

CÁLCULO DA COMPONENTE DIFUSA ENTRE 30-150 keV EM $4g \cdot cm^{-2}$ PARA UM DETECTOR SEMI-UNIDIRECIONAL UTILIZANDO O MÉTODO DE MONTE CARLO

O. PINTO JR. e W.D. GONZALEZ

Instituto de Pesquisas Espaciais – INPE
C.P. 515, 12201 São José dos Campos, SP

Results on the propagation of the X-ray diffuse component in the atmosphere, using the Monte Carlo method, are presented. A comparison of this method with the one that assumes only the direct component is performed, showing that the scattered component must be considered in the total flux.

INTRODUÇÃO

A componente difusa, isto é, raios-X extragalácticos com uma distribuição angular isotrópica, foi descoberta no início da década de 60 (Metzger et al., 1964). Logo após a sua descoberta, tornou-se necessário determinar como esta componente variava com a altura dentro da atmosfera, de modo a poder comparar medidas feitas em diferentes alturas. Para tal, era necessário calcular a propagação da componente difusa na atmosfera, um típico problema de propagação de radiação na matéria. Este cálculo, considerando diferentes aproximações, já foi feito por diversos autores (Makino, 1970; Horstman & Moretti, 1971; Pilkington & Anger, 1971; Horstman et al., 1975).

Neste trabalho uma discussão é feita a respeito das diversas aproximações utilizadas no cálculo da propagação da componente difusa dentro da atmosfera. Uma comparação é feita entre os espectros da componente difusa entre 30-150 keV em $4g \cdot cm^{-2}$ (~38km, típica altura de balão) correspondentes ao total de fótons e àqueles que não sofrem qualquer tipo de interação. O conhecimento preciso da componente difusa em altura de balão é fundamental no estudo de outras componentes de raios-X existentes nestas alturas, principalmente em regiões de baixas latitudes, como por exemplo, a região da anomalia magnética do Atlântico Sul (Pinto & Gonzalez, 1986a; Pinto & Gonzalez, 1986b).

PROPAGAÇÃO NA ATMOSFERA

Raios-X ao se propagarem na atmosfera, interagem com os constituintes atmosféricos principalmente por dois processos: absorção fotoelétrica e efeito Compton.

Considere-se um detector colocado em um ponto "A", numa profundidade atmosférica Z_A . O fluxo de fótons de energia E, que não sofreram nenhuma interação, incidentes no detector dentro de um elemento de ângulo sólido $d\Omega$ (centrado numa direção θ em relação ao zênite), devido a um espectro isotrópico de fótons $I(E)$ incidentes no topo da atmosfera (considerada plana), é dado por:

$$I_A^D(E, \vec{\Omega})d\Omega = I(E) \exp(-\tau_a(E)Z_A/\cos\theta)d\Omega, \quad (1)$$

onde $\tau_a(E)$ é o coeficiente da atenuação linear devido à absorção fotoelétrica e ao efeito Compton para o ar. A este fluxo dá-se o nome de componente direta.

Todavia, devido à natureza do efeito Compton, sabe-se que fótons de uma dada energia incidentes em uma dada direção no topo da atmosfera podem, por múltiplos espalhamentos, contribuir para o fluxo incidente no detector com uma diferente direção e com uma diferente energia. A este fluxo de fótons dá-se o nome de componente espalhada. De modo a obter-se o fluxo total de fótons de uma dada energia (componente direta mais componente espalhada) em uma dada profundidade e direção, é necessário considerar todos os fótons incidentes acima desta energia, provenientes de todas as direções. Então, o fluxo total de fótons é, no ponto "A", dado por:

$$I_A^T(E, \vec{\Omega})d\Omega = I(E) [\exp(-\tau_a(E)Z_A/\cos\theta) + S(E, Z_A, \theta)]d\Omega, \quad (2)$$

onde o efeito da componente espalhada é representado genericamente pelo termo $S(E, Z_A, \theta)$.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Figs. 1, 2 e 3 mostram a razão $I_A(E, \Omega)/I(E)$ para o fluxo total e para a componente direta em função da energia para $4g \cdot cm^{-2}$ e θ igual a 0° , 53° e 82° , respectivamente. Para o fluxo total, o cálculo foi feito pelo método de Monte Carlo, considerando um espectro incidente no topo da atmosfera do tipo E^{-2} (Pinto, 1985). Para a componente direta, considerou-se a atmosfera tanto plana como

circular (atmosfera real) o que equivale a substituir $Z_A/\cos \theta$ em (1) por $X(\theta)$, onde $X(\theta)$ é dada por:

