

## MEDIDAS DE RADIAÇÃO SOLAR ULTRAVIOLETA EM BELO HORIZONTE E SAÚDE PÚBLICA

Abel A. Silva

Recebido em 5 março, 2008 / Aceito em 25 novembro, 2008  
Received on March 5, 2008 / Accepted on November 25, 2008

**ABSTRACT.** The ultraviolet radiation (UVR) can benefit and harm human health with effects like vitamin D production and skin cancer incidence, respectively. Therefore, solar exposure has become a Public Health Care (PHC) affair. Recent discoveries on the UVR vs. human health relationship have challenged the PHC. In spite of that, Brazilian actions regarding such a matter are still in the beginning. In this work, erythematous dose measurements are presented as typical values for one of the densest Brazilian metropolitan areas. Monthly average daily values are  $5806 \pm 1168 \text{ J/m}^2$  (1 standard deviation, summer) and  $2509 \pm 346 \text{ J/m}^2$  (winter), whereas the solar-exposure time Caucasians need in order to get adequate vitamin D concentration is 5 and 10 min., respectively, at noon for sunny days.

**Keywords:** ultraviolet radiation, UV-Index, vitamin D, public health care.

**RESUMO.** A radiação ultravioleta (RUV) é responsável por diversos efeitos à saúde humana. Efeitos como a síntese da vitamina D e o câncer de pele. Por esta razão, a exposição à radiação solar é uma questão de saúde pública que vem sendo incrementada por descobertas recentes da ação da RUV no organismo humano. Apesar disso, ainda são poucas as ações preventivas à exposição excessiva ao Sol no Brasil. Neste artigo são apresentadas medidas de incidência de dose eritematosa num grande centro populacional da região sudeste, mostrando que a dose eritematosa diária média mensal pode variar de  $5806 \pm 1168 \text{ J/m}^2$  (1 desvio padrão) a  $2509 \pm 346 \text{ J/m}^2$  do verão ao inverno e sendo de 5 a 10 minutos o tempo típico de exposição ao Sol, ao meio-dia de um dia ensolarado, para que uma pessoa de pele clara adquira uma concentração adequada de vitamina D.

**Palavras-chave:** radiação ultravioleta, índice UV, vitamina D, saúde pública.

## INTRODUÇÃO

A radiação ultravioleta (RUV) presente na natureza terrestre desempenha um papel fundamental sobre a saúde humana, sendo a principal causa de malefícios como o câncer de pele e benefícios como a produção de vitamina D.

A RUV foi descoberta por J.W. Ritter em 1801 e desde o século XIX é sabido que ela produz efeitos sobre a saúde humana (Koller, 1965). Hoje ela é uma questão de saúde pública que em muitos países vem sendo tratada através de ações permanentes de reeducação de hábitos para redução da exposição ao Sol (WHO, 2002). No Brasil a questão ainda é tratada timidamente, muito embora o câncer de pele seja o tipo mais comum de câncer no país. O problema não é simples porque está relacionado a uma mudança da maneira como as pessoas lidam com o Sol. Estudos recentes indicam que a população brasileira se expõe de forma excessiva à radiação solar e que há, em geral, um desconhecimento dos riscos dessa exposição (Benvenuto-Andrade et al., 2005; Szklo et al., 2007). Efeitos da ação antropogênica na atmosfera (McKenzie et al., 2007), somados a avanços da década de 1990 no conhecimento sobre a ação da RUV no organismo humano, trouxeram novos desafios no âmbito da saúde pública – cite, em especial, uma possível atuação da vitamina D na prevenção de diversas doenças, além da sua já bem conhecida promoção da saúde do tecido ósseo. Assim, mesmo os países que se encontram num estágio mais avançado nesse tema estão tendo que rediscuti-lo (Diffey, 2006; Gillie, 2006).

Com o objetivo de contribuir no âmbito do cuidado à saúde das populações brasileiras, este artigo apresenta medidas de incidência de dose eritematosa em um centro populacional na região sudeste, caracterizando um conjunto de valores típicos para a região e de referência para outros trabalhos.

## METODOLOGIA

### Revisão teórica

A RUV é uma onda eletromagnética não-ionizante composta de três faixas: UVC de 100 a 280 nm, UVB de 280 a 320 nm e UVA de 320 a 400 nm. Ela representa menos de 9% da energia do espectro eletromagnético solar. A radiação solar é atenuada à medida que atravessa a atmosfera terrestre em direção ao solo. Cerca de 4% do que chega à superfície é RUV, composta aproximadamente de 96% de UVA e 4% de UVB. Em geral, o UVC não chega ao solo, sendo principalmente absorvido na estratosfera no processo de formação da camada de ozônio (Koller, 1965; INIRC, 1985).

Além de aumentar com a altitude a RUV varia também com fatores astronômicos e atmosféricos. Seu aumento com a eleva-

