

Artigo

Avaliação e Análise da Série Temporal de Radiação UV Coletadas em Diferentes Cidades Peruanas

Ana Letícia Campos Yamamoto¹, Marcelo de Paula Corrêa¹ , Odón Roman Sánchez Ccoyllo²¹*Instituto de Recursos Naturais, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, MG, Brasil.*²*Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología Del Perú, Lima, Perú.*

Recebido em 4 de Julho de 2017 – Aceito em 19 de Abril de 2018

Resumo

Este estudo tem como objetivo validar e analisar um conjunto de medidas de radiação solar ultravioleta (RUV) coletadas em seis localidades do Peru, cujas altitudes variam do nível do mar a 4479 m. Esta análise envolveu a avaliação do índice ultravioleta (IUV) e das doses eritematosas diárias (D-Er). Para tanto, as séries foram comparadas com simulações do modelo de transferência radiativa TUV e amostras de RUV coletadas sob condições de céu claro. As equações de regressão apontaram coeficientes de determinação elevados ($R^2 > 0,91$), com alta significância estatística ($p < 0,0001$). Resultados mostraram que o recorde de IUV observado no Peru foi 23,5, registrado em Marcapomacocha (4479 m). Em relação às D-Er, destaca-se Arequipa com média de $7,9 \text{ kJm}^{-2}$ diários ($\pm 1,3 \text{ kJm}^{-2}$), no verão. A D-Er recorde foi observada em Cajamarca no outono, com valor de $14,3 \text{ kJm}^{-2}$. As doses diárias elevadas e o grande número de episódios de IUV muito altos e extremos evidenciam risco do desenvolvimento de doenças de pele relacionadas à exposição ao Sol, tal como o câncer de pele (CP). Por essa razão, este estudo fornece novos conhecimentos acerca da distribuição espaço-temporal da RUV no Peru, produzindo subsídios para políticas públicas de fotoproteção naquele país.

Palavras-chave: radiação solar ultravioleta, índice UV, altitude, Peru.

Validation and Analysis of UV Radiation Time Series Collected in Different Peruvian Sites

Abstract

We evaluate a set of ultraviolet solar radiation (UVR) measurements collected in six locations in Peru: Ica, Tacna, Moquegua, Arequipa, Cajamarca and Marcapomacocha, whose altitudes vary from sea level to 4479 m. The analysis involved the validation and analysis of the ultraviolet index (UVI) and the daily erythemal doses (D-Er). Clear-sky filtered data were compared with numerical simulations provided by the Tropospheric Ultraviolet and Visible (TUV) radiation model in order to estimate numerical regression equations. These equations showed high determination coefficients ($R^2 > 0.91$) statistical significance ($p < 0.0001$). Results show that the maximum UVI observed in Peru was 23.5 in Marcapomacocha (4479 m above sea level). Regarding D-Er, the highest means were observed in summer at the city of Arequipa with daily averages closer than 7.9 kJm^{-2} ($\pm 1.3 \text{ kJm}^{-2}$). However, the highest daily dose was observed in Cajamarca in the fall, with 14.3 kJm^{-2} . These large amounts of high D-Er and very high and extreme UVI episodes indicate an important risk to the development of solar-related skin diseases, as the skin cancers. Our analysis provides a new knowledge on the spatial and temporal UV distribution in Peru and an important tool to justify public policies for solar protection.

Keywords: ultraviolet solar radiation, UV index, altitude, Peru.

1. Introdução

A radiação ultravioleta (RUV) faz parte do espectro de radiação eletromagnética emitida pelo sol e é subdi-

vidida em três bandas, conforme recomendação da Comissão Internacional de Iluminação (*Commission Internationale de l'Éclairage - CIE*): UVC (100-280 nm), UVB (280-315 nm) e UVA (315-400 nm) (ICNIRP, 2004).

A RUV-C é completamente absorvida pelo ozônio e oxigênio presentes na alta atmosfera, não atingindo a superfície da Terra. A maior parte da RUV-B é absorvida pelo ozônio estratosférico, e aproximadamente 10% incide a superfície, suficiente para desencadear processos fotoquímicos e fotobiológicos relevantes (Berwick e Kesler, 2005; Kudish *et al.*, 2003). Já a RUV-A constitui a maior fração de RUV que atinge a superfície terrestre, sendo pouco absorvida pelos componentes atmosféricos (Lucas *et al.*, 2006). A radiação nessas bandas do espectro eletromagnético também sofre forte atenuação por espalhamento molecular, fenômeno que se intensifica quanto menor for o comprimento de onda.

O estudo da RUV é de fundamental importância, pois a exposição do ser humano às RUV-A e RUV-B é o principal fator desencadeador de queimaduras, cânceres de pele não-melanoma, doenças nos olhos, como a catarata e o pterígio, e da supressão do sistema imunológico (Walsh, 2009); por outro lado, também é responsável pela síntese de vitamina D, hormônio primordial para a saúde humana (Peters *et al.*, 2009).

Com o intuito de divulgar a quantidade de RUV ao público leigo, bem como pautar a adoção de medidas de proteção, pesquisadores canadenses elaboraram o Índice Ultravioleta (IUV) em 1992. Esse índice passou a ser adotado pela Organização Mundial de Saúde (OMS) como o padrão internacional no ano 2000. O IUV relaciona os fluxos de RUV biologicamente ativos que induzem a formação de eritema na pele humana, chamada de irradiância eritemática (WHO, 1994) e é apresentado como uma escala numérica adimensional, dividida em categorias relacionadas aos níveis de possíveis danos à saúde devidos à exposição: Baixo ($IUV < 2$); Moderado ($3 < IUV < 5$); alto ($6 < IUV < 7$); Muito Alto ($8 < IUV < 10$) e Extremo ($IUV > 11$) (WHO, 2002).

