

**VARIABILIDADE DAS MEDIDAS DE IRRADIÂNCIAS
UVB E ERITÊMICA EM PERÍODOS DE QUEIMADAS.**

Marcelo de Paula Corrêa¹ e Genaro Coronel²

¹ Depto. de Ciências Atmosféricas – Instituto Astronômico, Geofísico e de Ciências Atmosféricas
Universidade de São Paulo – **BRASIL** – e-mail: mpcorrea@model.iag.usp.br

² Laboratorio de Investigación de la Atmósfera y Problemas Ambientales – Facultad de Ciencias Exactas y
Naturales – Universidad Nacional de Asunción – **PARAGUAY** – e-mail: liapa@facen.una.py

RESUMO

O objetivo deste trabalho consiste na avaliação da variabilidade dos fluxos de radiação ultravioleta B (R-UVB) e eritêmica (R-UVE) na superfície terrestre medidos em períodos de queimadas. Os dados analisados neste trabalho foram coletados em Asunción, Paraguai, nos meses de agosto e setembro entre os anos 1996 e 2001. Irradiâncias sob condições de céu claro, calculadas a partir de um código computacional de alta resolução espectral, e dados de satélite (para ozônio e índice de aerossóis) foram utilizados nos testes comparativos. Constatou-se que para índices de aerossol pequenos, entre $-0,5$ e $+0,5$, a determinação da atenuação torna-se incerta e, praticamente, não se pode estabelecer correlação alguma entre os valores medidos e observados. Porém, essa correlação torna-se aceitável para índices de aerossol maiores que $0,5$. A atenuação da R-UVB, acima desses valores de AI, está em torno de 25%. Em episódios de queimadas severas, os resultados mostram níveis de atenuação de até 88% para índice de aerossóis igual a 2,5. Este trabalho constitui um estudo preliminar para a caracterização dos aerossóis e do impacto causado aos fluxos de R-UVB na região.

ABSTRACT

The goal of this work is to evaluate the variability of UVB and erythral irradiances under biomass burning conditions. Radiation data were collected in Asunción city (Paraguay) in August and September between 1996 and 2001. High-resolution clear sky irradiances calculations and satellite data (ozone and aerosol index) were used in the comparative tests. These comparisons show that for small values of aerosol index (between -0.5 and $+0.5$) the attenuation evaluation becomes uncertain and it is not possible to establish any correlation between measured and observed values. This correlation becomes better to aerosol index greater than 0.5 . The mean radiation attenuation observed beyond these AI values is 25%, but in severe burning episodes the values reached 88% with AI around 2.5. This work is a preliminary study for characterization of the aerosols and their influence on UVB radiation in this region.

INTRODUÇÃO

A crescente preocupação com a destruição da natureza e o impacto dessas ações a curto, médio e longo prazo tem fomentado diversos setores de pesquisa em todo mundo nos últimos anos. Dentre muitos exemplos de aproveitamento irracional dos recursos naturais, alguns são relevantes aos objetivos desse trabalho: 1.) a emissão de poluentes originários da queima de biomassa, uma das maiores responsáveis pelas mudanças climáticas globais como alterações no ciclo do carbono e no balanço de radiação (Kiehl et al., 1993); e 2.) a produção antropogênica de gases nocivos à camada de ozônio, que implicam no aumento do fluxo de radiação ultravioleta em superfície. Ambos exemplos estão intimamente ligados a problemas à saúde humana como doenças respiratórias e cânceres de pele, respectivamente (Diffey, 1991).

Devido às propriedades absorvedoras do ozônio na região ultravioleta do espectro eletromagnético, as variações no conteúdo desse gás na atmosfera são o mais importante mecanismo regulador da incidência de radiação ultravioleta (R-UV) em superfície. No entanto, alguns tipos de aerossóis como, por exemplo, aqueles provenientes de regiões desérticas, queima de biomassa e atividade industrial, podem também exercer um efeito representativo na quantidade de R-UV que atinge a superfície (Long et al., 1996). Em meses secos, como agosto e setembro no hemisfério sul, a queima de biomassa (florestas, pastagens, plantações, etc.) associada à atividade agrícola na região amazônica brasileira produz imensas nuvens de fumaça de grande profundidade óptica que cobrem grandes regiões do território sul-americano (Holben et al., 1996). Os governos federais têm dificuldades em controlar estas atividades irregulares, pois as mesmas são originárias de inúmeros pequenos focos de incêndio, responsáveis por densas nuvens de fumaças emitidas durante vários dias. As partículas (*black carbon*) que

constituem essas nuvens estão sujeitas a diversos sistemas sinóticos da região e, conseqüentemente, se espalham por grandes áreas.