ção solar se manifesta na dependência da RUV com a latitude e a época do ano – a elevação solar é a distância angular do Sol até a linha do horizonte. A camada de ozônio (ozônio estratosférico) é o principal agente absorvedor de radiação UVB. A redução dessa camada, detectada a partir da década de 1980, trouxe o perigo do conseqüente aumento da incidência de RUV, principalmente para localidades em médias e altas latitudes (latitudes maiores que 30°) onde a redução foi maior (Malanca et al., 2005). Estima-se que para cada 1% de redução na camada de ozônio ocorra um pouco mais que 1% de aumento na dose eritematosa (Madronich, 1993). Estudos mostram que a redução na camada de ozônio da região equatorial até o extremo sul do Brasil foi de  $0,38 \pm 0,92\%$  ( $2\sigma$ ) a  $1,73 \pm 1,56\%$  por década, respectivamente, até o ano 2000 (Silva, 2007). Com a adoção e manutenção das metas de tratados como o de Montreal para o banimento de substâncias que agredem a camada de ozônio, acredita-se que por volta de meados deste século a camada estará restaurada aos níveis de 1970 (McKenzie et al., 2007). Por outro lado, cabe às nuvens o papel de principal agente atmosférico causador de variabilidade na incidência de RUV (Borkowski et al., 1977; McKenzie et al., 2007). Elas são mais transparentes à RUV do que à radiação visível (400 a 780 nm) significando que sua presença, mesmo cobrindo 100% do céu, não é uma garantia de níveis inofensivos de radiação (Seckmeyer et al., 1996). Os aerossóis e os gases traço emitidos por fontes naturais ou antropogênicas têm também uma importante atuação como atenuadores da RUV (Green et al., 1974; Silva, 2006). Por outro lado, o efeito albedo devido à reflexão da radiação na superfície do planeta pode aumentar de forma significativa a incidência de RUV nos corpos, principalmente em superfícies claras como a areia da praia ou espelhadas como os leitos d'água (Blumthaler & Ambach, 1988).

O Sol é a principal fonte de calor e RUV para a Terra. Contudo, o fato de o dia estar quente ou frio não significa que haja mais ou menos RUV: calor e RUV são coisas distintas. Apesar do importante papel desempenhando pelo Sol, algumas fontes artificiais podem produzir RUV com intensidade até maior que a dele. Entre essas fontes podem ser citadas as lâmpadas de iluminação de alguns ambientes (oficinas, estádios, estúdios e ruas), os arcos de solda, as lâmpadas das cabines de bronzeamento artificial e alguns tipos de *laser* (Koller, 1965; WHO, 1982). Lâmpadas fluorescentes ou incandescentes de uso doméstico não oferecem perigo no que se refere à emissão de RUV. Vale mencionar que estudos recentes comprovam a relação entre o uso de cabines de bronzeamento e males como o câncer e o envelhecimento precoce da pele (Gallagher et al., 2005; IARC WG, 2006).

Há uma longa lista de efeitos biológicos, agudos ou crônicos,

produzidos pela RUV em humanos (Godar, 2005). Os efeitos agudos surgem alguns minutos ou horas após uma exposição. Pode ser um benéfico como a produção de vitamina D, que resulta exclusivamente da exposição à radiação UVB, ou malefícios como eritema, bronzeado, imunossupressão, edema, danos à córnea, à retina e ao DNA resultantes da exposição excessiva à RUV. Os efeitos crônicos surgem em longo prazo na forma de doenças como o câncer de pele, a imunossupressão, o envelhecimento precoce da pele, a catarata e a degeneração da mácula. Eles resultam do acúmulo de dose de RUV ao longo dos anos em exposições que não necessariamente foram excessivas. Embora o UVB seja o principal causador desses malefícios, hoje se sabe que o UVA tem também uma importante contribuição.

De todos os efeitos produzidos pela exposição à RUV, o eritema é o mais simples, imediato e evidente. O seu aparecimento depende do tipo de pele e de quanta radiação ela recebeu. Uma classificação baseada principalmente no tipo de pele mostra a capacidade de alguém desenvolver um eritema e/ou bronzeado a partir de uma exposição à RUV (ICNIRP, 2004). Assim, 6 fototipos são definidos: (I) pele totalmente clara com sardas que sempre adquire um eritema (se queima) e nunca bronzeia, olhos e cabelos claros; (II) pele clara que queima facilmente e pode ficar suavemente bronzeada, cabelos claros; (III) pele morena clara, pode queimar, mas também bronzeia; (IV) pele morena escura, pode queimar, mas bronzeia facilmente; (V) pele negra, raramente queima, bronzeia facilmente e com profundidade; (VI) pele totalmente negra que nunca queima. Para quantificar o efeito de eritema produzido pela RUV, foi desenvolvido o espectro de ação eritematoso que fornece a resposta da pele tipo II, em termos de eritema, à radiação de comprimentos de onda de 280 a 400 nm (McKinlay & Diffey, 1987). A ponderação da quantidade de radiação incidente pelo espectro de ação eritematoso fornece a dose eritematosa (DE). É claro que tipos diferentes de pele precisam de valores diferentes de DE para produzir um eritema. O conceito de DE permitiu a criação de outras três importantes grandezas (Kullavanijaya & Lim, 2005): o fator de proteção UV (FPU) referente à redução da DE por um tecido sobre a pele; o fator de proteção solar (FPS) referente à redução da DE devido a algum agente químico aplicado sobre a pele como uma loção protetora solar; e o Índice UV (IUV) que é a razão entre a taxa de dose eritematosa (TDE) e  $0,025 \text{ W/m}^2$  arredondada para o número inteiro mais próximo. Embora o IUV seja uma escala sem limite superior, valores acima de 10 são representados pelo símbolo 11+ (WHO, 2002; Schmalwieser et al., 2007).

