		LE240		LE244		LE262	
Tempo de Exposição (h)	T% vis	T% UV	T% vis	T% UV	T% vis	T% UV	T% vis	T% UV
0	2.96	0.00	4.16	0.00	3.00	0.00	11.12	0.00
50	2.95	0.00	4.21	0.00	3.07	0.00	11.21	0.00
100	2.94	0.00	4.29	0.00	3.05	0.00	11.32	0.00
150	2.98	0.00	4.30	0.00	3.07	0.00	11.24	0.00

Nos gráficos a seguir, é representada, para cada lente exposta ao Sol, a diferença percentual da transmitância média (UV e visível) após cada período de 50 horas de exposição, com relação aos valores de transmitância pré-exposição solar. Quando o erro é negativo, quer dizer que houve um aumento da transmitância da respectiva faixa do espectro de radiação, ou UV ou visível, e o contrário também é válido. Entretanto, o período de exposição das lentes (máximo de 150 h) não produziu mudanças significativas e, estas variações inferiores a 1% sem importância estatística, se devem a erros na medição devidos a variações no posicionamento das amostras. Nas amostras LE191, LE198, LE230, LE232, LE237, LE240, LE244 e LE262, não foram representados nos seus gráficos a diferença percentual da faixa do UV, pois como os valores de transmitância medidos foram muito próximos de zero, na ordem

de 10^{-4} % (Tabela 13, Tabela 14) foram produzidos erros percentuais muito elevados sem sentido físico.

CAPÍTULO 5

5 CONCLUSÃO

Para que se possa ter uma melhor compreensão a respeito do efeito da exposição solar prolongada em lentes de óculos de Sol, em situação de uso normal pela população, foi desenvolvido um equipamento capaz de expor as lentes de maneira controlada e por longo período de tempo. Foi necessário projetar um equipamento inédito e inovador, que cumprisse uma série de requisitos, como expor as lentes com suas faces acompanhando o movimento do Sol, proteger as lentes em caso de condições climáticas adversas, monitorar variáveis climáticas, principalmente o IUV, entre outros, e todos os requisitos foram cumpridos. O equipamento desenvolvido possui potencial para ser patenteado e sua tecnologia e algumas das soluções desenvolvidas, podem ser utilizadas em outros equipamentos.

Além do projeto e fabricação do equipamento, foi estudado, de maneira preliminar, mudanças das características de transmitância UV e luminosa em lentes de óculos de Sol após exposição solar das mesmas. As lentes foram expostas por um período de 150 horas, com medições de transmitância realizadas com um espectrofotômetro a cada 50 horas. Foram determinados os valores de transmitância UV e luminosa, conforme especificado na norma brasileira NBR ISO 12312-1:2015, porém devido ao curto período de exposição (150 horas), não foram observadas mudanças significativas nas características das lentes.

É esperado que, a partir da utilização do equipamento para exposição das lentes de óculos de sol por dois anos, sejam obtidos resultados capazes de sustentar experimentalmente, os resultados obtidos teoricamente nas pesquisas em desenvolvimento no LIO. Futuramente, lentes expostas ao Sol usando o equipamento desenvolvido serão comparadas com as lentes expostas em simulador solar e espera-se determinar uma equivalência entre os dois métodos.

A partir do desenvolvimento e utilização do equipamento, espera-se contribuir para o desenvolvimento de uma pesquisa inédita a respeito da mudança de características de lentes de óculos de sol, contribuindo assim para que as normas referentes aos óculos de sol sejam adaptadas à realidade nacional, com mudanças em alguns parâmetros de teste e por fim, a população que utiliza óculos de sol poderá ter sua saúde ocular melhor protegida.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIÓPTICA. Avaliação do Mercado Óptico Brasileiro 2010 - Relatório Consolidado. **Abióptica**, 2010. Disponível em: <http://www.abioptica.com.br/2010/webapps/imagefile/arquivos/mercado%20optico%20brasileiro%202010_consolidado.pdf>. Acesso em: 19 mar. 2015.

ADAFRUIT. AM2302 (wired DHT22) temperature-humidity sensor. **Adafruit**, 2015. Disponível em: <<http://www.adafruit.com/product/393>>. Acesso em: 16 mar. 2015.

ADAFRUIT. BMP085 Barometric Pressure/Temperature/Altitude Sensor- 5V ready. **Adafruit**, 2015. Disponível em: <<http://www.adafruit.com/products/391>>. Acesso em: 16 mar. 2015.

ARDUINO. Arduino Duemilanove, 2015. Disponível em: <<http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardDuemilanove>>. Acesso em: 13 mar. 2015.