A irradiância eritemática descreve a dependência da radiação solar, entre 280 e 400 nm (RUV-A + RUV-B), ponderada pela resposta da pele humana para induzir um eritema (Corrêa e Pires, 2013). Para caracterizar os efeitos cumulativos da exposição solar, utiliza-se o conceito de dose eritematosa (Jm^{-2}), que representa a integração da irradiância eritemática em um intervalo de tempo (Corrêa, 2003; Silva, 2013). A recomendação internacional propõe que a dose diária de $108 Jm^{-2}$ seja suficiente para satisfazer as necessidades diárias de vitamina D, sem causar danos relativos aos efeitos nocivos da RUV (Moehrle *et al.*, 2003).

Ambas as radiações RUV-A e RUV-B que atingem a superfície da Terra dependem de fatores atmosféricos, que dizem respeito às interações que a RUV irá sofrer com gases, aerossóis e nuvens presentes na atmosfera (Calbó *et al.*, 2005); parâmetros temporais como a hora do dia e o dia do ano; e parâmetros geográficos, tais como latitude, longitude, refletância da superfície e altitude (Corrêa, 2015).

A altitude é um fator relevante para este estudo, pois a atenuação da RUV diminui com a altitude devido à diminuição da densidade de espalhadores de radiação, tais como gases e aerossóis, e, em menor grau, da redução do teor de ozônio na troposfera (Cabrol *et al.*, 2014). Estudos mostram que acima de 1000 m de altitude, os níveis de RUV aumentam entre 5 e 10% a cada quilômetro de altura (Rivas *et al.*, 2002; Zaratti *et al.*, 2003). Deste modo, os fluxos de RUV tendem a aumentar significativamente, aumentando o risco de desenvolvimento de enfermidades nas populações expostas a estas condições. Porém, segundo dados do Ministério da Saúde do Peru (MINSA), foram registrados apenas 5975 casos câncer de pele (CP) entre os anos de 2006 e 2010, representando 6,6% de todos os cânceres registrados no país (Ramos, 2012). Um número significativamente menor do que aqueles observados no Brasil, onde os casos de CP representam mais de 30% do total de cânceres diagnosticados (INCA, 2015). Essa discrepância pode se dever, principalmente, ao subdiagnóstico do número de casos de CP e à carência de políticas públicas de campanhas de detecção precoce e prevenção.

A preocupação com o aumento da incidência de cânceres de pele em populações de altitudes elevadas e as iniciativas para melhorias das condições de saúde pública peruana tem sido alvo de estudos recentes (Sordo e Gutiérrez, 2013). Neste sentido, este trabalho visa validar e avaliar um amplo conjunto de medidas de RUV coletadas em seis localidades do Peru: Ica, Tacna, Moquegua, Arequipa, Cajamarca e Marcapomacocha, cujas altitudes variam do nível do mar a 4479 m. O estudo consiste da análise da RUV em termos do IUV e das doses eritematosas diárias (D-Er); isto é, da quantidade acumulada de RUV potencialmente danosa à saúde humana acumulada durante o dia. Desta forma, oferecemos uma contribuição inédita da distribuição sazonal e geográfica dos fluxos de RUV em um país caracterizado por diferenças significativas de altitude.

2. Materiais e Métodos

2.1. Coleta dos dados – localização e instrumentação

Os dados foram coletados por biômetros do tipo Solar Light UVB 501 (<http://www.solarlight.com>), instalados em diferentes períodos entre os anos de 2005 e 2014, em seis cidades do território peruano, destacadas na Fig. 1 e na Tabela 1. O biômetro mede a RUV biologicamente ponderada através de um espectro de ação do eritema semelhante ao espectro proposto por McKinlay e Diffey (1987).

As localidades são relativamente próximas entre si, mas possuem características de tempo, clima, relevo e altitude distintas. Ica possui um clima desértico quente com estação chuvosa entre dezembro e março. Em Tacna o clima é seco, com estação chuvosa que se estende de junho a agosto. A cidade de Moquegua possui um clima temperado, com estação chuvosa entre dezembro a março. O clima de Arequipa é temperado e seco com período chuvoso