A exposição à RUV é a principal causa de câncer de pele. Esse malefício é em geral o mais temido dentre os efeitos da RUV

e pode ser dividido em duas categorias: Não-Melanoma (NM) e Melanoma (M). Segundo previsões do Instituto Nacional de Câncer (INCA, 2007), o câncer NM deve representar pelo menos 25% dos casos novos de câncer no Brasil em 2008. Contudo, essa neoplasia possui alto índice de cura completa quando diagnosticada e tratada de forma adequada. Os tipos mais comuns de câncer NM são o carcinoma basocelular (CBC) e o carcinoma epidermóide (CEP). Ambos são mais comuns em pessoas de pele clara, ocorrendo com maior frequência em regiões do corpo rotineiramente expostas ao Sol como face, braços, mãos, pescoço e áreas adjacentes (Christenson et al., 2005). A exposição crônica ao UVB é a principal causa do CEP via alteração do gene p53, enquanto o CBC depende parcialmente desse mesmo mecanismo (Sinha & Häder, 2002; Kullavanijaya & Lim, 2005; Benjamin et al., 2008). O câncer tipo M deve representar cerca de 1,3% dos casos novos de câncer em 2008. Com uma letalidade mais elevada que o NM, ele pode surgir em regiões do corpo que nunca foram expostas à luz solar, tendo uma relação mais complexa com a RUV. O que se sabe até agora é que o M é causado pela oxidação da melanina (o pigmento do bronzeado) a partir da incidência de UVB e UVA, em exposições intensas que podem resultar em queimadura de pele, principalmente se ocorridas na infância, e também do histórico familiar (Moan et al., 1999; Godar, 2005; Moon et al., 2005).

Até recentemente a vitamina D tinha seu papel de agente benéfico definido pela promoção da saúde do tecido ósseo, evitando o raquitismo na infância e a osteoporose na idade adulta (Tangpricha et al., 2004). Contudo, estudos epidemiológicos desencadearam uma torrente de novas investigações e debates em torno da possibilidade dessa vitamina atuar como um preventivo contra alguns tipos de câncer, esclerose múltipla, artrite, hipertensão, resistência à insulina e doenças periodontais (Berwick & Kesler, 2005; Moon et al., 2005; Ponsonby et al., 2005; Young & Walker, 2005). Além disso, pacientes com câncer tipo M que tiveram mais exposição ao Sol apresentam maior resistência à doença, o que se suspeita seja também um efeito de uma maior concentração de vitamina D no organismo. Ainda não há um estudo sistêmico que explique essas observações e comprove a eficácia da vitamina D (Ingraham et al., 2008). Contudo, isso sugere um tempo ideal de exposição à RUV que garanta os benefícios de uma concentração adequada de vitamina D no organismo e minimize os diversos malefícios provenientes da exposição crônica (Moon et al., 2005). É claro que esse tempo ideal é função da incidência local de RUV. A vitamina D é produzida a partir das pré-vitaminas D<sub>3</sub> e D<sub>2</sub> (Kullavanijaya & Lim, 2005; Ingraham et al., 2008). A produção da primeira é induzida

pela incidência de radiação UVB na pele e representa a principal fonte de vitamina D para o organismo. Ela pode ser obtida ainda pelo consumo de peixes oleosos contendo o ácido graxo ômega-3. A pré-vitamina D<sub>2</sub> é produzida em vegetais a partir também da incidência de RUV e só pode ser obtida por ingestão. Então, como o UVB é a principal fonte de vitamina D, a produção da mesma no corpo humano passa a depender dos mesmos fatores geográficos, astronômicos e atmosféricos que modulam a incidência dessa radiação. Assim, por exemplo, em latitudes superiores a 50° não há produção de vitamina D no organismo durante o inverno (Engelsen et al., 2005).

Com o intuito de proteger as populações humanas da RUV, criou-se o conceito de fotoproteção. Esse conceito representa o conjunto de procedimentos e aspectos relacionados com a racionalização da exposição à RUV para redução de seus efeitos nocivos (Kullavanijaya & Lim, 2005). A atuação de agentes ambientais, biológicos e artificiais presentes no dia-a-dia compõe a fotoproteção.

Há agentes no meio ambiente que atenuam a incidência de RUV. O ozônio, por exemplo, absorve fortemente o UVB. Já as nuvens espalham a RUV, muito embora haja situações em que a radiação que chega ao solo é amplificada por reflexão nas laterais de nuvens com grande desenvolvimento vertical (Sabburg & Parisi, 2006). Mesmo agentes poluidores como os aerossóis e os gases traço servem para atenuar a incidência de RUV. A sombra produzida pela copa das árvores associada à das edificações formam um importante fator de fotoproteção. Assim, sempre que possível deve-se procurar estar à sombra (Gies et al., 2007). Já a água de piscinas, cachoeiras, rios e mares, ao contrário do que muitos pensam, apenas atenua uma pequena parte da RUV, não proporcionando uma proteção segura para o banhista (Tedetti et al., 2007).

Embora alguns segmentos da sociedade vejam o bronzeador como um símbolo de beleza e, equivocadamente, de estilo de vida saudável, ele é antes de tudo uma reação do organismo tentando se proteger de uma exposição excessiva à RUV. Ele é produzido por um pigmento encontrado na pele chamado melanina cuja síntese é induzida pela RUV (Nielsen et al., 2006). Na verdade, a cor da pele é definida pela quantidade de melanina presente nela. A melanina atenua amplamente a RUV, refletindo-a ou transformando-a em calor. Por outro lado, a melanina oxidada pela radiação produz radicais livres que podem desenvolver tumores como o M, envelhecimento precoce da pele e imunossupressão. O organismo pode produzir algumas substâncias de ação antioxidante para combater esses radicais, mas em situações de exposição excessiva ele pode não ser capaz de produzi-

las em quantidade suficiente. Contudo, é possível aumentar a concentração dessas substâncias no organismo através da ingestão de alimentos de origem vegetal e animal (Moan et al., 1999; Kullavanijaya & Lim, 2005; Ingraham et al., 2008). Como consequência de uma menor concentração de melanina na pele, pessoas de cor clara têm maior facilidade de sintetizar vitamina D do que pessoas de cor negra (Berwick & Kesler, 2005; Young & Walker, 2005).