Neste trabalho é apresentada uma análise preliminar do impacto que a poluição, gerada por queimadas ocorridas entre os anos de 1996 e 2001, exerce sobre irradiâncias UVB (280 – 320nm) numa região geográfica extremamente afetada por este tipo de atividade, como o território paraguaio. O estudo também abrange avaliações sobre a radiação biologicamente ativa, ponderada pela resposta espectral da pele humana, denominada irradiância eritêmica (McKinlay e Diffey, 1987). Para tanto, foram relacionadas medidas experimentais efetuadas em Asunción, Paraguai, com simulações realizadas por um modelo computacional de alta resolução espectral (UVGAME) e, comparadas às medidas de conteúdo ozônio e índice de aerossóis do satélite *Earth Probe/TOMS*.

INSTRUMENTAÇÃO E MÉTODOS

Medidas experimentais.

Devido sua posição geográfica, o Paraguai sofre influência tanto de queimadas originárias do território brasileiro, quanto aquelas realizadas em seu território (figura 1). Para se avaliar o impacto que esse tipo de prática exerce sobre os fluxos de radiação UVB, foram utilizados os dados coletados por um piranômetro YESDAS UVB-1 (<http://www.yesinc.com>) instalado no campus da Universidad Nacional de Asunción (San Lorenzo: 25.33S, 57.52W; altitude 130m). Esse instrumento possui filtros de alta sensibilidade, possibilitando que a R-UV seja detectada por um fotodiodo e simulando o espectro de ação eritêmica (McKinlay e Diffey, 1987). O YESDAS UVB-1 mede irradiâncias globais (direta + difusa), entre os comprimentos de onda 280 e 320nm, recebidas por uma superfície horizontal, a partir de todo o hemisfério celeste.

