

Análise do efeito da exposição solar natural e simulada em lentes de óculos de sol: um estudo sobre a degradação dos materiais

Analysis of the effect of natural and simulated sun exposure on sunglasses lenses: a study on materials degradation

Leonardo M. Gomes¹, Mauro Masili¹, Liliane Ventura¹

¹Laboratório de Instrumentação Oftálmica, Departamento de Engenharia Elétrica, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, Brasil.

Resumo

Este trabalho teve como objetivo investigar a degradação das lentes de óculos de sol após um curto período de exposição à radiação solar em duas diferentes condições. Um conjunto de 30 pares de lentes de óculos de sol foi testado, sendo que as lentes direitas foram expostas em uma estação automática de exposição solar, ou seja, em condições naturais, e as lentes esquerdas foram expostas em um simulador solar de acordo com os parâmetros da norma NBR ISO 12312-1:2015. Na estação solar, o tempo total de exposição foi de 115 h e no simulador solar, de 100 h. Medidas de espectroscopia das lentes foram feitas antes e depois do período de exposição para cada experimento, e por meio destas medidas foram calculadas as transmitâncias UV, Visível e Infravermelho (IR) das lentes, além da dose de radiação UV eritêmica acumulada para os dois casos. O tempo de exposição não foi suficiente para causar degradação nas lentes, porém foi possível verificar algumas características, como diferenças entre as lentes de um mesmo modelo, e diferenças entre as condições dos experimentos que podem influenciar os resultados futuros e a degradação das lentes.

Palavras-chave: óculos de sol; radiação UV; degradação dos materiais; exposição solar.

Abstract

This work aimed to investigate the degradation of sunglasses lenses after a short period of exposure to solar radiation in two different ones. A set of 30 pairs of sunglasses lenses was tested, and the right lenses were exposed in an automatic sun exposure station, i.e. under natural conditions, and the left lenses were exposed in a solar simulator according to the parameters of the standard. In the solar station, the total exposure time was 115 h and in the solar simulator, 100 h. Lens spectroscopy measurements were taken before and after the exposure period for each experiment, and the UV, Visible and Infrared (IR) transmittances of the lenses were calculated by means of these measures, in addition to the accumulated erythemal UV radiation dose for both conditions. Exposure time was not sufficient to cause degradation of the lenses, but it was possible to verify some characteristics, such as differences between lenses of the same model, and differences between the conditions of the experiments that may influence the future results and the degradation of the lenses.

Keywords: sunglasses; UV radiation; material degradation; sun exposure.

1. Introdução

De acordo com a norma NBR ISO 12312-1:2015¹, os óculos de sol devem possuir proteção contra a radiação ultravioleta (UV). A proteção UV é relacionada ao grau de escurecimento das lentes, isto é, quanto mais escura a lente, maior deve ser sua proteção, e o grau de escurecimento é relacionada à característica de transmitância luminosa da lente. A hipótese de que a proteção UV nas lentes de óculos de sol se degrada a partir de longos períodos de exposição nunca foi testada experimentalmente, muito embora existam estudos relacionados à degradação de materiais poliméricos em condições naturais e sobre a resistência mecânica de lentes após curtos períodos de exposição².

Estudos mostram que o tempo de uso de um mesmo par de óculos de sol pela população brasileira é de aproximadamente 2 anos³. Embora exista um teste na norma que possui objetivo de verificar a degradação das lentes, o chamado teste de resistência à radiação^{1,4}, estudos teóricos mostram

que este teste pode ser ineficaz na determinação da proteção UV das lentes⁵.

Este trabalho tem como objetivo comparar a transmitância de um conjunto de lentes antes e após um período de exposição solar em duas condições diferentes: em uma estação automática de exposição e em um simulador solar.

2. Materiais e Métodos

Para que o experimento fosse realizado, foram utilizados o sistema de exposição automática das lentes de óculos de sol⁶, que foi desenvolvido pela equipe do laboratório, e também o simulador solar⁷. Antes e após o período de exposição, as lentes foram medidas em um espectrofotômetro Varian Cary-5000.