Há vários agentes artificiais que atuam como fotoprotetores. Roupas com capacidade apropriada de reter a RUV (FPU > 15) e que cubram partes tipicamente expostas como pescoço, braços e pernas. Chapéus com abas largas e amplas promovem a melhor proteção em relação aos demais modelos. O boné com aba frontal oferece a menor proteção, mas, infelizmente, é o mais usado em função da estética ditada pela moda, principalmente entre os jovens (Gies et al., 2006). Óculos com lentes escuras amplas e de boa qualidade, que impeçam o acesso da RUV ao olho em todas as direções, são essenciais na proteção dos olhos. Uma preocupação comum entre as pessoas é se o vidro das janelas blindas a RUV (Tuchinda et al., 2006). Em geral, o UVB é completamente retido pelo vidro das janelas de edificações e veículos. O pára-brisa dos veículos blindas cerca de 97% da RUV, enquanto os vidros laterais e traseiro blindam mais de 50% do UVA acima de 340 nm. A capacidade de blindar o UVA dos vidros de janelas das edificações depende do tipo e espessura do vidro que, em geral, blindas pelo menos 25% dessa radiação.

O uso de loções para pele com filtro solar (o protetor solar) nas partes expostas do corpo é amplamente divulgado como uma eficiente medida de fotoproteção. O FPS associado a essas loções mostra a redução da DE mediante o uso das mesmas. Assim, por exemplo, para um FPS igual a 8 a absorção de RUV pela pele cai para 12,5% (absorção UV = 100%/FPS). Contudo, a eficiência desses produtos é função direta da correta aplicação dos mesmos, o que quer dizer que eles devem ser aplicados alguns minutos antes da exposição e reaplicados periodicamente a cada 2 ou 3 horas de exposição na quantidade certa. A quantidade certa é 2 mg do produto para cada 1 cm<sup>2</sup> de pele (Kullavanijaya & Lim, 2005; Lautenschlager et al., 2007). Há alguns aspectos importantes sobre o protetor solar que devem enfatizados. O seu uso não deve ser visto como uma maneira de aumentar o tempo de exposição ao Sol, já que o objetivo é diminuir as exposições, além do fato de ele não absorver 100% da RUV incidente na pele. Por outro lado, o protetor solar reduz em até 95% a produção de vitamina D uma vez que ele absorve de forma eficiente a radiação UVB (Tangpricha et al., 2004).

A investigação atmosférica através de satélites tem criado um

amplo e diversificado banco de dados de parâmetros atmosféricos importantes para a determinação da incidência de RUV, dando apoio a diversas áreas como a da Saúde Pública. Dentre os experimentos com satélites destaca-se o *Ozone Monitoring Instrument* (OMI) voando a bordo do satélite Aura (Schoeberl et al., 2004). Nesse experimento, valores de coluna de ozônio (ozônio total) e de refletância, por exemplo, são obtidos das medidas de RUV solar retro-espalhada pela Terra – a refletância é o percentual de radiação de 360 nm refletida para o espaço pela superfície terrestre (solo e leitos d'água) e atmosfera (nuvens, vapor d'água e aerossóis) (Herman et al., 2001), sendo a cobertura de nuvens o principal aspecto atmosférico evidenciado pela refletância, tal que de um céu sem nuvens a totalmente encoberto esse parâmetro varia proporcionalmente de 8% a 80%.

### Medidas em laboratório

O Laboratório de Luz Ultravioleta (LLUV, [www.dfq.pucminas.br/PUV/index.html](http://www.dfq.pucminas.br/PUV/index.html)) realiza um trabalho de investigação da incidência de RUV solar e de sua relação com parâmetros atmosféricos como ozônio, nuvens e aerossóis. Através de um Biômetro Solar Light (SL, Solar Light Co., Inc., Glenside, PA) instalado em Belo Horizonte (19,92°S, 43,94°O, 858 m, 331 km<sup>2</sup>) no campus da Pontifícia Universidade de Minas Gerais (PUC Minas), a RUV solar ponderada pelo espectro de ação eritematoso (a dose eritematosa) vem sendo medida desde novembro de 2005 (Silva & Gabrich, 2007). Segundo Hülsen & Gröbner (2007), a incerteza nas medidas de um Biômetro bem mantido varia de 3,9% a 5,6% ( $1\sigma$ ). O Biômetro do LLUV é calibrado a cada 12 meses de uso e mantido de acordo com as recomendações do fabricante. O valor médio mensal de dose eritematosa diária (DED) para cada mês é calculado a partir das DED do mês, representando, assim, a dose típica ao dia. Também é registrado diariamente o valor da TDE máxima (TDE<sub>máx</sub>) e para cada mês toma-se da mesma forma o valor médio mensal dessa taxa. Os valores correspondentes aos meses de novembro de 2005 a agosto de 2006 mais setembro e outubro de 2007 são apresentados neste trabalho. No período de setembro de 2006 a agosto de 2007 o Biômetro foi enviado ao fabricante para calibração e depois aguardou a reforma das instalações do LLUV para voltar à torre de medição em setembro de 2007.

A região metropolitana de Belo Horizonte é a terceira maior do país com cerca de 4.600.000 habitantes (IBGE, 2007). Sua economia é voltada para a atividade comercial e industrial. Pode-se dizer que os hábitos diários e a percepção de sua população em relação à exposição ao Sol e seus efeitos são uma amostra

do que acontece geralmente nos demais grandes centros do país, salvo alguma diferença regional (Szklo et al., 2007).

