



A Rede de Detectores de Radiação Ultravioleta Solar do INPE

E. Echer¹; V. W. J. H. Kirchhoff¹; Y. Sahai¹; N. P. Leme¹; A. A. Silva²; H. Pavão³; N. J. Schuch¹; F. Zaratti⁴ e V. Valderrama⁵

1 Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, Brasil

2 Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais – PUC - MG, Brasil

3 Universidade Federal do Mato Grosso do Sul – UFMS, Brasil

4 Universidad Mayor de San Andres, La Paz, Bolívia

5 Universidad de Magallanes, Punta Arenas, Chile

RESUMO

Nas duas últimas décadas verificou-se uma significativa redução do ozônio atmosférico global, criando uma preocupação sobre o possível aumento da radiação UV-B na superfície terrestre. Entretanto, poucas medidas de UV na superfície estavam disponíveis até meados de 1980, e a maioria destas concentrava-se no hemisfério norte. Descreve-se neste trabalho a rede de detectores de UV do INPE e alguns resultados. O INPE vem operando desde o início da década de noventa, vários detectores UV dos tipos radiômetros UV-Biometer, GUV e Espectrofotômetros Brewer no Brasil, Bolívia, Chile e Antártica, constituindo uma base de dados com uma significativa distribuição geográfica, de latitudes equatoriais, médias e polares. Esta distribuição espacial é importante para o estudo do comportamento da radiação ultravioleta solar face ao quadro de mudanças atmosféricas associado aos fenômenos da redução global do ozônio.

INTRODUÇÃO

A descoberta, nas duas últimas décadas, dos fenômenos associados ao Buraco de Ozônio Antártico e a tendência de declínio global do ozônio fez surgir entre a comunidade científica internacional a preocupação sobre possíveis aumentos na radiação ultravioleta solar a atingir a superfície terrestre e seus efeitos nocivos sobre os organismos vivos (Madronich, 1993). Entretanto, o monitoramento da radiação ultravioleta é relativamente recente, estando mais concentrado no hemisfério norte. Tendo em vista este quadro de distribuição assimétrica de medidores de UV entre os hemisférios, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, opera no Brasil, Bolívia, Chile e Antártica uma rede de detectores de radiação ultravioleta desde o início da década de 90 (Kirchhoff et. al., 1993). Esta rede consiste de detectores dos tipos Brewer Ozone Spectrophotometer, UV-Biometer e Ground-based Ultraviolet Radiometer- GUVs. Os detectores medem em banda larga (UV-Biometer, $\Delta\lambda = 14,5$ nm) - ou em banda estreita (GUV, $\Delta\lambda = 7$ nm ; Brewer, $\Delta\lambda = 0,5$ nm). Neste trabalho apresenta-se esta rede de detectores e alguns resultados.

ESPECTROFOTÔMETRO BREWER

O Espectrofotômetro Brewer é um instrumento óptico projetado para calcular a coluna total de ozônio, SO₂ e NO₂ utilizando a absorção do feixe de radiação solar direta. Oferece também a possibilidade, através de um *kit* especial, de medir a radiação UV-B global. Esta é medida entre 290 e 325 nm com uma resolução de 0,5 nm, cada conjunto de medidas sendo resultado de uma varredura direta e reversa do instrumento. A radiação é captada por um difusor de teflon o qual é protegido por uma redoma colocada no topo do Brewer, e é direcionada ao prisma UV-B e deste ao prisma de zênite. Posteriormente o feixe passa por uma série de filtros cuja função é eliminar alguns comprimentos de onda. O feixe entra na parte espectrométrica, onde é difratado numa grade de difração e separado em seus comprimentos de onda. Um sistema móvel de varredura permite a incidência de cada comprimento de onda sobre um fotomultiplicador, transformando a radiação em sinais elétricos. São gerados dados espectrais em unidade de Wm⁻²nm⁻¹, e com softwares próprios do sistema Brewer são calculadas a radiação danosa (DUV) integrada e ponderada com o espectro de ação de Diffey, e a integral diária da DUV, em Jm⁻².

RADIÔMETRO GUV

O GUV – Ground-based Ultraviolet Radiometer - mede a radiação UV em 4 comprimentos de onda: 305, 320, 340 e 380 nm, e adicionalmente contém um canal de medição de radiação foto-sinteticamente ativa (PAR) na banda de 400 a 700 nm. As regiões espectrais de medida são selecionadas por filtros passa-banda, sendo que em 305 nm a largura de banda é 7 nm, e nos outros comprimentos de onda é de cerca de 10 nm. O pico de transmissão está centrado no comprimento de onda a ser medido ± 1 ou 2 nm. A resposta do cosseno do sensor resulta num erro de no máximo 5% para ângulos solares de zênite $< 70^\circ$.