AS/NZS 1067:2003. **Australian/New Zealand Standard - Sunglasses and fashion spectacles**. [S.l.]: [s.n.], 2003.

B. RALPH CHOU, S. J. D. B. B. C. Effect of Ultraviolet Exposure on Impact Resistance of Ophthalmic Lenses. **Optometry and Vision Science**, 2015.

BRITNEY, A. Magnetic Declination. **How True North Varies from Magnetic North and Why**, 2015. Disponível em: <<http://geography.about.com/od/learnabouttheearth/a/Magnetic-Declination.htm>>. Acesso em: 15 mar. 2015.

CARNEGIE MELLON UNIVERSITY. Solar Radiation in the Atmosphere, 2003. Disponível em: <<http://environ.andrew.cmu.edu/m3/s2/04solarad.shtml>>. Acesso em: 18 mar. 2015.

CHISTIANA HONSBURG, S. B. PV Education. **The Sun's Position**, 2016. Disponível em: <<http://www.pveducation.org/pvcdrom/properties-of-sunlight/sun-position>>. Acesso em: 16 jan. 2016.

COLE, B. L. **Should sunglasses be required to comply with the sunglass standard?** 2. ed. [S.l.]: Clinical and Experimental Optometry, v. 86, 2003. 74-76 p. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1111/j.1444-0938.2003.tb03065.x>>.

DAIN, S. J. **Sunglasses and sunglass standards**. 2. ed. [S.l.]: Clinical and Experimental Optometry, v. 86, 2003. 77-90 p. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1111/j.1444-0938.2003.tb03066.x>>.

DALLAS SEMICONDUCTOR. DS1307 64 x 8 Serial Real-Time Clock. **Sparkfun**, 2015. Disponível em: <<https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/DS1307.pdf>>. Acesso em: 16 mar. 2015.

DOUGHTY, M.; CULLEN, A. **Long-term effects of a single dose of ultraviolet-B on albino rabbit cornea-I. in vivo analyses.** [S.l.]: Photochem Photobiol, 1989. 49:185–196 p.

EN1836:2005, B. **British Standard Personal eye equipment - Sunglasses and Sunglare Filters for General Use and Filters for.** [S.l.]: [s.n.], 2005.

FARREL, R. A.; MCCALLY, R. . **Interaction of light and the cornea:** Light Scattering versus Transparency. [S.l.]: [s.n.], v. Transaction of the world congress on the cornea III, Chapter 30, 1988.

G1. Óculos piratas, que representam 41% das vendas, atrasam diagnóstico. **Bem Estar**, 2013. Disponível em: <<http://g1.globo.com/bemestar/noticia/2013/10/oculos-piratas-que-representam-41-das-vendas-atrasam-diagnostico.html>>. Acesso em: 19 mar. 2015.

GALVANI, E. Pressão Atmosférica. **Laboratório de Climatologia e Biogeografia - LCB Universidade de São Paulo, Departamento de Geografia**, 2015. Disponível em: <http://www.geografia.fflch.usp.br/graduacao/apoio/Apoio/Apoio_Emerson/flg0253/2014/aula8/Pressao_atmosferica.ppt>. Acesso em: 26 mar. 2015.

GRIMM, C. et al. **Blue Light's Effects on Rhodopsin:** Photoreversal of Bleaching in Living Rat. 1. ed. [S.l.]: Investigative Ophthalmology & Visual Science, v. 41, 2000.

GUEYMARD, C. SMARTS2, A Simple Model of the Atmospheric Radiative Transfer of Sunshine. **Florida Solar Energy Center Rpt: FSEC-PF-270-95**, Florida, 1 dez. 1995.

HENAN HANWEI ELECTRONICS CO., LTD. MQ-7 Semiconductor Sensor for Carbon Monoxide. **Pololu**, 2015. Disponível em: <https://www.pololu.com/file/download/MQ7.pdf?file_id=0J313>. Acesso em: 16 mar. 2015.

HOOVER, H. L. **Sunglasses, pupil dilation and solar irradiation of the human lens and retina.** [S.l.]: Appl Opt., 1987. 26: 689 p.

INMETRO. **Relatório sobre Análise em Óculos de Sol.** Rio de Janeiro: [s.n.], 2009.

LADYADA. Adafruit HMC5883L Breakout - Triple-Axis Magnetometer/Compass Sensor, 03 maio 2014. Disponível em: <<https://learn.adafruit.com/downloads/pdf/adafruit-hmc5883l-breakout-triple-axis-magnetometer-compass-sensor.pdf>>. Acesso em: 15 mar. 2015.

MAGNETIC-DECLINATION. Find the magnetic declination at your location, 2015. Disponível em: <<http://www.magnetic-declination.com/>>. Acesso em: 14 mar. 2015.