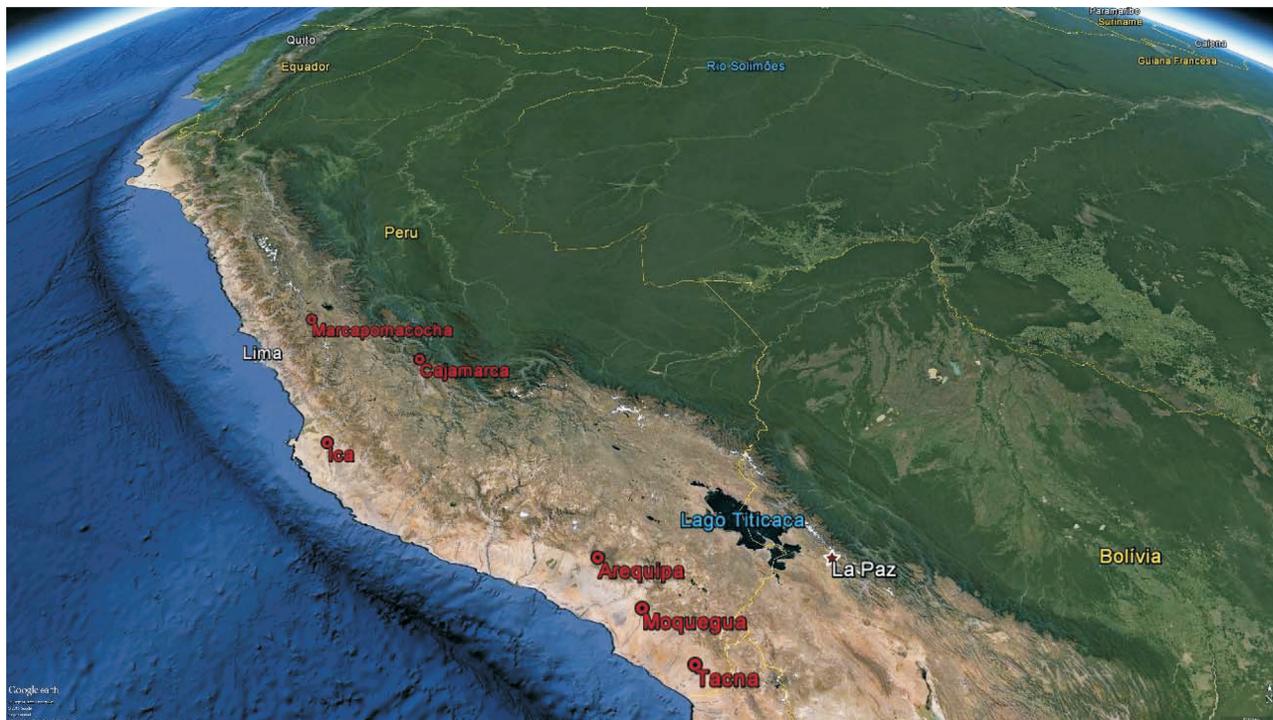


Figura 1 - Localização das cidades peruanas onde são realizadas medidas de RUV.

Tabela 1 - Dados geográficos e populacionais das localidades avaliadas.

Cidades	Latitude	Longitude	Altitude (m)	População
Ica	-14.7°	-75.73°	398	244.390
Tacna	-18.03°	-70.25°	545	293.116
Moquegua	-17.17°	-70.93°	1450	60.572
Arequipa	-16.40°	-71.52°	2400	869.351
Cajamarca	-7.17°	-78.48°	2660	226.031
Marcapomacocha	-11.40°	-76.32°	4479	1.267

Fonte: Instituto Nacional de Estatística e Informática (Peru) - INEI (2015).

so entre janeiro a março. Cajamarca também possui um clima temperado, o inverno é ameno e o verão quente e com período chuvoso entre setembro a maio. Por fim, Marcapomacocha, com um clima típico de tundra, onde mesmo nos meses mais quentes as temperaturas são baixas e cuja estação chuvosa ocorre entre os meses de agosto a maio (SENAMHI, 2013).

2.2. Tratamento dos dados de RUV

A primeira etapa do estudo consistiu da organização e avaliação das séries temporais analisadas. A validação dos dados passou por um pré-processamento para eliminação de erros sistemáticos e informações espúrias, tais como danos em arquivos, caracteres incorretos e padronização dos dados. Em seguida, a fim de corrigir eventuais erros de calibração e do envelhecimento instrumental, as séries de dados foram comparadas com simulações numéricas. Para estas avaliações utilizou-se o modelo de transferência

radiativa TUV (*Tropospheric Ultraviolet and Visible*) (Madronich, 1992) e a seleção de amostras de RUV coletadas sob condições de céu claro (sem nuvens).

O conteúdo total de ozônio (CTO) é o principal absorvedor de RUV na atmosfera terrestre. Os dados do conteúdo desse gás foram fornecidos pela NASA, por meio de medidas do sensor OMI (<https://ozoneaq.gsfc.nasa.gov/>). As informações são fornecidas para pontos de grade de 1,0 x 1,0° e interpoladas para a posição geográfica de cada uma das cidades. Os demais parâmetros atmosféricos foram considerados constantes, tais como condições de céu claro (sem nuvens), propriedades ópticas de aerossóis de *background* típicos de ambientes urbano-rurais (espessura óptica: 0,1, albedo simples: 0,95 e coeficiente de Angström: 1,2) e perfil vertical de atmosfera tropical (Ellingson *et al.*, 1991). Essa análise comparativa resultou em equações de regressão linear para corrigir as séries de dados de cada uma das localidades estudadas.

As doses eritematosas foram calculadas a partir das medidas de IUUV integradas no tempo:

$$D - Er = \int_{\Delta t} \frac{IUUV(t)}{40} dt \approx \sum_{t=0}^T \frac{IUUV(t)}{40} \Delta t \quad (1)$$

onde $40 \text{ m}^2 \text{ W}^{-1}$ é o fator de conversão entre IUUV e irradiância eritemática ($1 \text{ IUUV} = 25 \text{ mW m}^{-2}$). IUUV(t) é a medida de IUUV e T é o tempo de exposição, em segundos. Neste estudo, o valor de T foi estabelecido de acordo com a duração do dia, pois foram avaliadas as doses acumuladas diárias.

2.3. Avaliação da cobertura de nuvens e precipitação

Foi realizada uma análise quantitativa da cobertura de nuvens e da precipitação nas localidades peruanas para o período observado – 2010 a 2015. A cobertura de nuvens foi avaliada por registros de observação da abóboda celeste com a determinação da fração (oitavos) de nebulosidade. A precipitação foi analisada em termos de acumulados sazonais. Essa análise descritiva teve como objetivo correlacionar a atenuação da RUV observada nas medições quanto comparadas às simulações numéricas realizadas para condições de céu claro, sem nuvens.

3. Resultados e Discussão

As Figs. 2 e 3 mostram, respectivamente, a distribuição sazonal de nebulosidade e precipitação para as localidades em estudo. Na Fig. 2, observa-se o aumento da frequência de cobertura de nuvens com o aumento da altitude, sendo tal fenômeno mais significativo no verão e outono. Nessas estações do ano, a localidade de Marcapomacocha apresentou mais de 63% das observações com céu totalmente encoberto por nuvens (8/8), enquanto que na cidade de Ica, a cobertura de nuvens em 8/8 foi de, aproximadamente, 15% para o mesmo período.

Concomitantemente com a distribuição de cobertura de nuvens, os maiores acumulados de precipitação para ambas as localidades peruanas encontram-se no verão e outono (Fig. 3). O outono é a estação mais úmida, com acumulados sazonais médios, entre os anos de 2010 e 2015

de, aproximadamente, 425 mm em Marcapomacocha e 350 mm em Cajamarca. A precipitação nas localidades avaliadas varia significativamente com a altitude e a distância em relação à costa. Ica, Tacna, Moquegua e Arequipa apresentam acumulados de precipitação inferiores aos de Cajamarca e Moquegua. Estas últimas, além de encontrarem-se em maior altitude, estão próximas à Amazônia Peruana e, portanto, são fortemente influenciadas pelo regime de chuvas típico da região.