RADIÔMETRO UV-BIOMETER

O UV-Biometer modelo 501 A foi desenvolvido como uma nova geração do instrumento Robertson Berger, medidor de UV utilizado desde a década de 70. O princípio da medição baseia-se na detecção da luz emitida por um elemento composto de fósforo com um díodo de GaAs (arseneto de gálio). A radiação solar que atinge o domo do radiômetro é parcialmente filtrada de modo que a luz que excita o componente de fósforo corresponde à radiação UV na faixa 280-340 nm. A radiação medida é ponderada com o Espectro de Ação de Eritema (McKinlay and Diffey, 1987). O tempo de integração geralmente utilizado é de 1 hora, e o resultado obtido é a dose de energia danosa à pele humana, em MEDs (Minimal Erythral Dosis), correspondendo 1 MED a 21 mJ/cm². A resposta do cosseno do sensor resulta em um erro de no máximo 6 % para ângulos solares de zênite < 70°.

MEDIDORES PORTÁTEIS DE UV

Além dos medidores anteriormente citados, de operação contínua na rede, o INPE também opera alguns medidores de uso manual. Estes detectores são medidores de banda larga UV-Meters e um radiômetro IL1700. Os medidores UV-Meter são do modelo 3d versão 2 e medem a intensidade do UV-B em (MED/Hr), no espectro de ação de Eritema, e a irradiância UV-A em mW/cm² no intervalo de 320-400 nm. O radiômetro IL1700 utiliza como detector de ultravioleta um fotodiodo sensível ao UV-B em $\lambda < 315$ nm, e amostra a radiação em unidades absolutas (Wcm⁻²), sem ponderação por ação biológica.

DISTRIBUIÇÃO DOS DETECTORES

Atualmente (fevereiro de 1999) o INPE opera 6 Espectrofotômetros Brewer, 7 UV-Biometers e 3 GUVs. As primeiras observações foram feitas com espectrofotômetros Brewer em 1992. A rede tem uma extensão geográfica desde latitudes equatoriais (Natal, 5,8°S) até latitudes polares (Antártica, 62,05 °S). A maioria das estações está em baixas altitudes ou ao nível do mar, com exceção de La Paz, a qual está a mais de 3000 metros de altitude, e permitirá o estabelecimento de uma comparação da variação da radiação UV-B com a altitude. A Tabela 1 apresenta a localização dos detectores e o respectivo ano de início de operação. Alguns medidores operaram temporariamente em algumas estações, como é o caso de 2 UV-Biometers que ficavam em Ribeirão Preto, SP e Blumenau, SC, operando de Janeiro/1994 a Outubro/1995 e de Fevereiro/1995 a Janeiro/1997, respectivamente.

Tabela I - Localização dos instrumentos detectores de UV em operação em fevereiro de 1999.

LOCAL	LATITUDE	LONGITUDE	BREWER	UV-BIOMETER	GUV
Estação Comandante Ferraz, Antártica	62,05° S	58,24° W		1998	1996
Punta Arenas, Chile	53,2° S	70,9° W	1992	1994	
La Paz, Bolívia	16,54° S	68,06° W	1996	1995	
Santa Maria/São Martinho, RS	29,26° S	53,48° W	1992		
Porto Alegre, RS	30,47° S	50,38° W		1997	
Campo Grande, MS	19,25° S	54,34° W		1995	
Cuiabá, MT	15,3° S	56,1° W	1991		
Natal, RN	5,84° S	35,21° W	1994	1994	1998
Cachoeira Paulista, SP	23,1° S	45° W	1997	1994	1996

RESULTADOS

Um dos objetivos das medidas de UV-B é a quantificação da radiação biologicamente ativa incidente na superfície terrestre em termos do Índice UV (I-UV, Kirchoff, 1995). Este é um parâmetro definido para informar ao público leigo a intensidade da radiação ultravioleta. Com informações adicionais do biotipo do indivíduo, pode-se determinar o tempo tolerável de exposição ao Sol, sem perigo de queimaduras. Para isto o Laboratório do Ozônio do INPE preparou uma tabela de tempos com os 4 biotipos característicos. A definição do Índice UV surgiu da constatação de que a energia acumulada em uma hora de exposição, quando expressa em centijoules por centímetro quadrado, varia aproximadamente entre zero e 16. A divulgação do I-UV é feita numa escala adimensional de 0 a 16. O cálculo, realizado a partir da medida da dose acumulada em uma hora, baseia-se na conversão do valor obtido em MEDs para mJ/cm² através da multiplicação pelo fator de conversão do instrumento (Kirchoff, 1995, Zamorano, 1997). A Figura 1 apresenta um exemplo da variação anual do Índice UV-B para La Paz e Campo Grande, em 1996, calculado a partir dos dados do UV-Biometer. A curva representa as médias corridas de 30 dias para 1996. Observa-se claramente a variação sazonal da radiação UV-B, característica da periodicidade anual do ângulo solar de zênite. Os máximos e mínimos são bem distintos nos períodos de verão e inverno, respectivamente.