2.1. Exposição na estação solar

Um conjunto de 60 lentes foi instalado em painéis de acrílico, que por sua vez, são instalados em uma estrutura metálica com trilhos. O sistema de controle da estação de exposição automática é responsável por controlar a abertura e o fechamento de uma

estrutura que protege ou expõe as lentes. Sensores de condições climáticas são responsáveis por informar ao sistema as condições atuais (temperatura, umidade do ar, chuva e radiação UV), para que o sistema possa decidir, também baseado no horário atual e horários previstos para o nascer e pôr do sol, se as lentes devem ser expostas ou não. O controle é automático, mas também pode ser feito de maneira manual por um sistema online. Uma foto do sistema de exposição instalado na cobertura de um prédio, e uma imagem de seu painel de controle, são representados na Figura 1.

Figura 1 - Sistema automático de exposição, com sensores de intempéries e IUV, lentes e o sistema monitoramento remoto.



Fonte: O autor (2017).

A imagem transmitida em tempo real pela câmera IP instalada junto ao sistema é utilizada para auxiliar o monitoramento e controle manual do sistema em casos em que o controle automático falhe por algum motivo. Na Figura 2, é mostrada uma foto na qual duas condições para o fechamento do sistema e proteção das lentes acontecem: a chuva e o período sem sol. Nestas condições, não é desejável que as lentes sejam expostas pois devido à chuva pode ocorrer deposição de material particulado na lente, e assim atrapalhar a absorção da radiação solar pelas lentes, e durante as noites não há radiação solar de interesse (UV).

Figura 2 – Imagem da estação solar de exposição automática protegendo as lentes contra a chuva, e em período noturno.



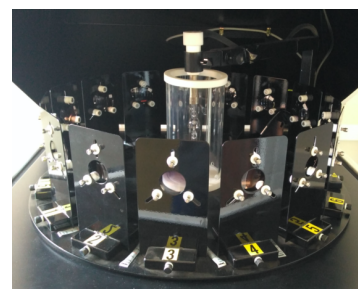
Fonte: O autor (2019).

As lentes de óculos de sol foram removidas de suas armações, foram furadas duas vezes em cada extremidade para que, com a ajuda de um elástico de tecido, fossem instaladas nos painéis de acrílico da estação. Foram instaladas 12 lentes por painel, que ficaram dispostas na posição vertical de modo que simulassem a situação real de uso por uma pessoa. As lentes foram expostas por um período de aproximadamente duas semanas, durante o mês de fevereiro de 2019, até que a soma total do período de exposição, que é calculada automaticamente pelo sistema de controle, fosse de 115 horas. Os dados dos sensores, assim como eventos do sistema, foram registrados em arquivos.

2.2. Exposição no simulador solar

A exposição das lentes no simulador solar foi feita utilizando um equipamento XENON-SUNTEST, da marca LEMA. Este simulador atende aos requisitos para o teste de resistência à radiação solar, da norma NBR ISO 12312-1:2015. O equipamento possui uma lâmpada de arco xenônio OFR de 450 W, alimentada por uma corrente elétrica estabilizada de 25 A e possui espectro de emissão solar que se aproxima do padrão D65. No teste descrito na norma, as lentes devem ser expostas a uma distância de 300 mm da lâmpada, por um período de 50 h. Em cada ciclo de exposição, pode ser exposto um total de 15 lentes, e, portanto, realizamos 2 ciclos de exposição para cada um dos dois conjuntos de 15 lentes direitas, somando um total de 100 horas de exposição para cada amostra (Figura 3).

Figura 3 – Simulador solar (superior) e lentes dispostas em volta da lâmpada para o experimento de exposição (inferior).

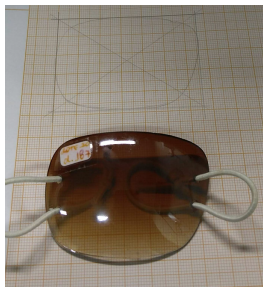


Fonte: O autor (2019).