### RESULTADOS

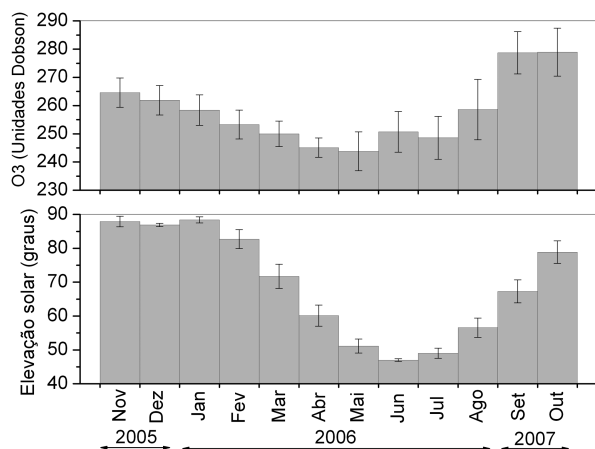
A Tabela 1 mostra os valores médios mensais típicos de DED e de TDE<sub>máx</sub> para Belo Horizonte, além dos valores de IUUV correspondentes a essa taxa. O valor médio mensal de DED variou de um máximo de  $5806 \pm 1168$  J/m<sup>2</sup> em janeiro a um mínimo de  $2509 \pm 346$  J/m<sup>2</sup> em junho.

**Tabela 1** – Valores médios mensais típicos de DED, TDE<sub>máx</sub> e IUUV<sub>máx</sub> em Belo Horizonte nos meses de novembro de 2005 a agosto de 2006 mais setembro e outubro de 2007.

Mês	DED (J/m <sup>2</sup> )*	TDE <sub>máx</sub> (W/m <sup>2</sup> )	IUUV <sub>máx</sub> **
Nov	4246 ± 1412	0,309 ± 0,087	11+
Dez	4836 ± 1409	0,325 ± 0,081	11+
Jan	5806 ± 1168	0,354 ± 0,042	11+
Fev	5427 ± 963	0,346 ± 0,045	11+
Mar	4324 ± 1030	0,328 ± 0,065	11+
Abr	3741 ± 679	0,263 ± 0,038	11+
Mai	3116 ± 429	0,196 ± 0,021	8
Jun	2509 ± 346	0,162 ± 0,011	6
Jul	2727 ± 329	0,164 ± 0,015	7
Ago	3324 ± 658	0,198 ± 0,021	8
Set	4158 ± 493	0,238 ± 0,022	10
Out	4615 ± 698	0,264 ± 0,025	11+

\* As incertezas correspondem a 1 desvio padrão (dp). \*\*Faixas de IUUV (WHO, 2002): baixa até 2; moderada de 3 a 5; alta de 6 a 7; muito alta de 8 a 10; extrema 11+.

Esses dois valores refletem a principal fonte de variabilidade na incidência de RUV que é a variação da elevação solar máxima diária ao longo dos meses. Além disso, a DE depende fortemente também do montante de ozônio na atmosfera. A Figura 1 mostra os valores médios mensais de elevação solar ao meio-dia e de coluna de ozônio (<http://avdc.gsfc.nasa.gov/index.php?site=1593048672&id=28>) em Belo Horizonte, evidenciando, qualitativamente, a influência de ambos nos valores médios mensais de DED da Tabela 1. Comparando, por exemplo, os valores correspondentes aos meses de setembro e outubro de 2007, se vê que a menor elevação solar no primeiro mês fez com que o valor médio mensal de DED fosse menor que o do segundo mês, já que os montantes médios mensais de coluna de ozônio foram praticamente idênticos.



**Figura 1** – Valores médios mensais de elevação solar ao meio-dia e de coluna de ozônio (O3) em Belo Horizonte no período investigado. Os valores médios de O3 foram calculados a partir dos valores diários fornecidos pelo experimento OMI. As incertezas correspondem a 1 dp.

A incerteza nos valores médios de DED para cada mês reflete a ação das nuvens, que são a segunda mais importante fonte de variabilidade na incidência de RUV, refletindo o aspecto meteorológico e climático da região. Mais precisamente, os maiores valores de incerteza ocorrem nos meses da estação das chuvas que vai de novembro a março, enquanto que os menores valores ocorrem nos meses de seca, de maio a setembro, quando a ocorrência de nuvens é menor. Uma análise quantitativa da relação entre DED, elevação solar e parâmetros atmosféricos obtidos por satélite, como a coluna de ozônio e a refletância, pode ser vista em Silva & Gabrich (2007).

Os valores médios mensais de  $TDE_{máx}$  e seus correspondentes  $IUV_{máx}$  mostram uma predominância da faixa de IUV extrema em 7 meses do ano, muito alta em 3, e alta nos 2 meses restantes. Contudo, é bom lembrar que os valores da Tabela 1 são médias mensais. A  $TDE_{máx}$  tem uma forte dependência com o efeito produzido pelas nuvens, especialmente o de amplificação. Assim, valores amplificados da ordem de  $0,478 \text{ W/m}^2$  têm sido registrados, contrastando com valores máximos para um céu sem nuvens que variam de cerca de  $0,350 \text{ W/m}^2$  no verão a  $0,175 \text{ W/m}^2$  no inverno. Os valores máximos de DED podem atingir a faixa de  $7500 \text{ J/m}^2$  no verão e  $3000 \text{ J/m}^2$  no inverno, enquanto que o montante total de DE nos 12 meses apresentados é de  $1482785 \text{ J/m}^2$ . Esse valor é similar aos  $1499000 \text{ J/m}^2$  encontrados por Roy et al. (1995) em 1991 para Alice Springs ( $23,70^\circ\text{S}$ ,  $133,87^\circ\text{L}$ ,  $608 \text{ m}$ , Austrália) cuja latitude, altitude e montantes de ozônio são similares aos de Belo Horizonte.