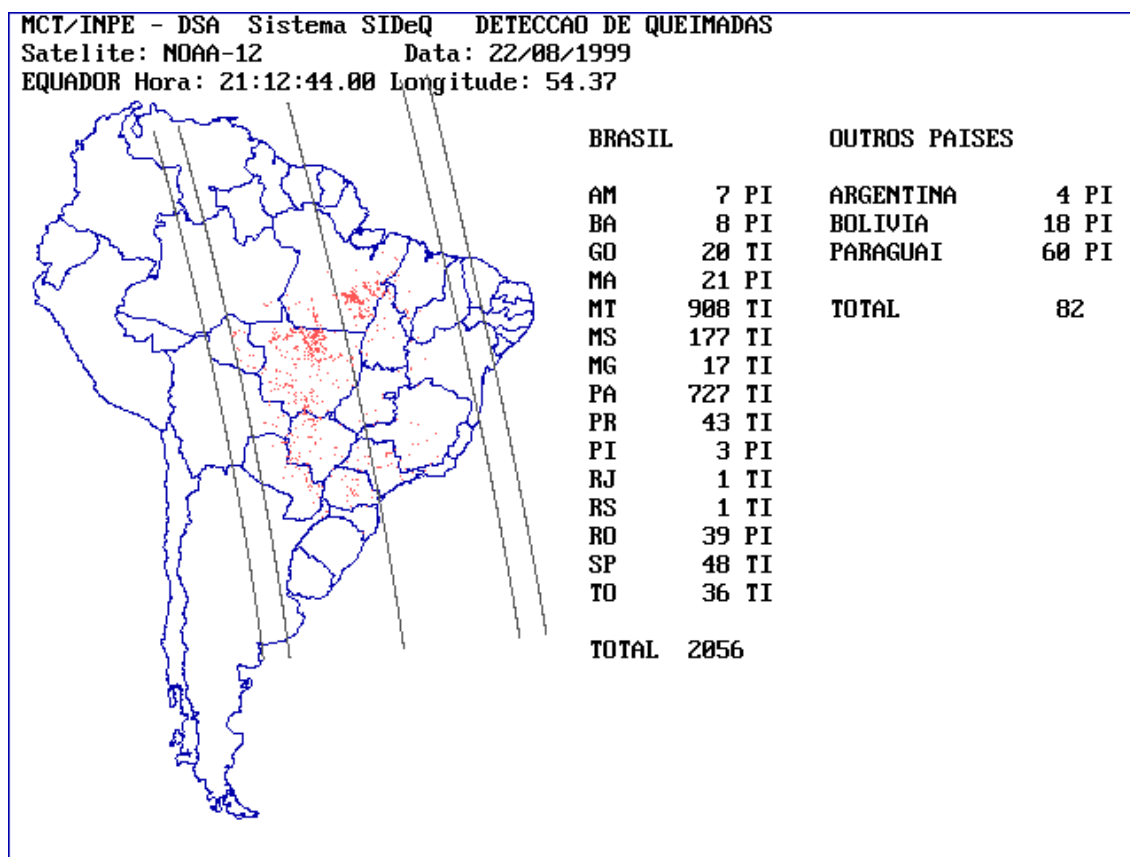


Figura 1 – Detecção de queimadas na América do Sul pelo satélite NOAA12 (fonte: MCT/INPE)

Neste trabalho foram selecionadas medições coletadas nos meses de agosto e setembro, entre 1996 e 2001, ao meio-dia local e acompanhadas de observações meteorológicas. Numa primeira análise foram selecionadas medições realizadas sob céu limpo, ou seja ausência ou pequena quantidade de nuvens altas (até 2 octas), baseadas no acompanhamento diário do sítio instrumental pelos técnicos do LIAPA e em fotos de satélites sobre a região. A hipótese de não se considerar uma pequena cobertura de nuvens altas, do tipo Cirrus, deve-se à dificuldade na observação das mesmas e à pequena atenuação que uma cobertura de nuvens nessas condições exerce sobre a R-UV (Vanicek et al., 2000). Na segunda fase de tabulação dos dados, foram selecionados os dias nos quais não

houve problemas de medição do conteúdo de ozônio pelo sensor TOMS. A tabela 1 apresenta o número de dias considerados em cada mês e cada ano, segundo os aspectos das análises realizadas.

	1996	1997	1998	1999	2000	2001	Total
Agosto	12	11	7	24	15	19	88
Setembro	7	7	9	15	15	7	60
Total	19	18	16	39	30	26	148

Tabela 1 – número de dias sem cobertura de nuvens

Simulação numérica

As simulações foram realizadas a partir de um código computacional de espalhamento múltiplo baseado no método de ordenadas discretas (Stamnes et al, 1988): o modelo espectral de transferência radiativa UVGAME – "*Ultraviolet Global Atmospheric Model*" (Corrêa et al., 2002). Este algoritmo tem como principais vantagens a suficiente flexibilidade para representar diferentes condições atmosféricas, temporais e geográficas distintas, baseadas em perfis teóricos ou reais e, um módulo de dados para características ópticas de aerossóis na região espectral UV, baseado no banco de dados OPAC "*Optical Properties of Aerosols and Clouds*" (Hess et al., 1998). Neste trabalho, o modelo foi utilizado para calcular irradiâncias, ultravioleta e eritêmica, integradas no espectro UVB (280–320nm). Estas últimas, irradiâncias eritêmicas ($E(\lambda)$), são determinadas a partir do produto de convolução entre as irradiâncias espectrais ($S(\lambda)$) e o espectro de resposta biológica da pele humana à R-UV ($\epsilon(\lambda)$) (McKinlay & Diffey, 1987). Ou seja:

$$E = \int_{\Delta\lambda} S(\lambda)\epsilon(\lambda)d\lambda \quad (1)$$

Nos cálculos realizados, foram consideradas situações de céu claro (sem nuvens ou aerossóis) com conteúdos totais diários de ozônio baseados nas medidas efetuadas pelo sensor TOMS (satélite *Earth Probe*). Os perfis verticais de ozônio, pressão e temperatura tiveram distribuição vertical segundo uma atmosfera tropical padrão (Mc Clatchey et al., 1972). A refletância da superfície gramada do sítio de medições foi considerada constante em relação ao comprimento de onda em toda região UV e de valor 0,05 (Lenoble, 1993).