2.3. Medidas no Espectrofotômetro

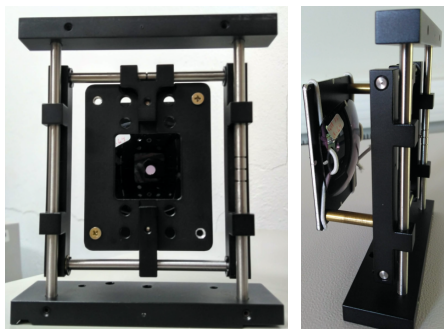
Após o período de exposição de 115 horas na estação solar e de 100 horas no simulador solar, as lentes tiveram seu espectro de transmitância medido em um espectrofotômetro. Foram feitas medidas no intervalo de 280 nm até 2000 nm, com passo de 5 nm (como descrito no teste da norma), e nesse intervalo foram medidas as faixas de transmitância no UV (280 – 380 nm), visível (380 – 780 nm) e IR (780 – 2000 nm). Para que houvesse um padrão de posicionamento para medir a transmitância, as lentes tiveram seu centro geométrico marcado com o auxílio de um papel milimetrado (Figura 4). Foi feito o contorno de cada lente neste papel, e em seguida foram traçadas retas para determinar o centro. Cada lente foi posicionada sobre seu gabarito, e com a ajuda de um palito e pasta de dente, foram marcados o centro de cada borda. Essa marcação é importante para o caso das lentes dégradé, pois uma mudança no posicionamento da lente no suporte usado para a medição (Figura 5), com relação às medidas anteriores e posteriores aos ciclos de exposição solar, pode influenciar no espectro de transmitância resultante e assim causar erros na comparação das transmitâncias calculadas.

Figura 4 – Desenho no papel milimetrado para auxílio da marcação do centro geométrico das lentes.



Fonte: O autor (2019).

Figura 5 – Suporte para posicionamento da lente na medida do espectrofotômetro.



Fonte: O autor (2019).

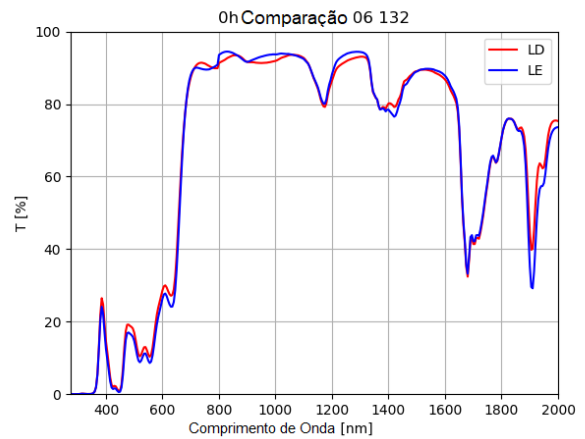
3. Resultados

Após as medidas de espectrofotometria da transmitância das lentes expostas nos dois sistemas, algumas análises puderam ser feitas a respeito das características das lentes antes e após a exposição.

3.1. Lentes de um mesmo modelo de óculos

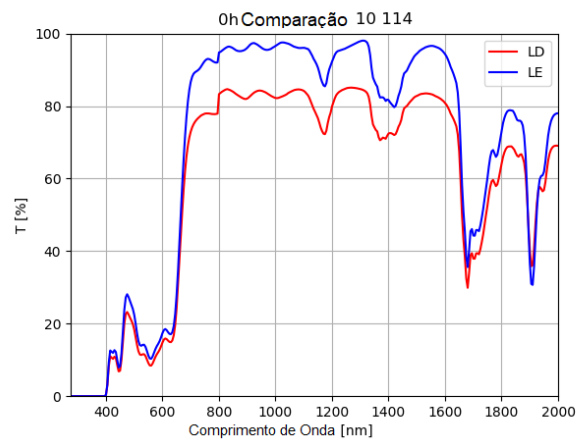
Nas Figuras 6 e 7, são mostrados o espectro de transmitância para dois pares de lentes do conjunto de 30 pares. São comparados os espectros na faixa de 280 nm a 2000 nm das lentes direita e esquerda de um mesmo modelo, no período anterior à exposição solar. Para a lente direita 06 132, os valores de transmitância foram $\tau_V = 17,56\%$, $\tau_{SUV} = 1,26\%$ e $\tau_{SIR} = 88,78\%$, enquanto que para a lente esquerda $\tau_V = 15,45\%$, $\tau_{SUV} = 1,18\%$ e $\tau_{SIR} = 89,75\%$. Para a lente direita 10 114, $\tau_V = 12,81\%$, $\tau_{SUV} = 0\%$ e $\tau_{SIR} = 80,52\%$, e para a lente esquerda $\tau_V = 15,39\%$, $\tau_{SUV} = 0\%$ e $\tau_{SIR} = 92,94\%$.

