

# CÁLCULO DA IRRADIÂNCIA E EXPOSIÇÃO RADIANTE PARA A RADIAÇÃO UV SOLAR: CONTRIBUIÇÃO DAS COMPONENTES DIRETA, DIFUSA E REFLETIDA

Mauro Masili\*, Homero Schiabel\* e Liliane Ventura\*

\*Escola de Engenharia de São Carlos-EESC/USP, São Carlos, Brasil.

e-mail: [masili@usp.br](mailto:masili@usp.br)

**Resumo:** A norma brasileira NBR15111:2004 normatiza os testes de qualidade dos filtros UV dos óculos escuros. Este trabalho tem como principal objetivo o cálculo da irradiância e da exposição radiante para o espectro UV (280 nm – 400 nm) da radiação solar, visando dar subsídios de proteção para óculos de sol. Resultados para a cidade de São Carlos (SP) são apresentados. Esses cálculos estão sendo estendidos para os 576 municípios brasileiros com população acima de 50 mil habitantes com o objetivo de ter-se um panorama das variações que ocorrem no território nacional.

**Palavras-chave:** Radiação UV solar, óculos de sol, NBR15111, irradiância, exposição radiante.

**Abstract:** *The Brazilian standard NBR15111:2004 regulates the quality tests of the UV filters of sunglasses. This work aims to calculate the irradiance and radiant exposure for the UV spectrum (280 nm – 400 nm) of solar radiation and provide protecting support for sunglasses. Results for the city of São Carlos (SP) are presented. These calculations are being extended to 576 cities with population over 50,000 inhabitants with the purpose of having an overview of the variation that occur in the country.*

**Keywords:** *Solar UV radiation, sunglasses, NBR15111, irradiance, radiant exposure.*

## Introdução

A exposição à radiação ultravioleta (UV - 280 nm – 400 nm) solar, acima de determinado limite, pode causar danos à saúde devido a um efeito cumulativo. Particularmente para o sistema ocular, esse efeito pode induzir patologias na córnea, catarata e retinopatias. Assim, são necessários meios que promovam a proteção contra a radiação UV que, para os olhos, é proporcionada pelos óculos escuros com filtro UV, sobretudo num país como o Brasil, de extensa área territorial e com alta irradiância solar. Portanto, as normas de proteção UV [1] devem ser observadas estritamente. Essas normas devem ser alicerçadas cientificamente para que possam garantir a precisão e confiabilidade necessárias, respeitando as particularidades do país e garantindo a proteção adequada.

Este trabalho tem como principal objetivo o cálculo da irradiância e da exposição radiante globais para o espectro UV da radiação solar, visando determinar a contribuição das componentes direta, difusa e refletida.

Esses resultados podem fornecer referências em relação à proteção que os óculos de sol devem fornecer à população.

A situação típica estudada é a de um indivíduo usando óculos de sol na posição vertical, exposto a condições atmosféricas de céu limpo (sem nuvens), estando em qualquer localidade do território nacional, a qualquer hora de qualquer dia do ano. Nessa situação, as lentes dos óculos de sol são consideradas planas. Deseja-se calcular a irradiância e a exposição radiante para essa superfície vertical, simulando-se o espectro da radiação solar por meio de um modelo atmosférico de transferência radiativa [2,3]. Será determinada a contribuição de cada componente da irradiância solar *global* sobre as lentes dos óculos, ou seja, as irradiâncias *direta*, *difusa* e *refletida*. A irradiância direta é devida ao feixe de raios solares que atingem as lentes; a difusa deve-se ao múltiplo espalhamento que ocorre na atmosfera e a refletida é resultado da reflexão pelo solo, aqui considerado como uma superfície de concreto.

## Materiais e Métodos

Para a faixa do UV, a irradiância solar global  $E(r,t)$  (em  $W/m^2$ ) para um determinado local e instante de tempo é calculada em termos da irradiância espectral  $E_\lambda(r,t)$  pela seguinte expressão:

$$E(\mathbf{r},t) = \int_{280\text{ nm}}^{400\text{ nm}} E_\lambda(\mathbf{r},t) d\lambda. \quad (1)$$

Aqui,  $\mathbf{r}$  representa as coordenadas espaciais, dadas pela latitude, longitude e altitude.  $E(\mathbf{r},t)$  é a soma das parcelas direta, difusa e refletida, i.e.,

$$E(\mathbf{r},t) = E_b(\mathbf{r},t,\theta_z) + E_d(\mathbf{r},t) + E_r(\mathbf{r},t). \quad (2)$$

A variável  $\theta_z(r,t)$  é o ângulo zenital do raio solar em função das coordenadas e do tempo.