Ozônio e Aerossóis: TOMS (*Total Ozone Mapping Spectrometer*)

O sensor TOMS, do satélite de órbita circumpolar *Earth Probe*, efetua medidas de radiância UV retro-espalhada em seis comprimentos de onda distintos. Inicialmente, este sensor foi desenvolvido para determinação de conteúdos integrados de ozônio na coluna atmosférica. Porém, devido às propriedades ópticas encontradas em algumas bandas espectrais da região UV, outros produtos puderam ser obtidos dessas medições. Os comprimentos de onda de 340 e 380nm possuem baixa absorção pelo ozônio e, por isso, a radiação retro-espalhada é controlada por outros fatores como o espalhamento de radiação causado dos aerossóis, por exemplo. Baseado no contraste entre medidas e cálculos teóricos para esses dois canais espectrais, pode-se estimar o tipo e a quantidade de aerossóis sobre uma certa região a partir de uma relação denominada índice de aerossóis (AI, do inglês *Aerosol Index*) e matematicamente definida por:

$$AI = -100 \log_{10} \left[\frac{I_{340}}{I_{380}} \right]_{\text{medido}} + 100 \log_{10} \left[\frac{I_{340}}{I_{380}} \right]_{\text{calculado}} \quad (2)$$

Na equação (2), os termos I_x , representam as radiâncias espectrais em 340 e 380 nm, medidas pelo sensor (medido) e calculadas por um modelo de transferência radiativa (calculado). Deste modo, o valor de AI representa uma medida espectral da radiância atenuada por aerossóis em relação a uma atmosfera cujo espalhamento seja somente de origem molecular. Essa hipótese é reforçada pelo fato que a refletância da superfície é praticamente constante na banda ultravioleta (Lenoble, 1993), tornando o método aplicável para a detecção de aerossóis. Devido ao contraste entre as radiâncias espectrais em 340 e 380nm, chegou-se à conclusão que valores positivos de AI geralmente correspondem a aerossóis absorvedores de R-UV, enquanto valores negativos são associados a aerossóis não-absorvedores (Longo, 1999). Estudos, como o de Hsu et al. (1999), mostram que as medidas do TOMS para

detecção de aerossóis provenientes de queimadas são confiáveis, apesar da necessidade de estudos mais aprofundados para estabelecer relações entre profundidades ópticas e índices aerossóis.

De acordo com a página internet do TOMS (<http://jwocky.gsfc.nasa.gov>), desde o início de agosto de 2001 o sensor sofre um processo de calibração e correção de erros sistemáticos. Por esta razão, os dados a partir desse período, apesar de apresentados, não foram considerados na análise da atenuação observada para a radiação ultravioleta.

RESULTADOS

Na figura (2) são apresentados os dados observados em dias de céu claro para os meses de agosto (colunas em cinza) e setembro (colunas em branco) de 1996 a 2001. Na parte superior são apresentadas irradiâncias UVB (escala à esquerda) e eritêmicas (escala à direita), em mW/m^2 , medidas pelo instrumento UVB-1. Na parte central estão os valores de conteúdo total de ozônio total presente na camada atmosférica (em Unidades Dobson); e, na parte inferior, os valores de índices de aerossol (AI), ambos determinados pelo sensor TOMS do satélite *Earth Probe*. Observa-se que, de acordo com a média climatológica zonal para a região (Robinson, 1966), o conteúdo de ozônio não sofreu nenhuma anomalia significativa no período. A média, entre os meses analisados, foi de 288 ± 14 DU, com máximo de 331 DU e mínimo de 257 DU. Agosto e setembro caracterizam-se por períodos de intensa atividade de queimadas e, portanto, os índices de aerossol atmosférico tendem a aumentar sensivelmente em relação aos outros meses do ano. Entre 1996 e 2001 destaca-se o ano de 1999 cujos níveis de aerossol atingiu valores extremos (acima de 2,5) entre meados de agosto e início de setembro. Tais concentrações de aerossóis em suspensão provocaram uma diminuição intensa nos níveis de radiação em superfície.