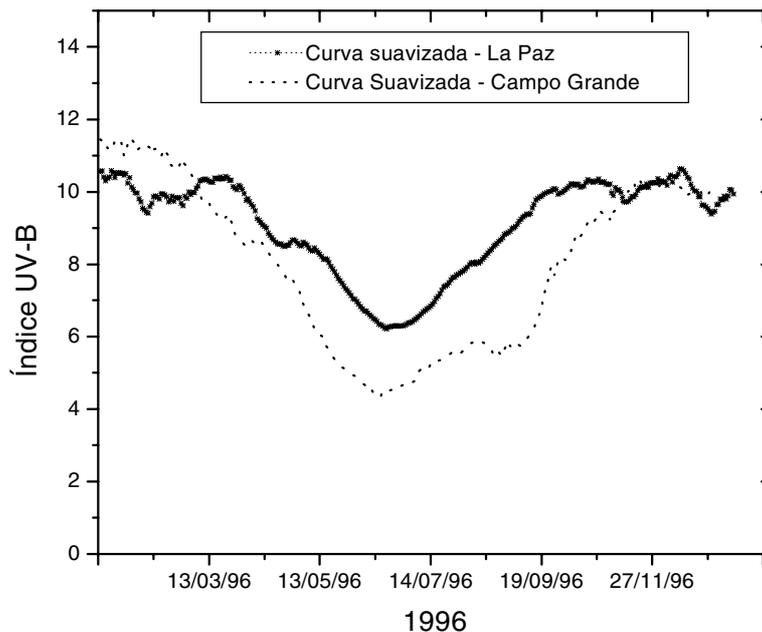


Figura 1: Índice UV - B para La Paz e Campo Grande calculado para o ano de 1996.

Observa-se que no período de verão ambas estações registram valores quase iguais de Índice UV-B, enquanto no restante do ano La Paz tem valores bem superiores. Apesar de estarem em latitudes muito próximas (Tabela I), em La Paz a radiação solar é menos atenuada, pois há menor quantidade de atmosfera a 3000 m do que a menores altitudes, como em Campo Grande, e a extinção de UV-B por espalhamento molecular é menor. Os valores calculados do Índice UV-B para La Paz e mostrados na Figura 1 – entre 7 e 10, são valores altos, indicando grande exposição a radiação biologicamente ativa durante o ano todo, enquanto que para Campo Grande os valores são altos no verão, mas atingem valores moderados durante o inverno (Kirchhoff, 1995).

Dentro da problemática associada à redução global do ozônio e ao fenômeno do Buraco de Ozônio da Antártica, os detectores do INPE registraram um aumento de radiação ultravioleta associado à passagem do Buraco de Ozônio sobre a cidade de Punta Arenas, no Chile, em 1992 (Kirchhoff et al., 1993; Kirchhoff et al., 1997a; Kirchhoff et al., 1997b) e 1995 (Kirchhoff et al., 1997c; Zamorano, 1997). Nestas ocasiões, a intensidade de radiação em comprimentos de onda próximos a 300 nm foram de pelo menos 10 vezes superiores à intensidade em condições de ozônio normal (Kirchhoff et al., 1997c). A Figura 2 apresenta um exemplo do aumento registrado na radiação UV-B em Punta Arenas em outubro de 1992, comparando-se a radiação UV-B espectral para um dia de normalidade (13/10) e um dia de influência do Buraco Antártico (04/10).

Observa-se na Figura 2 que a irradiância espectral no dia 04 é maior que a no dia 13 para comprimentos de onda < 315 nm, região espectral de forte absorção pelo ozônio. Em comprimentos de onda maiores, onde a absorção molecular pelo ozônio não é tão forte, a diferença entre os dois dias é mínima. Verifica-se também que no limite de irradiância de $10^{-4} \text{ Wm}^{-2}\text{nm}^{-1}$, o dia 04 apresenta penetração na superfície de radiação de comprimentos de onda mais curtos que no dia 13. Isto significa que a redução do ozônio possibilita a penetração de mais radiação de comprimentos de onda mais curtos, os quais são mais energéticos e mais perigosos à saúde humana.