A Fig. 4 mostra as séries temporais de CTO, fornecidas pelo sensor OMI/NASA, e interpoladas para as localidades estudadas. Não foi observada nenhuma condição anômala dos valores de CTO para a região entre os anos 2004 e 2015. A sazonalidade é aquela esperada para a distribuição desse gás, com concentrações maiores na primavera e menores no outono (Vázquez e Hanslmeier, 2006). Uma vez que as cidades estão próximas uma das outras, a variação do CTO entre as mesmas não é grande, com concentrações médias que variaram entre $240,0 \pm 2,4$ DU, no outono, a $259,8 \pm 3,9$ DU, na primavera. Marcapomacocha é a localidade que apresentou as menores concentrações médias de ozônio, provavelmente em função de sua altitude. No entanto, a diferença em relação à Tacna e Ica, cidades de maiores valores de CTO, foi de no máximo 4%, valor esperado em se tratando de variações de conteúdos de ozônio na troposfera terrestre. Essa diferença é da mesma ordem de grandeza dos erros instrumentais do OMI/NASA, entre 2 a 5% dependendo da posição do disco

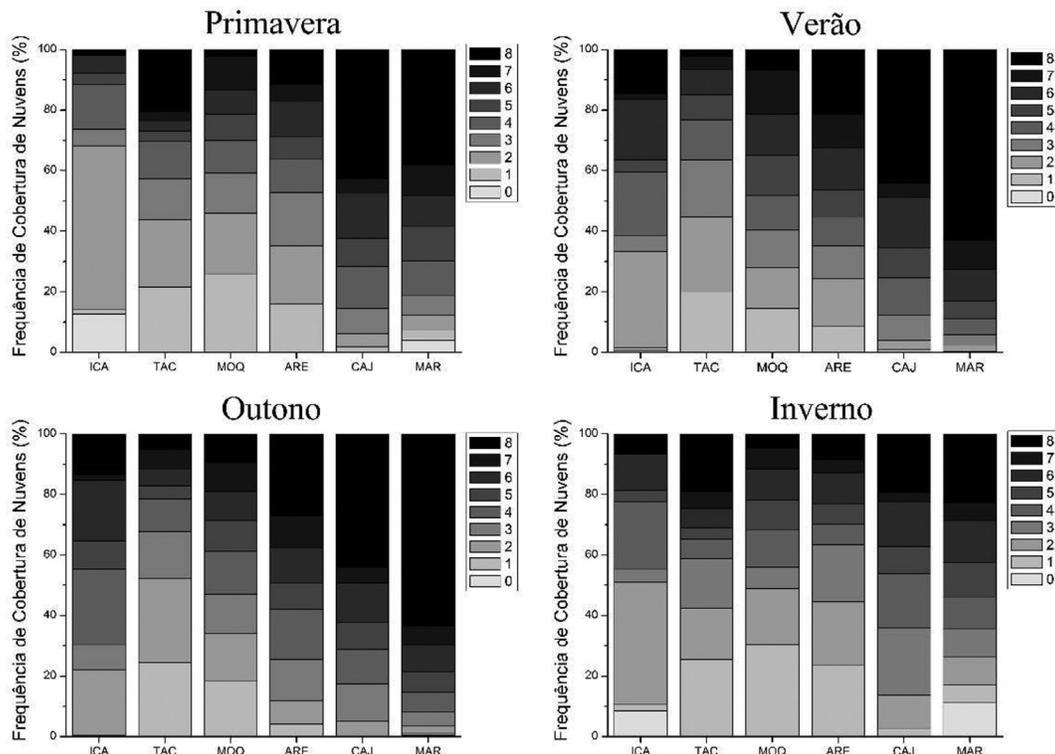


Figura 2 - Frequência de cobertura de nuvens (%) por estação do ano para as localidades em estudo.

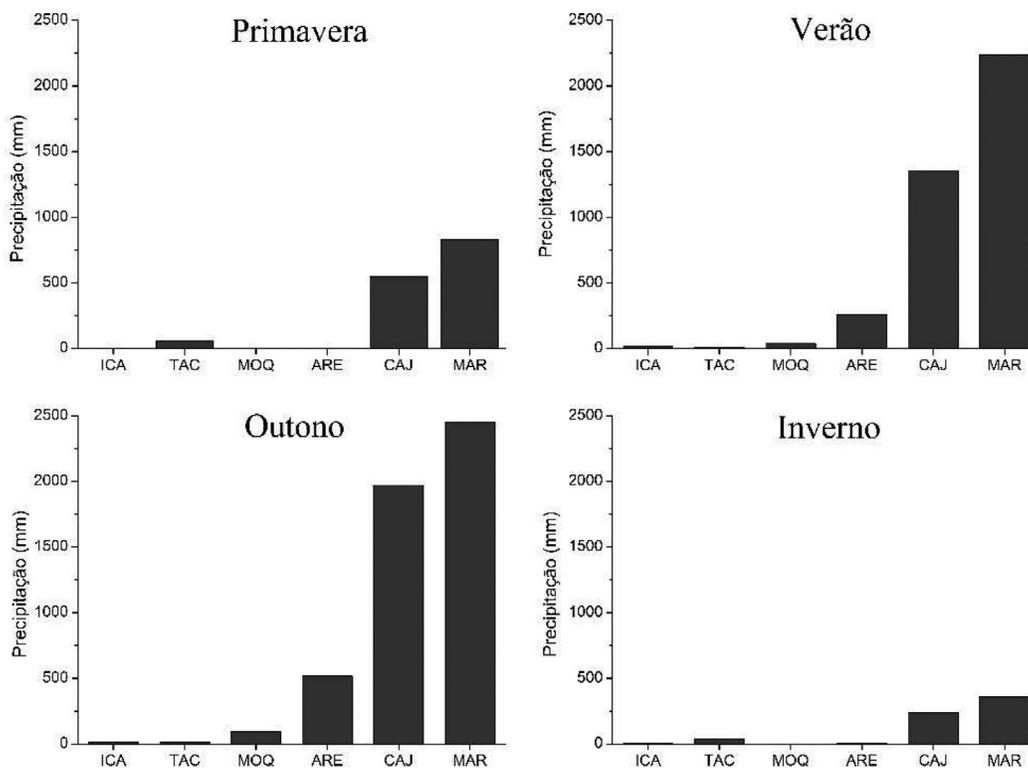


Figura 3 - Médias sazonais dos acumulados de precipitação (mm/ano) para as localidades em estudo.

solar (Barthia, 2002), e, portanto, não deve ser considerada como significativa.