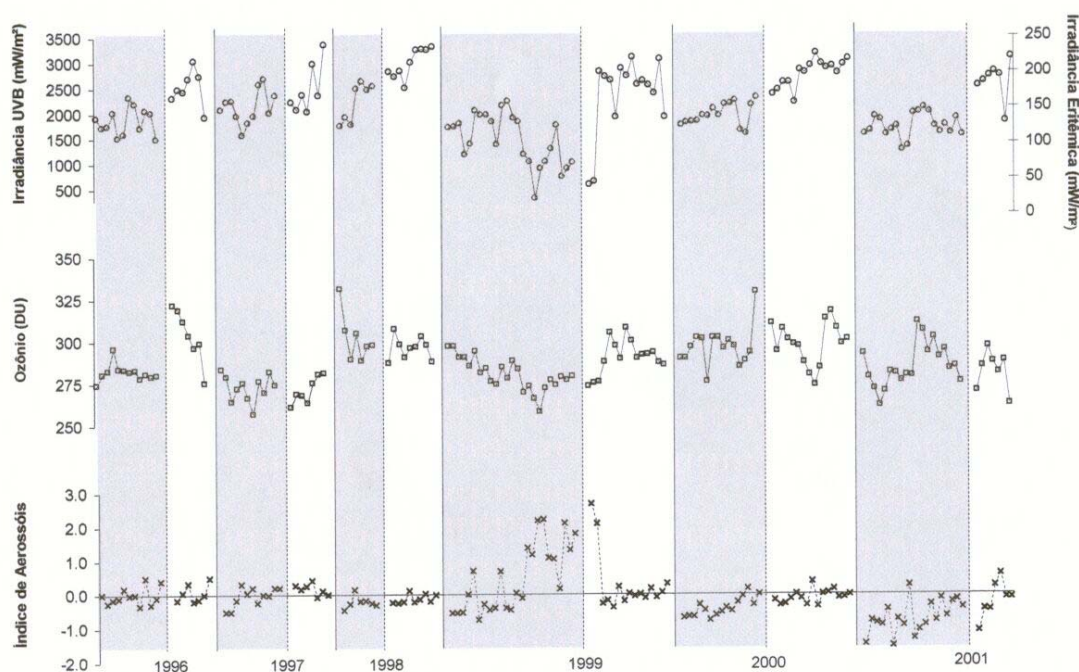


Figura 2 – Irradiâncias (UVB e eritêmica), ozônio e índice de aerossóis em Asunción entre 1996 e 2001

Complementando a figura (2), a figura (3) mostra a atenuação da radiação UVB em relação às variações da concentração de aerossol na atmosfera. Entende-se como atenuação a diferença relativa (em percentagem) entre os valores medidos pelo instrumento UVB-1 e os valores simulados pelo código computacional UVGAME considerando-se ausência de nuvens e aerossóis. As curvas apresentam boa concordância entre si, confirmando a hipótese de que particulados provenientes de queimadas possuem como característica o poder de atenuar (absorção ou espalhamento) os fluxos de radiação de maneira intensa (Eck et al., 1999). Os três primeiros anos analisados mostram episódios com queimadas menos intensas e, portanto, com índices de aerossóis menores. Nestes anos, os valores de IA foram inferiores a cinco e a média de atenuação da R-UV em torno de 20%. No ano de 1999, principalmente entre os dias 20 de agosto e 2 de setembro de 1999, houve grandes focos de queimadas. Segundo imagens do satélite NOAA-12, disponível na página internet do INPE (<http://www.cptec.inpe.br>), como exemplo, no dia 22 de agosto havia 60 focos de queimadas em território paraguaio e mais de 2000 focos em território brasileiro, sendo mais da metade na região centro-oeste do País (figura 1). Neste dia, o instrumento mediu

irradiância global de intensidade 308 mW/m^2 , enquanto a simulação apresentou valores de cerca de 2500 mW/m^2 para céu claro. Ou seja, uma redução de 88% em irradiâncias para índice de aerossol igual a 2,2. Observando conjuntamente as figuras (2) e (3) pode-se verificar que, devido ao intenso episódio de queimadas em 1999, a radiação UVB (ou a eritêmica) apresentou forte atenuação mesmo para os dias cujos níveis de ozônio favorecessem o aumento de R-UV em superfície.