A exposição radiante global  $H$  (em  $J/m^2$ ) sobre uma superfície vertical, é calculada pela integral no tempo da irradiância [Eq. (2)], ou seja,

$$H(\mathbf{r}) = \int_{t_1}^{t_2} \{E_b(\mathbf{r},t) \sin[\theta_z(\mathbf{r},t)] + E_d(\mathbf{r},t) + E_r(\mathbf{r},t)\} dt. \quad (3)$$

O grande desafio é obter-se a irradiância espectral ( $E_\lambda$ ) na superfície terrestre para a localidade desejada em qualquer tempo, uma vez que é inviável realizar medições em todo o território brasileiro, por suas dimensões. Assim, a irradiância espectral deve ser obtida utilizando-se um modelo atmosférico para as condições desejadas. Além disso, dados atmosféricos típicos, como coluna de ozônio, vapor de água e outros devem ser considerados para maior precisão do cálculo. Algumas modelagens do espectro solar na superfície da Terra existem na literatura para aplicações semi-quantitativas [4,5]. Neste trabalho, usou-se um modelo conhecido na literatura [2,3] devido ao fato de ter seu código aberto, permitindo que seja adaptado às condições locais de utilização. Além disso, esse modelo provou-se acurado quando comparado com modelos proprietários e sofisticados [6]. Assim, é possível aplicar a metodologia descrita acima para qualquer localidade, sem a necessidade de utilizar médias ou outras aproximações mais drásticas, o que acarretaria em erros consideráveis para um país de dimensões e variações climáticas como o Brasil.

## Resultados

Foram calculadas a irradiância UV e a exposição radiante para a cidade de São Carlos (SP), latitude  $-22^{\circ}01'03''$  S, longitude  $-47^{\circ}53'27''$  W e altitude 854 m. Considerou-se a irradiância do amanhecer ao ocaso. Como exemplo, a Figura 1 mostra o cálculo da irradiância para o dia 23/01/2014, escolhido por ser um dia típico de verão, para o qual há maior irradiância solar, com respectivo índice ultravioleta maior. A irradiância global é a soma das irradiâncias direta, difusa e refletida. Para este dia, a exposição radiante global é de  $1.55 \text{ MJ/m}^2$ , sendo a direta igual a  $0.71 \text{ MJ/m}^2$ , a difusa igual a  $0.54 \text{ MJ/m}^2$  e a refletida igual a  $0.30 \text{ MJ/m}^2$ . Calculando-se apenas para o período entre os dois picos, os novos valores são  $1.15 \text{ MJ/m}^2$ ,  $0.49 \text{ MJ/m}^2$ ,  $0.42 \text{ MJ/m}^2$  e  $0.24 \text{ MJ/m}^2$  respectivamente.

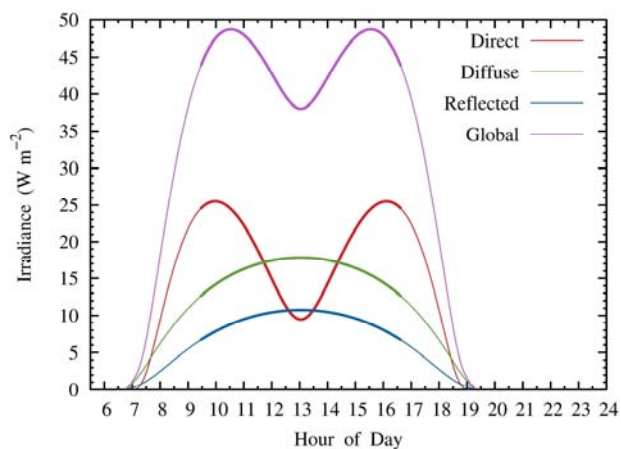


Figura 1: Irradiância solar global e suas componentes direta, difusa e refletida para a cidade de São Carlos, SP, em função do horário do dia 23/01/2014.