A faixa baixa de IUV – valores de IUV até 2 que não requerem nenhum cuidado, pelo menos em termos de eritema, numa exposição ao Sol – ocorre todos os dias durante algumas horas

após o Sol nascer e antes dele se pôr, além daqueles momentos em que uma grande cobertura de nuvens densas encobre o céu. Em Belo Horizonte a quantidade média de horas diurnas correspondendo à faixa baixa é de  $5,3 \pm 1,0 \text{ hr/dia}$  ( $1\sigma$ ). Embora esse valor represente diariamente um período de exposição segura, do ponto de vista de síntese da vitamina D ele é completamente inadequado, uma vez que nele a incidência de radiação UVB é mínima. Na verdade, a exposição ao Sol com o objetivo de obter boas concentrações de vitamina D deve ocorrer entre as 9 e as 16 horas (horário padrão). Isto parece contraditório, uma vez que esse é o horário mais perigoso em termos dos malefícios da radiação solar UV. Contudo, é justamente nele que se tem uma produção adequada da vitamina e, para ser mais preciso, alguns estudos já mostraram que é ao meio-dia, num cenário de céu sem nuvens, que se tem a maior produção de vitamina D no menor intervalo de tempo, resultando numa DE menor (Sayre & Dowdy, 2007). Para obter quantidades adequadas de vitamina D ( $\approx 75 \text{ nmol/l}$ ) (Ingraham et al., 2008) é necessário pouco tempo de exposição diária ao Sol, mesmo para pessoas de pele mais escura (Lehmann, 2005; Wolpowitz & Gilchrest, 2006; Kimlin et al., 2007). Uma pessoa com pele tipo II necessita de 2 ou 3 exposições por semana recebendo cerca de até  $105 \text{ J/m}^2$  de DE por vez para se manter na concentração adequada. E para isso basta expor apenas cerca de 18% do corpo, ou seja, face, braços e mãos. Em Belo Horizonte, ao meio-dia de um dia de verão sem nuvens, a  $TDE_{máx}$  está em torno de  $0,350 \text{ W/m}^2$ , enquanto que no inverno esse valor é de cerca de  $0,175 \text{ W/m}^2$ . Então, o tempo de exposição necessário seria de 5 e 10 minutos, respectivamente. Pessoas de pele mais escura (tipo IV) precisam de aproximadamente o dobro desse tempo (Berwick & Kesler, 2005). Para outros horários o tempo seria tanto maior quanto menor fosse a incidência de UVB. Contudo, esses valores indicam que para localidades brasileiras, em geral, é possível ter uma exposição saudável ao Sol sem maiores problemas. Isso poderia acontecer durante alguma atividade diária corriqueira onde, obviamente, as exposições ocorreriam sem a aplicação de filtro solar.

## CONCLUSÕES

Neste artigo foram apresentados valores típicos de DED e  $TDE_{máx}$  em Belo Horizonte para os meses do ano. Esses valores têm uma forte dependência com a climatologia local. Portanto, as suas médias mensais variam de um ano ao outro conforme variam os valores médios climatológicos afins, ou seja, cobertura de nuvens, coluna de ozônio e aerossóis em ordem decrescente de capacidade de provocar variabilidade na incidência de RUV. Além das diferenças geográficas e climatológicas, deve-se le-

var em conta, quando da extrapolação desses valores para outras localidades, o fato de que Belo Horizonte apresenta um montante considerável de fontes de poluentes atmosféricos.

Tipicamente o brasileiro se expõe muito ao Sol e recebe uma DE elevada. Isso se deve também às baixas latitudes em que o país se encontra: há uma ampla oferta de RUV solar no Brasil. Os valores médios mensais de DED em Belo Horizonte no período amostrado variaram de um máximo de  $5806 \pm 1168 \text{ J/m}^2$  em janeiro de 2006 a um mínimo de  $2509 \pm 346 \text{ J/m}^2$  em junho do mesmo ano. As  $TDE_{\text{máx}}$  médias mensais apresentaram, predominantemente, valores correspondentes à faixa extrema do IUV, o que significa que a exposição direta ao Sol deve ser evitada na maior parte dos meses do ano nos horários de maior incidência. Por outro lado, é graças a esses mesmos valores elevados de IUV que é possível se ter tempos curtos de exposição ao Sol para fins de síntese de vitamina D: para uma pessoa de pele tipo II o tempo típico é de 5 e 10 minutos no verão e inverno, respectivamente, ao meio-dia de um dia de céu sem nuvens.

## AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG, projeto CRA 25/2003), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq, projeto nº 471159/2004-2). Dedicado à memória de Rosa Mercez Silva.