Figura 6 – Espectro de Transmitância para a condição inicial da lente 06 132. LD (lente direita) e LE (lente esquerda).



Fonte: O autor (2019).

Figura 7 – Espectro de Transmitância para a condição inicial da lente 10 114. LD (lente direita) e LE (lente esquerda).

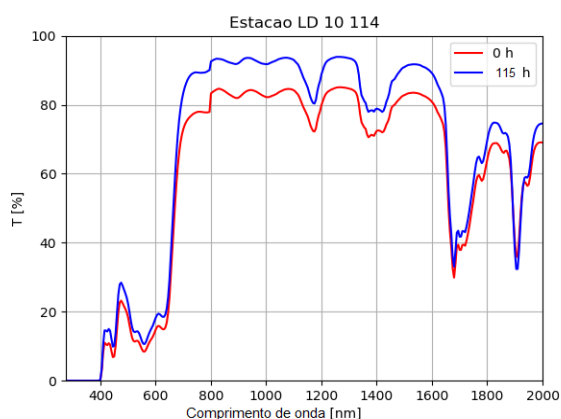


Fonte: O autor (2019).

3.2. Exposição na estação solar

Na Figura 8 é feita a comparação do espectro de transmitância para uma lente antes e após o período de exposição de 115 h na estação solar (aproximadamente 2 semanas chuvosas). O comportamento de aumento da transmitância para toda a faixa do espectro não foi observado para todas as amostras, sendo que em algumas amostras foi observada a diminuição da transmitância. Esse aumento foi menor do que 2% do valor absoluto de τ_V e τ_{SUV} .

Figura 8 – Comparação do espectro de transmitância da lente direita 10 114 para a condição anterior e posterior à exposição de 115 h na estação solar.

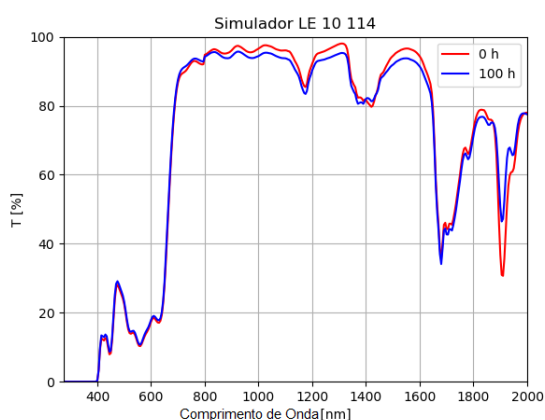


Fonte: O autor (2019).

3.3. Exposição no simulador solar

Na Figura 9 é apresentado o espectro de transmitância para uma lente antes e após o período de exposição de 100 h no simulador solar. A mesma condição de exposição na estação solar pode ser feita no simulador, embora para essa lente especificamente, tenha sido medida uma diferença menor de transmitância na faixa IR.

Figura 9 – Comparação do espectro de transmitância da lente esquerda 10 114 para a condição anterior e posterior à exposição de 100 h no simulador solar.



Fonte: O autor (2019).

3.5. Cálculo da Irradiância Eritêmica e Dose UV.

Um parâmetro importante no estudo da degradação das lentes de óculos de sol e comparação entre os tipos de exposição (estação e simulador solar) é a Dose de Radiação UV (RUV) Eritêmica. Este valor é calculado por meio da irradiância eritêmica, que é calculada pela conversão dos valores registrados de IUV em unidades de mW/m^2 ^{8,9}. O cálculo do valor acumulado da dose servirá de referência tanto para a exposição na estação solar, quanto para o simulador solar, pois poderá ser feito o cálculo da quantidade de radiação que causa alterações nas transmitâncias das lentes.