As equações de regressão linear para ajuste das séries de medidas de RUV, a partir das simulações numéricas, apontaram coeficientes de determinação elevados ($R^2 > 0,91$), com alta significância estatística ($p < 0,0001$), como mostra a Tabela 2. Nessa tabela, os coeficientes a , b e R^2 representam, respectivamente, os coeficientes angulares, lineares e de determinação da equação de regressão linear (Eq. 2) usada para a correção dos dados:

$$IUV_{\text{corrigido}} = a(IUV_{\text{medido}}) + b \quad (2)$$

Uma vez que a Eq. (2) apresenta alta significância estatística, as séries temporais foram ajustadas e, a partir das mesmas, foi realizada a análise estatística do IUV e D-Er para cada uma das localidades estudadas. Uma vez que as simulações de RUV para céu claro são signifi-

cativamente precisas, esse procedimento permite corrigir eventuais desvios sistemáticos de calibração derivados do envelhecimento instrumental. As Figs. 5 e 6 mostram a distribuição sazonal desses parâmetros.

O recorde de IUV observado no Peru foi de 23,5, registrado na localidade de Marcapomacocha em dezembro de 2005. Esses valores são coerentes com estudos recentes realizados em regiões andinas de altitude (Coariti *et al.*, 2017). No entanto, apesar de ter registrado o maior valor de IUV observado no Peru e de ser a localidade mais elevada, Marcapomacocha apresenta a maior média de IUV em superfície apenas no inverno. O motivo para a diminuição do valor médio do IUV se deve às condições meteorológicas adversas da localidade, como forte presença de nuvens e precipitação, que bloqueiam parte da radiação solar principalmente no verão e outono (vide Figs. 2 e 3). De qualquer modo, não se pode dizer que a presença de nuvens significa proteção solar nessa localidade, pois o 1º quartil dos dados registrados em torno do meio dia local indica que 75% das medidas registradas tiveram IUV $> 8,5$, considerado de potencial danoso “muito alto”, segundo a OMS (WHO, 2002). No verão e na primavera, as maiores médias de IUV próximas ao meio-dia solar (entre 11 e 13 h local), foram encontradas na cidade de Arequipa, com 13,5 ($\pm 3,1$) para o verão, e 13,0 ($\pm 1,7$), para a primavera. Provavelmente, esse fato se deve à menor cobertura de nuvens e conseqüentemente, menores acumulados de precipitação em tais estações. A cidade de Moquegua apresentou valores médios de IUV muito próximos aos de Arequipa no verão ($13,4 \pm 1,7$) e primavera ($12,2 \pm 1,8$), enquanto

Tabela 2 - Coeficientes angulares (a), lineares (b) e de determinação (R^2) da equação de regressão linear (Eq.2) para correção do IUV em cada uma das localidades estudadas.

Cidades	Coeficientes	
	a	b
Ica	0,9757	2,9296
Tacna	1,0012	3,9484
Moquegua	0,9884	3,1840
Arequipa	1,0003	3,5292
Cajamarca	0,9705	5,7692
Marcapomacocha	1,1231	3,6444

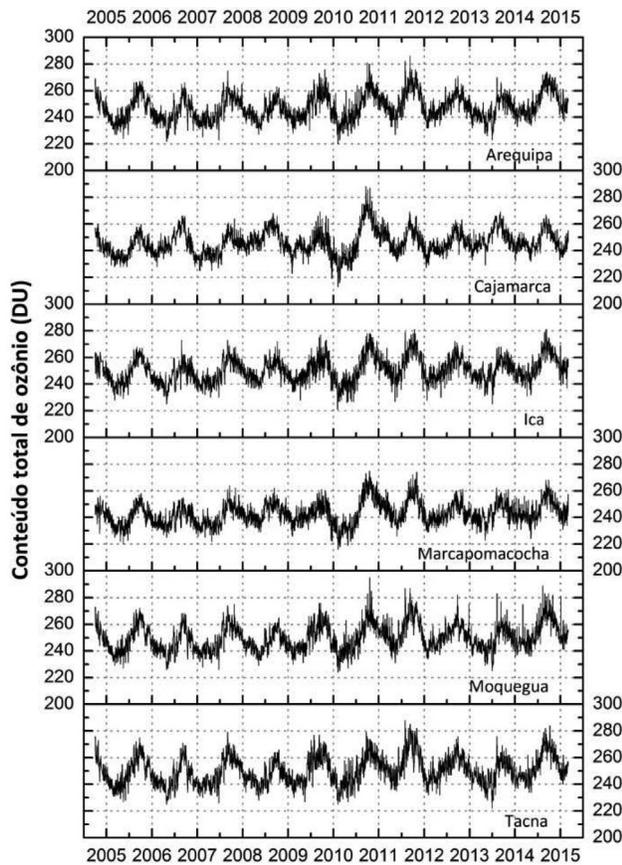


Figura 4 - Conteúdo total de ozônio entre 2004 e 2015 nas localidades estudadas, dados fornecidos pelo sensor OMI/NASA.

Cajamarca foi a cidade que deteve os menores IUV médios no verão ($9,7 \pm 3,2$). Essa diminuição coincide com a presença de nebulosidade e por ser uma região caracterizada por verões mais chuvosos.