## REFERÊNCIAS

- BENJAMIN CL, ULLRICH SE, KRIPKE ML & ANANTHASWAMY HN. 2008. P53 tumor suppressor gene: a critical molecular target for UV induction and prevention of skin cancer. *Photochem. Photobiol.*, 84: 55–62.
- BENVENUTO-ANDRADE C, ZEN B, FONSECA G, DE VILLA D & CESTARI T. 2005. Sun exposure and Sun protection habits among high-school adolescents in Porto Alegre, Brazil. *Photochem. Photobiol.*, 81: 630–635.
- BERWICK M & KESLER D. 2005. Ultraviolet radiation exposure, vitamin D, and cancer. *Photochem. Photobiol.*, 81: 1261–6.
- BLUMTHALER M & AMBACH W. 1988. Solar UVB-albedo of various surfaces. *Photochem. Photobiol.*, 48: 85–88.
- BORKOWSKI J, CHAI A-T, MO T & GREEN AEO. 1977. Cloud effects on middle ultraviolet global radiation. *Acta Geo. Polonica*, 25: 287–301.
- CHRISTENSON LJ, BORROWMAN TA, VACHON CM, TOLLEFSON MM, OTLEY CC, WEAVER AL & ROENIGK RK. 2005. Incidence of basal cell and squamous cell carcinomas in a population younger than 40 years. *JAMA*, 294: 681–690.
- DIFFEY B. 2006. Do we need a revised public health policy on sun exposure? *Br. J. Dermatol.*, 154: 1046–1051.
- ENGELSEN O, BRUSTAD M, AKSNES L & LUND E. 2005. Daily duration of vitamin D synthesis in human skin with relation to latitude, total ozone, altitude ground cover, aerosols and cloud thickness. *Photochem. Photobiol.*, 81: 1287–1290.
- GALLAGHER RP, SPINELLI JJ & LEE TK. 2005. Tanning beds, sun-lamps, and risk of cutaneous malignant melanoma. *Cancer Epidemiol. Biomarkers Prev.*, 14: 562–566.
- GIES P, JAVORNICZKY J, ROY C & HENDERSON S. 2006. Measurements of the UVR protection provided by hats used at school. *Photochem. Photobiol.* 82: 750–754.
- GIES P, ELIX R, LAWRY D, GARDNER J, HANCOCK T, COCKERELL S, ROY C, JAVORNICZKY J & HENDERSON S. 2007. Assessment of the UVR protection provided by different tree species. *Photochem. Photobiol.*, 83: 1465–1470.
- GILLIE O. 2006. A new government policy is needed for sunlight and vitamin D. *Br. J. Dermatol.*, 154: 1052–1061.
- GODAR DE. 2005. UV doses worldwide. *Photochem. Photobiol.*, 81: 736–749.
- GREEN AES, SAWADA T & SHETTLE EP. 1974. The middle ultraviolet reaching the ground. *Photochem. Photobiol.*, 19: 251–259.
- HERMAN JR, LARKO D, CELARIER E & ZIEMKE J. 2001. Changes in the Earth's UV reflectivity from the surface, clouds, and aerosols. *J. Geophys. Res.*, 106: 5353–5368.
- HÜLSEN G & GRÖBNER J. 2007. Characterization and calibration of ultraviolet broadband radiometers measuring erythemally weighted irradiance. *Appl. Opt.*, 46: 5877–5886.
- IARC WG (The International Agency for Research on Cancer Working Group on Artificial Ultraviolet (UV) Light and Skin Cancer). 2006. The association of use of sunbeds with cutaneous malignant melanoma and other skin cancers: a systematic review. *Int. J. Cancer*, 120: 1116–1122.
- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). 2007. Cidades@. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 4 out. 2007.
- ICNIRP (The International Commission on Non-ionizing Radiation Protection). 2004. Guidelines on limits of exposure to ultraviolet radiation of wavelengths between 180 nm and 400 nm (incoherent optical radiation). *Health. Phys.*, 87: 171–186.
- INCA (Instituto Nacional de Câncer). 2007. Estimativa 2008: incidência de câncer no Brasil. Rio de Janeiro: INCA. 94 p.
- INGRAHAM BA, BRAGDON B & NOHE A. 2008. Molecular basis of the potential of vitamin D to prevent cancer. *Curr. Med. Res. Opin.*, 24: 139–149.
- INIRC (International Non-Ionizing Radiation Committee). 1985. Review of concepts, quantities, units and terminology for non-ionizing radiation protection. *Health Phys.*, 49: 1329–1362.