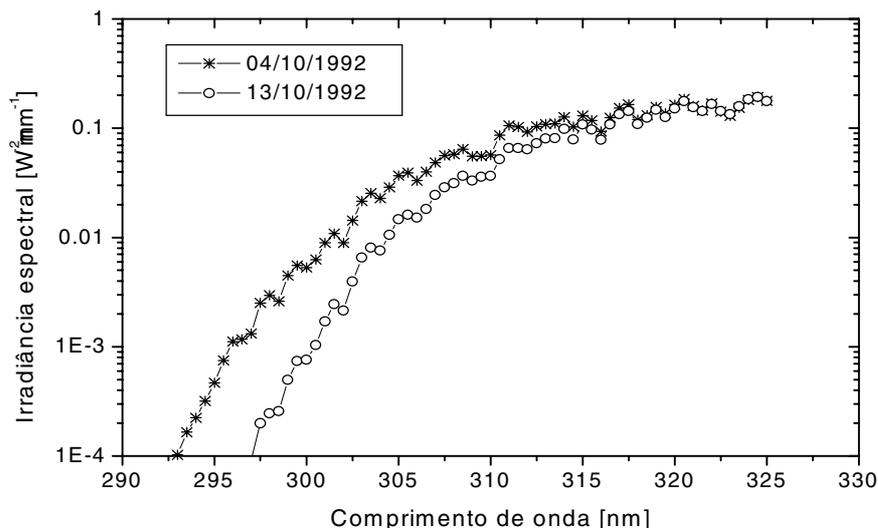


Figura 2: Irradiâncias espectrais para os dias 04/10/1992 (com Buraco Antártico) e 13/10/1992 (período normal) em Punta Arenas, Chile.

CONCLUSÕES

Dos resultados obtidos pela rede de detectores de UV do INPE, importantes conclusões podem ser destacadas:

- Comprovação experimental da anticorrelação entre o ozônio atmosférico e a radiação UV-B (Kirchhoff et al., 1997a, 1997b, 1997c).
- Neste trabalho observou-se que a radiação UV-B é mais intensa em La Paz do que em Campo Grande ao longo do ano, em decorrência da localização de La Paz em alta altitude. O Índice UV-B calculado para La Paz é alto o ano todo, e para Campo Grande é alto no verão e moderado no restante do ano.
- O fenômeno do Buraco de Ozônio Antártico pode causar um real aumento no UV-B na superfície, conforme observado em Punta Arenas (Kirchhoff et al., 1997a, 1997b, 1997c). No trabalho aqui apresentado observou-se que para um dado nível de irradiância, a redução no ozônio atmosférico permite a penetração na superfície terrestre de radiação UV-B de comprimentos de onda mais curtos do que em condições de normalidade no ozônio.

REFERÊNCIAS

- Kirchhoff, V. W. J. H., Alves, J.R.; Silva, F.R.; Motta, A. G.; Chagas, J. R.; Valderrama, V.; Zamorano, F.; Casiccia, C. *The Brazilian Network of Stratospheric Ozone Monitors: Observations of the 1992 Ozone Hole*, *Rev. Bras. Geofís.*, vol 11 (2), 205 - 213, 1993.
- Kirchhoff, V. W. J. H., *Ozônio e Radiação UV - B*, Transtec Editorial, São José dos Campos, São Paulo, 1995
- Kirchhoff, V. W. J. H.; Casiccia, C. A. R.; Zamorano, F. *The ozone hole over Punta Arenas, Chile*, *J. Geophys. Res.*, 102, 8945-8953, 1997a.
- Kirchhoff, V. W. J. H.; Sahai, Y.; Casiccia, C.; Zamorano, F.; Valderrama, V.; *Observations of the 1995 ozone hole over Punta Arenas, Chile*, *J. Geophys. Res.*, 102, 16109-16120, 1997b.
- Kirchhoff, V. W. J. H., Zamorano, F., Casiccia, C., *UV-B enhancements at Punta Arenas, Chile*, *J. Photochem. Photobiol.*, 38, 174-177, 1997c.
- McKinlay, A. F. and Diffey, B. L.; *A reference action spectrum for ultraviolet-induced erythema in human-skin*. In: *Passchler and Bosnjakovic ed., Human exposure to ultraviolet radiation: Risks and regulation*, Amsterdã, Holanda, Elsevier, 1987.
- Madronich, S., *UV radiation in the natural and perturbed atmosphere*, in *UV-B Radiation and Ozone Depletion*, edited by M. Tevini, Lewis, Boca Raton, Fla., 1993.
- Zamorano, F. C.B., *Observações da radiação UV-B em Punta Arenas- Chile e efeitos do buraco na camada de ozônio*, (Dissertação de Mestrado em Geofísica Espacial) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, INPE, 1997.