Em relação às D-Er, a localidade de Arequipa apresentou as maiores médias, equivalentes a $7,9 \text{ kJm}^{-2}$ ($\pm 1,3 \text{ kJm}^{-2}$) no verão, $7,4 \text{ kJm}^{-2}$ ($\pm 975 \text{ Jm}^{-2}$) para a primavera e $6,8 \text{ kJm}^{-2}$ ($\pm 899 \text{ Jm}^{-2}$) para outono. De maneira análoga ao IUV, a localidade de Marcapomacocha apresentou as maiores médias de D-Er somente para a estação do inverno, na qual 75% dos dados apresentaram D-Er superior a $4,9 \text{ kJm}^{-2}$. Para o verão, valores próximos foram encontrados em Moquegua, $7,1 \text{ kJm}^{-2}$ ($\pm 468 \text{ Jm}^{-2}$), Marcapomacocha, $7,0 \text{ kJm}^{-2}$ ($\pm 1,5 \text{ kJm}^{-2}$) e Tacna $7,3 \text{ kJm}^{-2}$ ($\pm 647 \text{ Jm}^{-2}$). A dose recorde foi registrada em Cajamarca no outono, com valor de $14,3 \text{ kJm}^{-2}$, superando significativamente o valor máximo já registrado em São Paulo, Brasil, equivalente a $8,5 \text{ kJm}^{-2}$ (Corrêa e Pires, 2013), e na Península de Malásia, equivalente a $7,7 \text{ kJm}^{-2}$ (Tan *et al.*, 2017). Valores muito elevados como esse registrado em Cajamarca são raros para a localidade, uma vez que o 99º percentil da série observada está em $11,9 \text{ kJm}^{-2}$. De qualquer modo, estão relacionados à altitude da localidade e à menor concentração de ozônio observada na estação. Esse evento particular ocorreu nas duas primeiras semanas de março de 2007, situação na qual a concentração de ozônio permaneceu abaixo da média (em torno de 230 DU) e, provavelmente, em situação de céu claro sem nuvens.

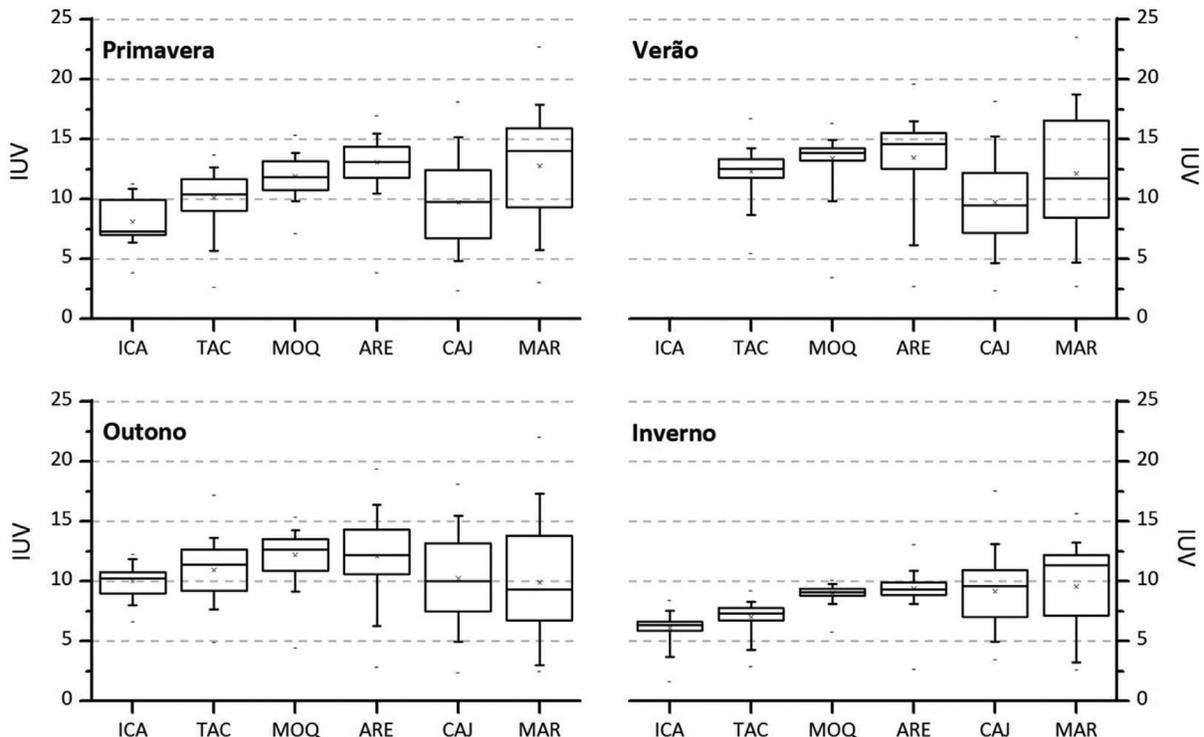


Figura 5 - Boxplot do IUV por estação do ano para cada localidade avaliada, entre 11 e 13 h local.