Para o cálculo da dose de RUV na estação solar, foram usados os arquivos com registro do sensor UV e o registro de funcionamento da estação com

3.4. Transmitâncias Visível, UV e IR.

As transmitâncias Visível (τ_V), UV (τ_{SUV}) e IR (τ_{SIR}) foram calculadas para todas as amostras antes e depois da exposição na estação e no simulador solar. Foi calculada a diferença de transmitância relativa das lentes após a exposição com relação às suas condições antes da exposição. A característica de variação das transmitâncias é apresentada na Tabela 1, para a exposição solar, e na Tabela 2 para a exposição no simulador solar. Os cálculos foram feitos de acordo com as equações apresentadas na norma ISO 12311:2013⁴. Embora a transmitância tenha variado para as duas condições de exposição, em ambos os casos essa diferença (aumento ou diminuição) da transmitância não foi maior do que 2% para τ_V e τ_{SUV} . O valor de τ_{SIR} se mostrou mais sensível ao processo de medição do que as outras transmitâncias, e isso está relacionado com o posicionamento das amostras no aparato de medição, e não à degradação pela radiação propriamente dita. Este fato, de a degradação ainda não causar efeitos perceptíveis nas transmitâncias fica evidenciado pelo fato de não haver uma tendência de variação da transmitância clara em todas as amostras (só aumentar).

Tabela 1 – Alteração da transmitância das lentes após 115 h na estação solar

Condição	τ_V	τ_{SUV}	τ_{SIR}
Aumentou	11	6	5
Diminuiu	19	10	25
Inalterada	0	14	0

Fonte: O autor (2019).

Tabela 2 – Alteração da transmitância das lentes após 100 h no simulador solar

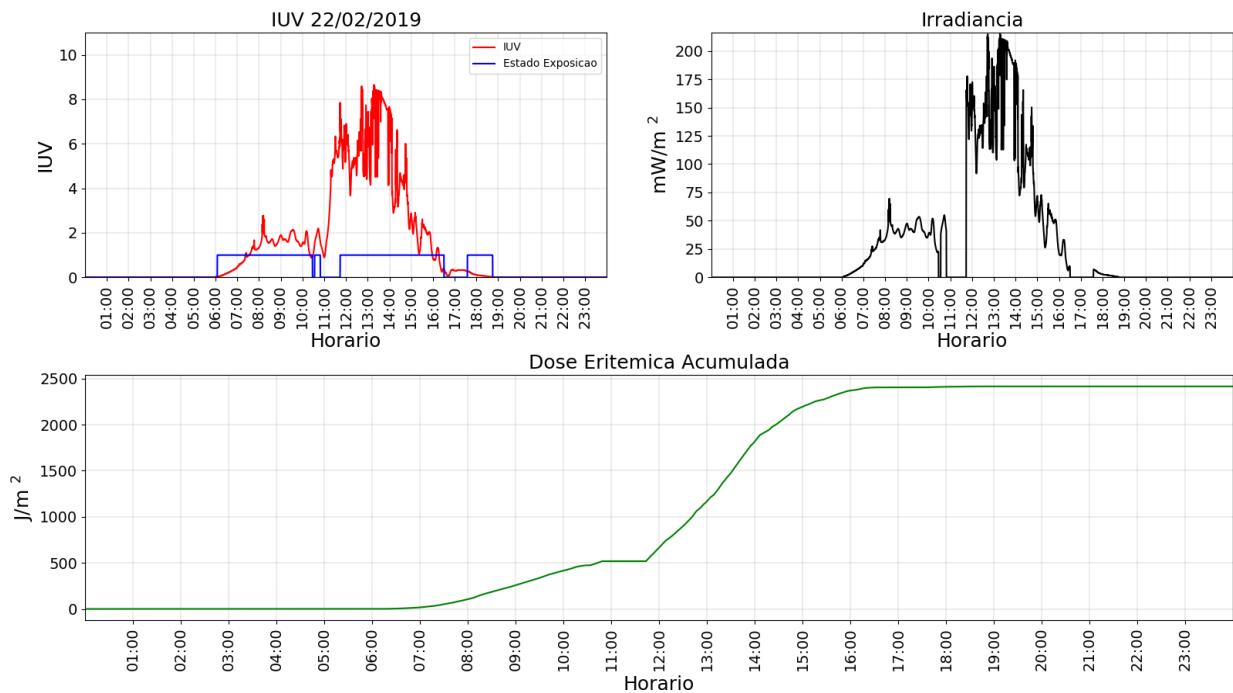
Condição	τ_V	τ_{SUV}	τ_{SIR}
Aumentou	20	11	14
Diminuiu	10	4	16
Inalterada	0	15	0