MASILI, M.; SCHIABEL, H.; VENTURA, L. CONTRIBUTION TO THE RADIATION PROTECTION. **Radiation Protection Dosimetry**, 8 set. 2014. 1-9.

MASILI, M.; VENTURA, L. Equivalence between solar irradiance and solar simulators in aging tests of sunglasses, 2015.

MIKEGRUSIN. TSL2561 Luminosity Sensor Hookup Guide. **Sparkfun Tutorials**, 2015. Disponível em: <<https://learn.sparkfun.com/tutorials/tsl2561-luminosity-sensor-hookup-guide/all>>. Acesso em: 16 mar. 2015.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. Saúde. Segurança e Meio Ambiente (SMS) na Soldagem. **Site da Soldagem**, 2014. Disponível em: <<http://www.sitedasoldagem.com.br/sms/>>. Acesso em: 18 mar. 2015.

NBR15111:2013. **Proteção pessoal dos olhos - Óculos de sol e filtros de proteção contra raios solares para uso geral**. [S.l.]: [s.n.], 2013.

OPTICANET. Mercado óptico crescerá 100% em cinco anos, aponta estudo. **Óptica no Brasil**, 2013. Disponível em: <<http://www.opticanet.com.br/secao/opticanobrasil/6816/mercado-optico-crescera-100-em-cinco-anos-aponta-estudo.aspx>>. Acesso em: 19 mar. 2015.

RREDC. What influences the amount of solar radiation? **Shining on**, 2015. Disponível em: <<http://rredc.nrel.gov/solar/pubs/shining/chap3.html>>. Acesso em: 18 mar. 2015.

SASIENI, L. S. **The Principles and Practice of Optical Dispensing and Fitting**. [S.l.]: Hammond, 1962. Disponível em: <<http://books.google.com.br/books?id=ctPNSAAACAAJ>>.

SCHCOLNICOV, B. **Elementos de Óptica Oftálmica**. 3a edição. ed. [S.l.]: Ed. Universitária Macchi Hnos, v. Cap. XVI, p. 535-536, 1990.

SFUPTOWNMAKER. I2C. **Sparkfun Tutorials**, 2015. Disponível em: <<https://learn.sparkfun.com/tutorials/i2c>>. Acesso em: 15 mar. 2015.

SGLUX. UV SENSOR "UV-Cosine" Waterproof UV Sensor for outdoor use. **sflux**, 2013. Disponível em: <http://www.sglux.com/uploads/tx_ttproducts/datasheet/UV-Sensor_UV-Cosine.pdf>. Acesso em: 13 mar. 2015.

SHARP. GP2Y1010AU0F Compact Optical Dust Sensor. **Sparkfun**, 2015. Disponível em: <<https://www.sparkfun.com/products/9689>>. Acesso em: 16 mar. 2015.

SLINEY, D. H. Physical factors in catarctogenesis: ambient ultraviolet radiation and temperature. **Invest Ophthalmol Vis Sci**, 1986. 27:781-790.

SLINEY, D. H. Estimating the solar ultraviolet radiation exposure to an intraocular lens implant. **J Cataract Refract Surg**, 1987. 296-301.

SLINEY, D. H.; WOLBARSH, M. **Safety with lasers and other optical sources**. New York: Plenum Press, 1980. 102-105 p.

TEXAS INSTRUMENTS INCORPORATED. CD4049UB, CD4050B. **Datasheet**, 2004. Disponível em: <<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/cd4050b.pdf>>. Acesso em: 15 mar. 2015.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. Global Solar UV Index: A Practical Guide, 2002.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. What is the difference between UVA, UVB and UVC? **Ultraviolet radiation and the INTERSUN Programme**, 2015. Disponível em: <<http://www.who.int/uv/faq/whatisuv/en/index2.html>>. Acesso em: 18 mar. 2015.

WIKIPEDIA. Serial Peripheral Interface Bus. **Wikipedia, The Free Encyclopedia**, 2015. Disponível em: <http://en.wikipedia.org/wiki/Serial_Peripheral_Interface_Bus>. Acesso em: 14 mar. 2015.

Z80.3-2009, A. **Ophthalmics - Nonprescription Sunglass and Fashion Eyewear Requirements - American National**. [S.l.]: [s.n.], 2009.

APÊNDICE A – Esquemáticos dos Circuitos Eletrônicos

Circuito transmissor dos dados do sensor de IUV

Circuito da placa de potência e controle dos motores – conectores

Circuito da placa de potência e controle dos motores – reguladores de tensão

Circuito da placa de potência e controle dos motores – *Drivers dos motores*

Circuito da placa de monitoramento dos sensores

Circuito da placa do painel de controle