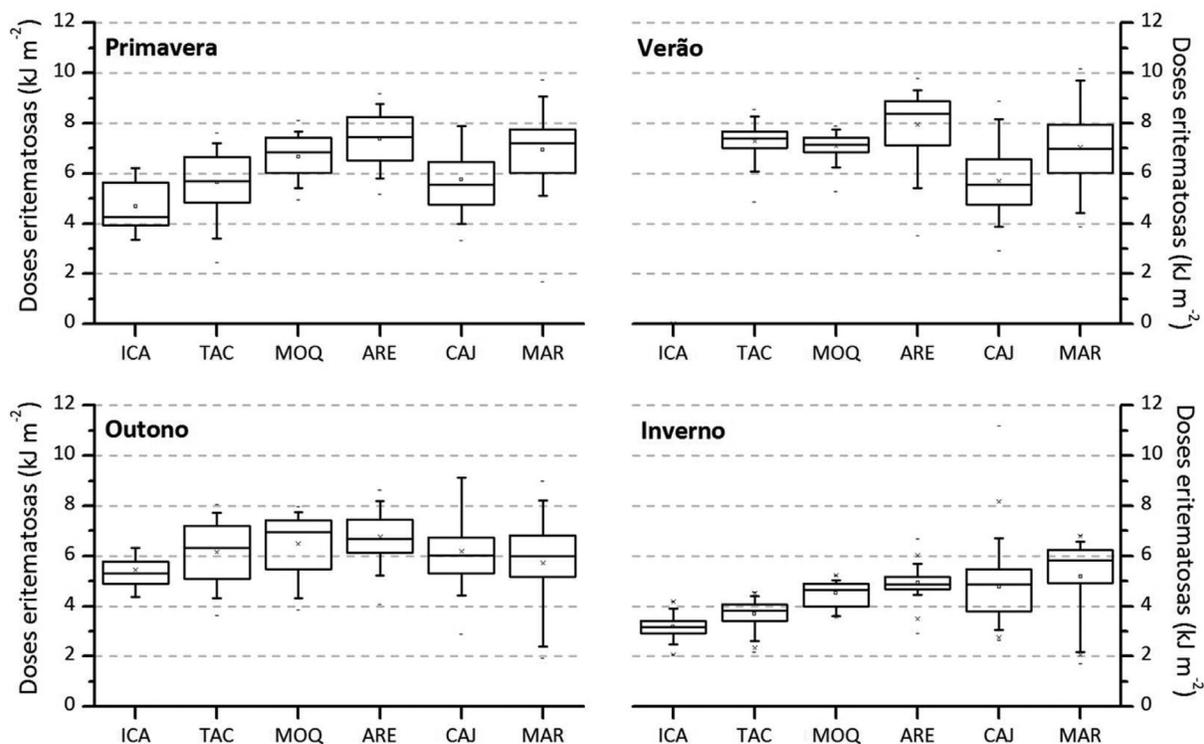


Figura 6 - Boxplot da D-Er por estação do ano para cada localidade avaliada.

4. Conclusões

A análise da base de dados de RUV peruana indica que as localidades estudadas apresentaram valores de IUV e D-Er que podem oferecer um número de dias e ocasiões de risco considerável à saúde das populações, principalmente no que se diz respeito ao câncer de pele, envelhecimento precoce e enfermidades dos olhos (Corrêa, 2015).

No que se refere ao IUV, em horários próximos ao meio-dia local, foram observados valores altos ($6 < \text{IUV} < 7$) em todas as localidades e em quaisquer estações do ano. Apesar da presença de nebulosidade e precipitação na maior parte do ano, a localidade de Marcapomacocha apresentou medidas de IUV valores superiores a 20, no verão, outono e primavera. Esses valores ultrapassam, em muitas unidades de IUV, o limite considerado de potencial extremos de dano à saúde determinado pela OMS (WHO, 2002) e os de outros registros observados na América do Sul (Corrêa e Pires, 2013; Rivas *et al.*, 2017; Coariti *et al.*, 2017).

Em relação as D-Er, no inverno foram observados valores médios de $4,4 \text{ kJm}^{-2}$ nas localidades estudadas, o que corresponde à aproximadamente 40 vezes a mais a dose diária recomendada pela OMS, correspondente a 108 Jm^{-2} . No verão, essas doses podem ultrapassar os 10 kJm^{-2} diários, proporcionando situações de riscos relevantes à saúde de indivíduos que se expõem por períodos prolongados e que não fazem o uso de protetores solares.

Os resultados inéditos apresentados nesse estudo contribuem para o melhor entendimento quanto à necessidade

de políticas públicas de educação e prevenção, tanto em ao uso de protetores solares, quanto à prevenção aos riscos do desenvolvimento de cânceres de pele. Em sua maioria, as cidades estudadas são localidades populosas cuja exposição cotidiana de seus cidadãos pode constituir um fator de risco à saúde. Esse aspecto justifica a importância do presente estudo, pois há consenso das sociedades médicas quanto à necessidade de proteção solar em hábitos do dia a dia e não somente em atividades de lazer (Schalka *et al.*, 2014).

Por fim, não se pode deixar de ressaltar outra contribuição desta pesquisa quanto ao tratamento e depuração de um conjunto de dados importantes para o estudo de séries temporais de RUV coletadas em diferentes sítios de interesse e que não tinham recebido o tratamento adequado. Deste modo, a análise das séries temporais corrigidas para as seis cidades trouxe novas informações acerca da natureza da RUV naquele país e na região andina. Como sugestão de trabalhos futuros, pretende-se correlacionar os dados aqui avaliados com informações referentes à incidência de câncer de pele e comportamento quanto ao uso de proteção solar no Peru e em outros países sul-americanos.

Agradecimentos

Os autores agradecem Julio Urbiola del Carpio, Guadalupe Miranda, Guillermo Gutierrez e Dario Fierro Zapata pelo fornecimento dos dados medidos de RUV nas localidades do presente estudo; e Clara Oria Rojas e Luiz Zevallos Carhuaz pela disponibilidade dos dados referentes

às variáveis meteorológicas. Os autores também agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (Fapemig) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Referências