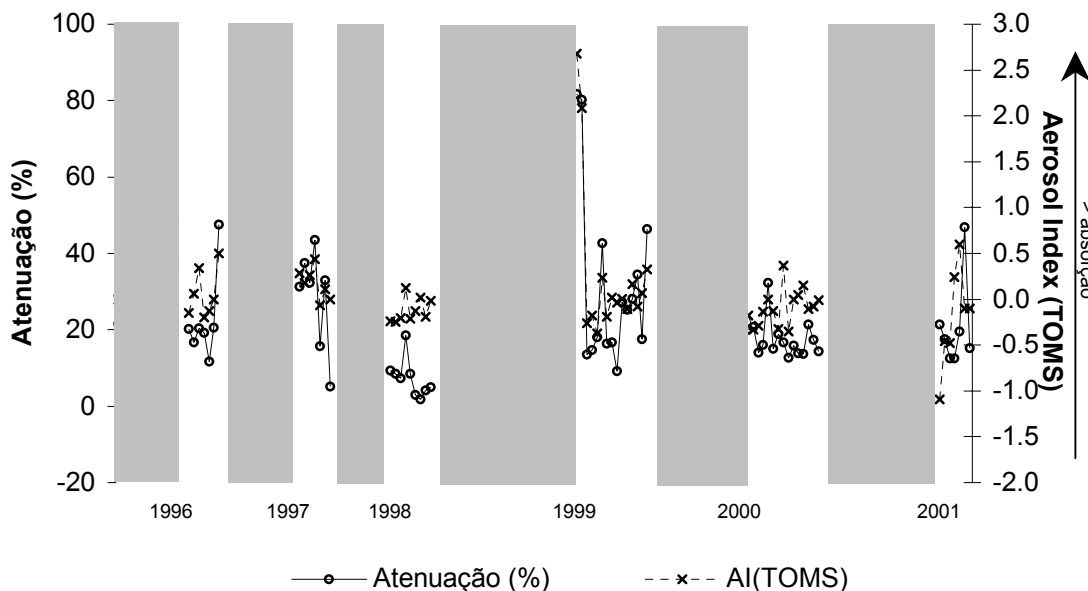


Figura 3 – Atenuação de radiação e índice de aerossóis para os meses de agosto (cinza) e setembro (branco)

A figura (4) mostra a correlação entre o índice de aerossóis e a atenuação de R-UV. Devido aos problemas na aquisição de dados pelo satélite durante o ano 2001, foram considerados os dados coletados entre 1996 e 2000. No eixo horizontal pode-se observar os dados de Índice de Aerossóis e no vertical a atenuação de radiação. Apesar de aerossóis provenientes de queimadas serem predominantemente absorvedores de R-UV (Eck et al., 1999) pode-se observar que em um grande número de observações o valor de IA aponta para partículas espalhadoras de radiação, ou seja, $IA < 0$. Este fato ocorre, principalmente, quando o valor de IA é próximo de zero ($-0,5 < IA < 0,5$), não sendo possível estabelecer qualquer correlação entre IA e atenuação de R-UVB. A partir de $IA = 0,5$ pode-se observar que IA e atenuação são diretamente proporcionais entre si.

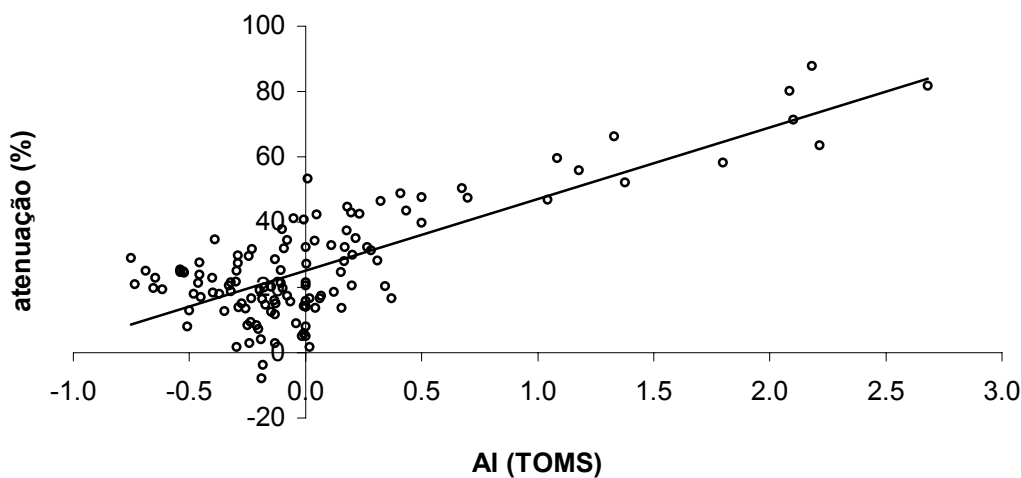


Figura 4 – Correlação entre a atenuação de radiação e o índice de aerossóis (1996 – 2000)