## Discussão

A Figura 1 mostra os resultados para a irradiância global [Eq. (2)] e suas componentes direta, difusa e refletida, para a cidade de São Carlos, SP, em função do horário do dia 23/01/2014. Observa-se que nos horários dos picos (manhã e tarde), a irradiância direta contribui com aproximadamente 50% da global. Ao meio-dia solar, essa contribuição cai para 25% já que as parcelas difusa e refletida contribuem mais devido ao sol estar próximo ao zênite, diminuindo a incidência direta. Ainda assim, para a irradiância global, os horários de pico para os olhos ocorrem no meio da manhã e no meio da tarde, ao contrário do que ocorre para a pele, cujo pior horário é entre 10h e 16h. Dessa forma, recomenda-se o uso dos óculos de sol com filtro UV para atividades externas, principalmente nos horários de pico para os olhos (10h e 16h). Esses horários de pico devem mudar ligeiramente ao longo do ano devido à mudança da trajetória aparente do sol.

A Figura 2 apresenta o gráfico da exposição radiante [Eq. (3)] calculada para todos os dias do ano de 2014.

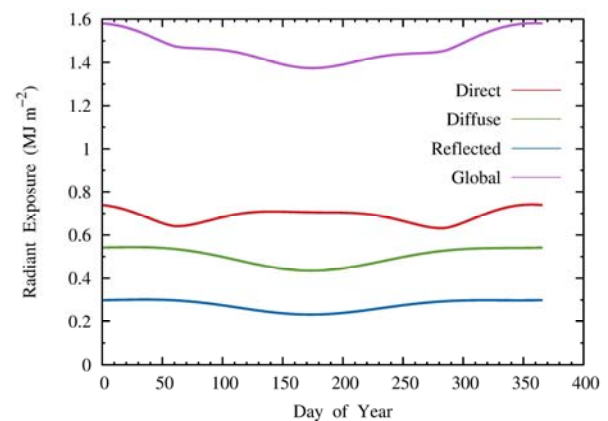


Figura 2: Exposição radiante global e suas componentes direta, difusa e refletida para a cidade de São Carlos, SP, para todos os dias do ano de 2014.

A exposição radiante mostra a densidade superficial de energia que atinge os óculos de sol em quando usados em posição vertical. Embora a exposição direta seja a mais importante, a Figura 2 mostra que as componentes difusa e refletida não são desprezíveis e desempenham papel importante que devem ser considerados em se tratando de proteção UV ocular.

## Conclusão

Os resultados apresentados mostram que os horários de maior incidência global de radiação ultravioleta nos olhos estão no meio da manhã e na metade da tarde, ou seja, por volta de 10h e 16h. Assim, o uso de óculos de sol nesses horários é mandatório, o que não exclui a recomendação de sempre usar os óculos de sol durante toda atividade externa.

Os cálculos estão sendo estendidos para os 576 municípios com população acima de 50 mil habitantes e para todos os dias do ano, com o objetivo de ter-se um

panorama das variações que ocorrem no Brasil. Esses resultados poderão ser utilizados em futuras revisões da norma brasileira para fabricação de óculos de sol, a NBR15111 [1].

### **Agradecimentos**

À FAPESP por meio dos projetos 2011/06079-2 (Liliane Ventura) e 2013/08038-7 (Mauro Masili).

### **Referências**

- [1] ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR15111:2004, Proteção pessoal dos olhos - Óculos de sol e filtros de proteção contra raios solares para uso geral; 2004.
- [2] C. Gueymard, SMARTS2, a simple model of the atmospheric radiative transfer of sunshine: Algorithms and performance assessment, Technical Report No. FSEC-PF-270-95. Florida Solar Energy Center; 1995.
- [3] C. Gueymard, Parameterized Transmittance Model for Direct Beam and Circumsolar Spectral Irradiance, Solar Energy, 71; 2001. p. 325.
- [4] H. L. Hoover and S. G. Marsaud, Calculating Solar Ultraviolet Irradiation of the Human Cornea and Corresponding Required Sunglass Lens Transmittances, Proc. SPIE 0601, Ophthalmic Optics, 140; 1986.
- [5] H. L. Hoover, Solar ultraviolet irradiation of human cornea, lens, and retina: equations of ocular irradiation, Appl. Optics 25(3); 1986. p. 359.
- [6] P. Koepke et al., Comparison of models used for UV index calculations, Photochem. Photobiol. 67; 1998. p. 657.