- BARTHIA, P.K. **OMI algorithm theoretical basis document**, volume II, OMI ozone products. **NASA-OMI, Washington, DC, ATBD-OMI-02, version**, v.2, 2002.
- BERWICK, M.; KESLER, D. Ultraviolet radiation exposure, vitamin D, and cancer. **Photochemistry and Photobiology**, v. 81, n. 6, p. 1261-1266, 2005.
- CABROL, N.A.; FEISTER, U.; HÄDER D-P.; PIAZENA, H.; GRIN, E.A.; KLEIN, A. Record solar UV irradiance in the tropical Andes. **Frontiers in Environmental Science**, v. 2, p. 19, 2014.
- CALBÓ, J.; PAGÈS, D.; GONZÁLEZ, J.-A. Empirical studies of cloud effects on UV radiation: A review. **Reviews of Geophysics**, v. 43, n. 2, 2005.
- COARITI, J.R.; FERNANDEZ, J.H.; SPYRIDES, M.H.C.; CORRÊA, M.P.; PAES LEME, N.M.P.; PEDRA, G.U.; FAUSTINO, A.B. Radiação solar ultravioleta e fotodermatoses em La Paz – Bolívia. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 2, p. 371-380, 2017.
- CORRÊA, M.P. **Índice Ultravioleta: Avaliações e Aplicações**. 2003. 243 f. Tese (Doutor em Ciências) - Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- CORRÊA, M.P. Solar ultraviolet radiation: properties, characteristics and amounts observed in Brazil and South America. **Anais Brasileiros de Dermatologia**, v. 90, n. 3, p. 297-313, 2015.
- CORRÊA, M.P.; PIRES, L.C.M. Doses of erythematous ultraviolet radiation observed in Brazil. **International Journal of Dermatology**, v. 52, n. 8, p. 966-973, 2013.
- ELLINGSON, R.G.; ELLIS, J.; FELLS, S. The intercomparison of radiation codes used in climate models: Long wave results. **Journal of Geophysical Research**, v. 96, n. D5, p. 8929-8953, 1991.
- ICNIRP - International Commission of Non-Ionizing Radiation Protection. Guidelines on limits of exposure to ultraviolet radiation of wavelength between 180 nm and 400 nm (incoherent optical radiation). **Health Physics**, v. 87, n. 2 p. 171-1866, 2004.
- INCA. **Estimativa 2016: incidência de câncer no Brasil**. Instituto Nacional de Câncer José Alencar Gomes da Silva – Rio de Janeiro: INCA, 2015. 122 p.
- INEI - Instituto Nacional de Estatística e Informática (Peru). **Población 200 al 2015**. Disponível em: <http://proyectos.inei.gob.pe/web/poblacion/>. Acesso em: 20 mai. 2017.
- KUDISH, A.I.; ABELS, D.; HARARI, M. Ultraviolet radiation properties as applied to photoclimate therapy at the Dead Sea. **International Journal of Dermatology**, v. 42, n. 5, p. 359-365, 2003.
- LUCAS, R.; MCMICHAEL, T.; SMITH, W.; ARMSTRONG, B. **Solar Ultraviolet Radiation: Global burden of disease from solar ultraviolet radiation**. World Health Organization (WHO Press). Geneva Switzerland, 2006.
- MADRONICH, S. Implications of recent total atmospheric ozone measurements for biologically active ultraviolet radiation reaching the Earth's surface. **Geophysical Research Letters**, v. 19, n. 1, p. 37-40, 1992.
- MCKINLAY, A.F.; DIFFEY, B.L.A. reference action spectrum for ultraviolet-induced erythema in human skin. **CIE Journal**, v.6, p.17-22, 1987.
- MOEHRLE, M.; DENNENMOSER, B.; GARBE, C. Continuous long-term monitoring of UV radiation in professional mountain guides reveals extremely high exposure. **International Journal of Cancer**, v. 103, n. 6, p. 775-778, 2003.
- PETERS, B.S.M.; SANTOS, L.C.; FISBERG, M.; WOOD R.J.; MARTINI L.A. Prevalence of vitamin D insufficiency in Brazilian adolescents. **Annals of Nutrition and Metabolism**, v.54, n. 1, p. 15-21, 2009.
- RAMOS, W.C. **Informe de situación del cáncer a nivel nacional**. Informe N° 60-2012-GT ENT-DVE-DSVSP/DGE. Lima: Dirección General de Epidemiología, Minsa, 2012.
- RIVAS, M.; ROJAS, E.; CORTÉS, J.N.; SANTANDER E.g. Efecto de la altura en la radiación solar ultravioleta en Arica norte de Chile. **Revista Facultad de Ingeniería-Universidad de Tarapacá**, v. 10, p. 59-62, 2002.
- SCHALKA, S.; STEINER, D.; RAVELLI, F.N.; STEINER, T.; TERENA, A.C, *et al.* Brazilian consensus on photoprotection. **Anais Brasileiros de Dermatologia**, v. 89, n. 6, p. 1-74, 2014.
- SENAMHI - Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología. **Normales decadales de temperaturas y precipitación y calendario de siembras y cosechas**. Corporación gráfica Rodríguez SAC, Lima, p. 1-35, 2013.
- SILVA, A.A. Erythematous dose rate under noon overcast skies. **Photochemical & Photobiological Science**, v. 12, n. 5, p. 777-786, 2013.
- SORDO, C.; GUTIÉRREZ, C. Câncer de piel y radiación solar: experiencia peruana en la prevención y detección temprana del cáncer de piel y melanoma. **Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública**, v. 30, p. 113-117, 2013.
- TAN, K.C.; LIM, H.S.; JAFRI, Z.M. Study on solar ultraviolet erythematous dose distribution over Peninsular Malaysia using Ozone Monitoring Instrument. **The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science**, v. 21, n. 1, p. 105-110, 2017.
- VÁZQUEZ, M.; HANSLMEIER, A. Atmospheric Effects of Ultraviolet Radiation. **Ultraviolet Radiation in the Solar System**. Netherlands: Springer, 2006. 380 p.
- WALSH, K. UV Radiation and the Eye. **Optician**, v. 237; p. 26-33, 2009.
- WHO, **Ultraviolet Radiation**, EHC 160, World Health Organization, Geneva, Switzerland, 1994.
- WHO. **Global Solar UV Index: A Practical Guide**. Geneva: World Health Organization (WHO), World Meteorological Organisation (WMO), United Nations Environment Program (UNEP), and International Commission on Non-Ionising Radiation Protection (ICNRP), 2002.
- ZARATTI, F.; FORNO, R.N; FUENTES, J.G; ANDRADE, M.F. Erythemally weighted UV variations at two high-altitude locations. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 108, n. D9, 2003.