SUMÁRIO E CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo a investigação preliminar do impacto causado pelos aerossóis provenientes de queimadas sobre a R-UVB. Apesar das incertezas encontradas nos dados provenientes do satélite *Earth Probe*, é patente a alteração exercida pelos aerossóis nos fluxos de radiação em superfície. Dentre os anos analisados, 1999 destacou-se pelos altos níveis de particulados emitidos em agosto e setembro e a conseqüente atenuação de radiação. Na figura (5), que mostra o ciclo anual de radiação eritêmica e o índice de aerossóis, pode-se observar que a emissão dos poluentes afetou o comportamento do ciclo anual de radiação, diminuindo de maneira relevante os fluxos nos meses de agosto e setembro. De maneira geral, na seqüência de anos estudados, os valores de IA geralmente encontram-se entre $-0,5$ e $+0,5$, com a radiação sofrendo atenuação entre 0 e 40%. Nenhuma correlação pôde ser observada para os dados analisados dentro desse intervalo de valores de IA. Este fato ocorreu, principalmente, em dias com pequena ocorrência de queimadas ou quando as situações sinóticas favoreciam a dispersão dos poluentes e, pode ser atribuído principalmente às incertezas dos produtos do satélite ou mesmo de erros inerentes ao equipamento. Para valores de IA $> 1,0$, os valores correlacionam-se de maneira mais coerente. Nestes casos, a atenuação varia de valores próximos a 50%, para IA $\approx 1,0$, e próximos de 90%, para IA em torno de 2,5.

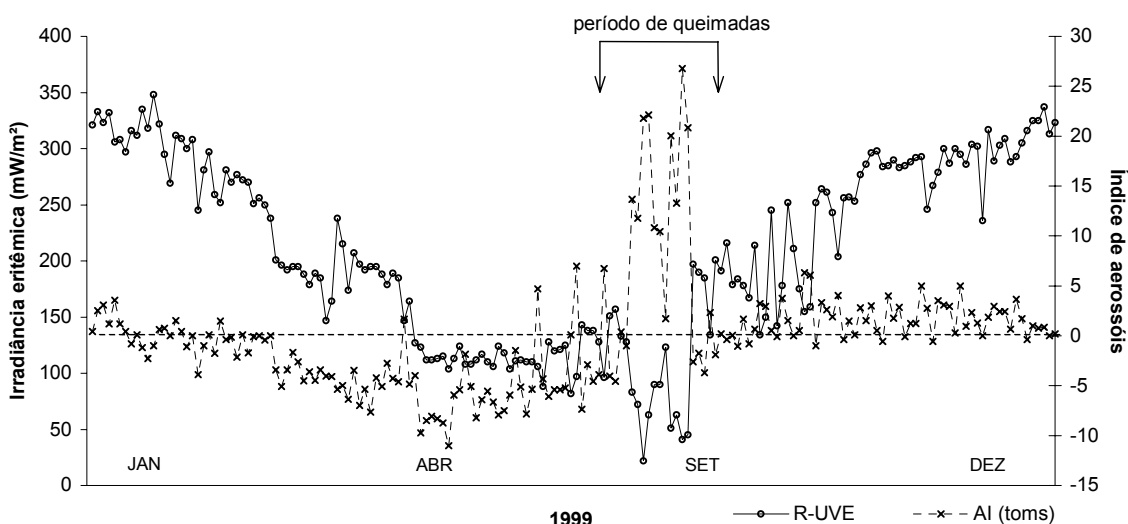


Figura 5 – ciclo anual de radiação eritêmica e índice de aerossóis para 1999

As perspectivas para a continuidade dos estudos são muito grandes e envolvem, principalmente, a caracterização das propriedades ópticas dos aerossóis e a determinação da correlação AI versus atenuação, para valores de AI próximos de zero. Para tanto, sugere-se a realização de campanhas experimentais curtas, durante o período de queimadas, com utilização de instrumentos como espectrorradiômetros e dados obtidos pelo sensor MODIS (*Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer*), a bordo do satélite *Terra*. Outros fatores como a altura da camada, trajetórias de massas de ar, envelhecimento do aerossol e o tipo de atividade antropogênica responsável pela emissão do poluente também devem ser investigados. Estuda-se a possibilidade da realização de estudos semelhantes em outros sítios, como a cidade de São Paulo, para que o impacto decorrente de outros tipos de aerossóis também possa ser analisado.