- KIMLIN M, HARRISON S, NOWAK M, MOORE M, BRODIE A & LANG C. 2007. Does a high UV environment ensure adequate vitamin D status? *J. Photochem. Photobiol. B: Biol.*, 89: 139–147.
- KOLLER LR. 1965. *Ultraviolet radiation*. New York: John Wiley and Sons. 312 p.
- KULLAVANIJAYA P & LIM HW. 2005. Photoprotection. *J. Am. Acad. Dermatol.*, 52: 937–958.
- LAUTENSCHLAGER S, WULF HC & PITTELKOW MR. 2007. Photoprotection. *Lancet*, 370: 528–537.
- LEHMANN B. 2005. The vitamin D<sub>3</sub> pathway in human skin and its role for regulation of biological processes. *Photochem. Photobiol.*, 81: 1246–1251.
- MADRONICH S. 1993. UV radiation in the natural and perturbed atmosphere. In: TEVINI M (Ed.). *UV-B radiation and ozone depletion*. London: Lewis Publishers. p. 17–69.
- MALANCA FE, CANZIANI PO & ARGÜELO GA. 2005. Trends evolution of ozone between 1980 and 2000 at midlatitudes over the Southern Hemisphere: decadal differences in trends. *J. Geophys. Res.*, 110: D05102, doi:10.1029/2004JD004977.
- McKENZIE RL, AUCAMP PJ, BAIS AF, BJÖRN LO & ILYAS M. 2007. Changes in biologically-active ultraviolet radiation reaching the Earth's surface. *Photochem. Photobiol. Sci.*, 6: 218–231.
- McKINLAY AF & DIFFEY BL. 1987. A reference action spectrum for ultraviolet-induced erythema in human skin. *CIE J.*, 6: 17–22.
- MOAN J, DAHLBACK A & SETLOW RB. 1999. Epidemiological support for an hypothesis for melanoma induction indicating a role for UVA radiation. *Photochem. Photobiol.*, 70: 243–247.
- MOON SJ, FRYER AA & STRANGE RC. 2005. Ultraviolet radiation, vitamin D and risk of prostate cancer and other diseases. *Photochem. Photobiol.*, 81: 1252–1260.
- NIELSEN KP, ZHAO L, STAMNES JJ, STAMNES K & MOAN J. 2006. The importance of the depth distribution of melanin in skin for DNA protection and other photobiological processes. *J. Photochem. Photobiol. B: Biol.*, 82: 194–198.
- PONSONBY AL, LUCAS RM & VAN DER MEI IAF. 2005. UVR, vitamin D and three autoimmune diseases – multiple sclerosis, type 1 diabetes, rheumatoid arthritis. *Photochem. Photobiol.*, 81: 1267–1275.
- ROY CR, GIES HP & TOOMEY S. 1995. The solar UV radiation environment: Measurement techniques and results. *J. Photochem. Photobiol.*, 31: 21–27.
- SABBURG JM & PARISI AV. 2006. Spectral dependency of cloud enhanced UV irradiance. *Atmos. Res.*, 81: 206–214.
- SAYRE RM & DOWDY JC. 2007. Darkness at noon: sunscreens and vitamin D<sub>3</sub>. *Photochem. Photobiol.*, 83: 459–463.
- SCHMALWIESER AW, SCHAUBERGER G, ERBERTSEDER T, JANOUCH M, COETZEE GJR & WEIHS P. 2007. Sensitivity of erythemally effective UV irradiance and daily exposure to uncertainties in measured total ozone. *Photochem. Photobiol.*, 83: 433–443.
- SCHOEBERL MR, DOUGLASS AR, HILSEN RATH E, BHARTIA PK, BARNETT J, GILLE J, BEER R, GUNSON M, WATERS J, LEVELT PF & DECOLA P. 2004. Earth observing system missions benefit atmospheric research. *EOS*, 85: 177–184.
- SECKMEYER G, ERB R & ALBOLD A. 1996. Transmittance of a cloud is wavelength-dependent in the UV-range. *Geophys. Res. Lett.*, 23: 2753–2755.
- SILVA AA. 2006. Calmness of the aerosol layer in the atmosphere during biomass burning episodes. *J. Geophys. Res.*, 111: D11205, doi:10.1029/2005JD006530.
- SILVA AA. 2007. A quarter century of TOMS total column ozone measurements over Brazil. *J. Atmos. Solar-Terrestrial Phys.*, 69: 1447–1458.
- SILVA AA & GABRICH LLP. 2007. Seasonal erythemal UV doses in Belo Horizonte, Brazil. *Photochem. Photobiol.*, 83: 1197–1204.
- SINHA RP & HÄDER D-P. 2002. UV-induced DNA damage and repair: a review. *Photochem. Photobiol. Sci.*, 1: 225–236.
- SZKLO AS, ALMEIDA LM, FIGUEIREDO V, LOZANA JA, MENDONÇA GAS, MOURA L & SZKLO M. 2007. Comportamento relativo à exposição e proteção solar na população de 15 anos ou mais de 15 capitais brasileiras e Distrito Federal, 2002–2003. *Cad. Saúde Pública*, 23: 823–834.
- TANGPRICHA V, TURNER A, SPINA C, DECASTRO S, CHEN TC & HOLICK MF. 2004. Tanning is associated with optimal vitamin D status (serum 25-hydroxyvitamin D concentration) and higher bone mineral density. *Am. J. Clin. Nutr.*, 80: 1645–1649.
- TEDETTI M, SEMPÉRÉ R, VASILKOV A, CHARRIÈRE B, NÉRINE D, MILLER WL, KAWAMURA K & RAIMBAULT P. 2007. High penetration of ultraviolet radiation in the south east Pacific waters. *Geophys. Res. Lett.*, 34: L12610, doi:10.1029/2007GL029823.
- TUCHINDA C, SRIVANNABOON S & LIM HW. 2006. Photoprotection by window glass, automobile glass, and sunglasses. *J. Am. Acad. Dermatol.*, 54: 845–854.
- WHO (World Health Organization). 1982. *Lasers and optical radiation*. Geneva: WHO. 154 p.
- WHO (World Health Organization). 2002. *Global solar UV index: a practical guide*. Geneva: WHO. 28 p.
- WOLPOWITZ D & GILCHREST BA. 2006. The vitamin D questions: how much do you need and how should you get it? *J. Am. Acad. Dermatol.*, 54: 301–317.
- YOUNG AR & WALKER SL. 2005. Symposium-in-print. UV radiation and human health: an unfolding controversy. Introduction. *Photochem. Photobiol.*, 81: 1243–1245.



## NOTA SOBRE O AUTOR

**Abel Antônio da Silva.** Referenciado como SILVA AA. Bacharel em Física pela Universidade Federal de Minas Gerais em 1987, mestre em Ciências e Técnicas Nucleares pela Universidade Federal de Minas Gerais em 1991 e doutor em Geofísica Espacial pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais em 2001. Atualmente é pesquisador do Instituto de Estudos Avançados (IEAv) e professor adjunto da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC Minas) onde coordena o Laboratório de Luz Ultravioleta (LLUV, [www.dfq.pucminas.br/PUV/index.html](http://www.dfq.pucminas.br/PUV/index.html)). Atua nas áreas de Geofísica Espacial e Nuclear nos seguintes temas: instrumentação para medidas de radiação; radiações ionizantes e não-ionizantes, radiação atmosférica (radônio e seus descendentes, radiação solar ultravioleta); parâmetros geofísicos atmosféricos (ozônio, nuvens e aerossóis).