Fonte: O autor (2019).

registro dos horários de abertura e fechamento, ou seja, duração das exposições diárias.

Na Figura 10 são mostrados os gráficos do IUV para o dia 22/02/2019 e nos períodos de abertura e fechamento da estação (nível alto em azul). É apresentada a irradiância eritêmica calculada a partir do IUV e a dose acumulada no dia. Para a exposição no simulador solar, foi calculado o IUV correspondente aos parâmetros da lâmpada e distância entre lâmpada e lentes. Para o cálculo do IUV, foi utilizado o espectro de emissão da lâmpada do simulador solar, fornecido pelo fabricante, e o espectro foi ponderado com a curva eritêmica. Após esse cálculo, que é equivalente a um IUV constante durante todo o ciclo de exposição, 100 horas, foi calculada a Dose Eritêmica equivalente.

Figura 10 – Representação do IUV para o dia 22/02/2019, em que ocorria a exposição das lentes na estação solar; Irradiância eritêmica calculada por meio dos valores registrados de IUV e a Dose de RUV Eritêmica acumulada durante esse dia.



Fonte: O autor (2019).

4. Discussão

Na comparação das lentes direita e esquerda de um mesmo modelo de óculos de sol, podem ocorrer diferenças menores ou maiores no espectro de transmitância, como mostrado nas Figuras 6 e 7 respectivamente. Em tese, o espectro de transmitância de ambas lentes de um mesmo par de óculos de sol deveria ser o mais próximo possível, porém diferenças podem ocorrer na fabricação. No caso das lentes dégradés, os valores do espectro de transmitância são muito sensíveis à posição que a lente é colocada no suporte e é feita a medida, e por isso deve-se sempre tentar posicionar com referência no centro geométrico da lente.

O espectro de transmitância da lente direita 10 114 (Figura 8) apresentou valores superiores após a exposição por 115 horas na estação solar. A figura mostra que não há transmitância da região do UV (abaixo dos 400 nm), e após o cálculo dos valores das transmitâncias, observou-se um aumento de τ_V de 12,85% para 15,86%, e τ_{SIR} aumentou de 80,52% para 89,45%.

Para a mesma lente 10 114, porém o lado esquerdo, o espectro de transmitância é representado na Figura 9. Após a exposição por 100 horas no simulador solar, houve um aumento da τ_V de 15,39% para 16,02%, e uma diminuição da τ_{SIR} de 92,94% para 91,29%. Assim como no caso da lente direita, a lente esquerda não apresentava transmitância na faixa UV.

Ao se analisar a variação das transmitâncias de todo o conjunto de lentes para os dois experimentos de exposição solar (Tabelas 1 e 2), observou-se que após a exposição no simulador solar, houve uma

tendência de aumento tanto de τ_V quanto de τ_{SUV} . Foram marcadas como inalteradas as lentes que não apresentavam transmitância para a região do espectro especificada. No caso da exposição na estação solar, observou-se uma tendência na diminuição das três transmitâncias (Visível, UV e IR).

Após o processamento dos arquivos de registro dos sensores da estação e dos eventos da estação solar, foi possível o cálculo da dose de RUV acumulada para todo o período de exposição, que foi de 115,09 horas. O valor calculado da dose acumulada considerou os registros do sensor de IUV somente quando as lentes estavam sendo expostas ao Sol, e para o período de exposição analisado a dose foi de 29,465 kJ/m².

No simulador solar, foram calculadas também a dose de RUV eritêmica acumulada, pois futuramente este valor será usado para comparar os dois métodos de exposição solar. Considerando que a lâmpada UV e a distância das amostras até a lâmpada equivalem a um IUV constante de 2,787, para o ciclo de 100 horas o valor da dose foi de 25,082 kJ/m².