Agradecimentos: No Paraguai: al Laboratorios Andrómaco; a José Cabrera, María Elena Hume y Fernando Barrios técnicos del LIAPA por su apoyo computacional y manejo de los datos de la estación. No Brasil: FAPESP, Profs. Drs. Pedro Leite da Silva Dias e Artemio Plana-Fattori e Drs. Saulo Freitas e Karla Longo (DCA/IAG/USP). Este trabalho faz parte do PROSUR (*PROgram for the study of regional climate variability, their prediction and impacts, in the mercoSUR área*).

BIBLIOGRAFIA

1. Corrêa, M.P., P. Dubuisson and A. Plana-Fattori. An accurate code for UVI calculations: UVGAME. Comparisons from theoretical and experimental approaches. *Photochem. and Photob.*, submetido em julho de 2001. Em fase de revisão.
2. Diffey, B.L. Solar ultraviolet radiation effects on biological systems. *Phys. Med. Biol.*, 36(3), 299-328, 1991.
3. Eck, T.F., B.N. Holben, J.S. Reid, O. Dubovik, A. Smirnov, N.T. O'Neill, I. Slutsker and S. Kinne. Wavelength dependence of the optical depth of biomass burning, urban and desert dust aerosols. *J. Geophys. Res.*, 104(31), 333-350, 1999.
4. Hess, M., P. Koepke, I. Schult. Optical properties of aerosols and clouds: the software package OPAC. *Bull. of the Amer. Met. Soc.*, 79(5), p.831-844, 1998.
5. Holben BN, A. Setzer, T.F. Eck, A. Pereira, J. Slutsker. Effect of dry-season biomass burning on Amazon basin aerosol concentrations and optical properties, 1992-1994. *J. Geoph. Res.*, 104(D14), 19465-19481, 1996.
6. Hsu, N.C., J.R. Hermann, O. Torres, B.N. Holben, D. Tanré, T.F. Eck, A. Smirnov, B. Chatenet e F. Lavenu. Comparisons of the TOMS aerosol index with sun-photometer aerosol optical thickness: Results and applications, *J. Geophys. Res.*, 101, 24235-24250, 1996.
7. Kiehl, J.T. and B.P. Briegleb. The relative roles of sulfate aerosols and greenhouse gases in climate forcing. *Science*, 206, 311-314, 1993.
8. Lenoble, J. **Atmospheric radiative transfer**. A. Deepak Publishing, 1993. 532p.
9. Long, C.S., A.J. Miller, H.T. Lee, J.D. Wild, R.C. Przywarty and D. Hufford. Ultraviolet index forecasts issued by the national weather service. *Bull. of Amer. Met. Soc.*, 77(4), 729-748, 1996.
10. Longo, K. Estudos de partículas de aerossóis e gases traços na atmosfera da bacia amazônica: Influências das circulações regionais e de larga escala. Tese de Doutorado. Instituto de Física, Universidade de São Paulo, 1999.
11. McClatchey, R.A., R.W. Fenn, J.E.A. Selby, F.E. Volz and J.S. Garing (1972) *Optical properties of the atmosphere* (Third Edition). Publ. AFCRL-72-0497, Air Force Cambridge Res. Lab., Hanscom.
12. Mc Kinley, A.F., B.L. Diffey. A reference spectrum for ultraviolet induced erythema in human skin. *CIE-Journal*, V.6, n.1, p.17-22, 1987.
13. Robinson, N. **Solar Radiation**. Elsevier Pub. Co., 347p., 1966.
14. Stamnes, K., S.C. Tsay, W. Wiscombe, K. Jayaweera. Numerically stable algorithm for discrete-ordinate-method radiative transfer in multiple scattering and emitting layered media. *Appl. Optics*, v. 27, n.12, p. 2502-2509, 1988.