5. Conclusões

A análise da variação das transmitâncias das lentes de óculos de sol antes e após a exposição em dois sistemas diferentes (estação e simulador solar) faz parte de um trabalho em andamento. Espera-se observar uma tendência mais evidente conforme o período de exposição aumente nos dois sistemas, e com isso será evidenciada a degradação das lentes de óculos de sol.

Embora os valores das doses no período de exposição para os dois métodos tenham sido próximos, neste trabalho estamos comparando o

efeito da radiação para as lentes antes e depois em cada método de exposição, e não entre os métodos. Futuramente, o valor da dose será usado como critério de encerramento de exposição das lentes, e assim poderá ser feita uma comparação direta entre os dois métodos estudados: o simulador solar e a estação solar.

Agradecimentos

Este trabalho teve o apoio da FAPESP (2014/16938-0) e FAPESP (2018/16275-2).

Referências

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 12312-1: Proteção dos olhos e do rosto – óculos para proteção solar e óculos relacionados – parte 1: óculos para proteção solar para uso geral. Rio de Janeiro, 2015. 26 p.
2. Chou, BR; Dain, SJ; Cheng, BB. Effect of Ultraviolet Exposure on Impact Resistance of Ophthalmic Lenses. *Optometry and Vision Science: Volume 92 - Issue 12 - p 1154–1160*, 2015.
3. Masili, M., Schiabel, H., & Ventura, L. Contribution to The Radiation Protection. *Radiation Protection Dosimetry*, pp. 1-9, 2014.
4. INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION. ISO 12311: Personal protective equipment — Test methods for sunglasses and related eyewear, 2013.
5. Masili, M, Ventura, L. Equivalence between solar irradiance and solar simulators in aging tests of sunglasses. *Biomedical Engineering Online (Online)*, p. 86-98, n. 2016.
6. Gomes, LM; Masili, M; Momesso, GA; Silva, FM and Ventura, L. Solar exposure of sunglasses: aging test display, *Proc. SPIE 10474, Ophthalmic Technologies XXVIII, 104741N*, 2018.
7. LEMA. *Unit to determine the stability to UV radiation*. Fonte: LemaParma: <http://www.lemaparma.it/old/pdf/ottica.strumenti.controllo.xeno.n.suntest.pdf>, Acesso em 23/03/2019.
8. Paula Corrêa, M. Solar ultraviolet radiation: properties, characteristics and amounts observed in Brazil and South America. *An. Bras. Dermatol.* vol.90 no.3 Rio de Janeiro 2015.
9. Masili, M; Schiabel, H; Ventura, L. Cálculo da Irradiância e Exposição Radiante para a Radiação UV Solar: Contribuição Das Componentes Direta, Difusa e Refletida. *Anais do XXIV Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica – CBEB 2014, Uberlândia*, 2014.

Contato:

Autor Correspondente:
Profa. Dra. Liliane Ventura
Laboratório de Instrumentação Oftálmica
Departamento de Engenharia Elétrica e Computação
EESC- Universidade de São Paulo, São Carlos, Brasil.
Av. Trab. São Carlense 400 – Pq. Arnold Schmidt
CEP 13566-590 – São Carlos – SP – Brasil.
E-mail: lilianeventura@usp.br

Leonardo Mariano Gomes
Laboratório de Instrumentação Oftálmica
Departamento de Engenharia Elétrica e Computação
EESC- Universidade de São Paulo, São Carlos, Brasil.
Av. Trab. São Carlense 400 – Pq. Arnold Schmidt
CEP 13566-590 – São Carlos – SP – Brasil.
E-mail: leo.gomes@usp.br

Prof. Dr. Mauro Masili
Laboratório de Instrumentação Oftálmica
Departamento de Engenharia Elétrica e Computação
EESC- Universidade de São Paulo, São Carlos, Brasil.
Av. Trab. São Carlense 400 – Pq. Arnold Schmidt
CEP 13566-590 – São Carlos – SP – Brasil.
E-mail: masili@usp.br