$$\cos \theta = \frac{R_1^2 - R_2^2 - X^2(\theta)}{2R_2 X(\theta)} \quad (3)$$

e R_1 e R_2 representam as distâncias do centro da Terra ao topo da atmosfera e ao ponto "A", respectivamente (Pinto, 1985). Nas Figs. 1 e 2 as curvas correspondentes à atmosfera plana e real são coincidentes. Da análise das Figs. 1, 2 e 3, três aspectos são relevantes: primeiro, a importância da componente espalhada, responsável pela diferença entre as curvas para o fluxo total e para a componente direta; segundo, a aproximação de considerar a atmosfera como plana, no cálculo da componente direta, tem pouca influência e é restrita a grandes ângulos zenitais em comparação com a atmosfera real; terceiro, a partir da inclinação das curvas acima de ~ 60 keV, o fato de o fluxo total tender a um espectro mais inclinado dentro da atmosfera e a componente direta a um menos inclinado.

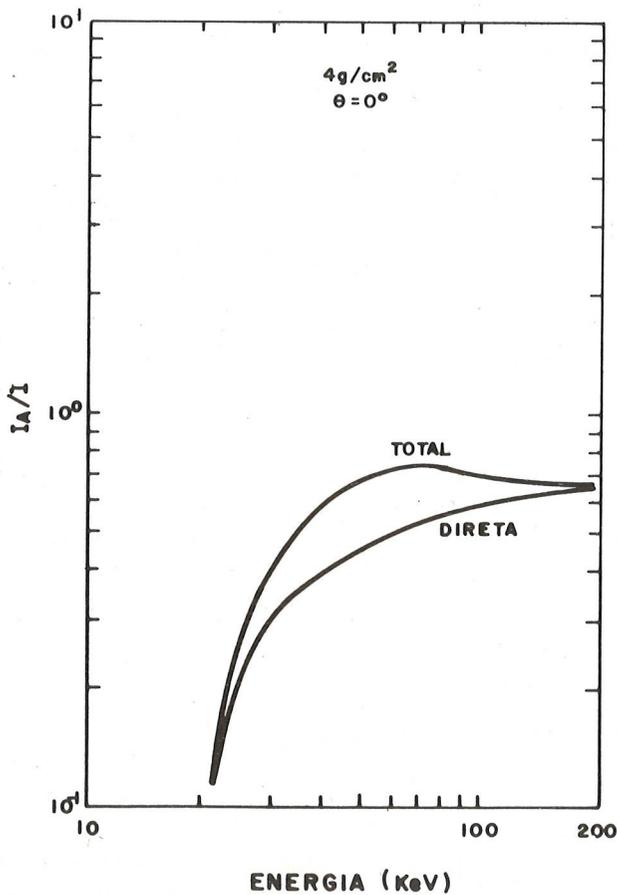


Figura 1. Razão I_A/I para o fluxo total e para a componente direta em função da energia, para $4g \cdot cm^{-2}$ e ângulo zenital igual a 0° .

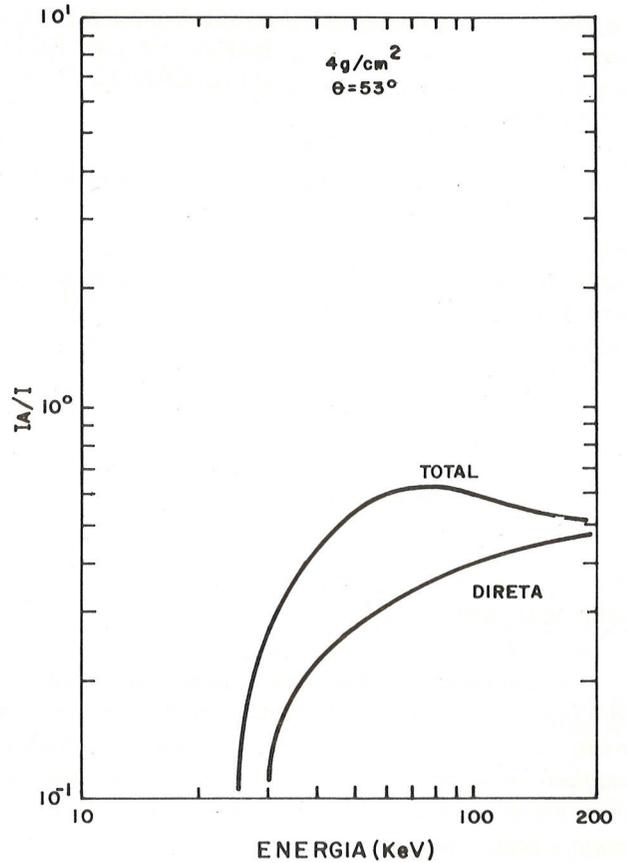


Figura 2. Idem Figura 1, para ângulo zenital igual a 53° .

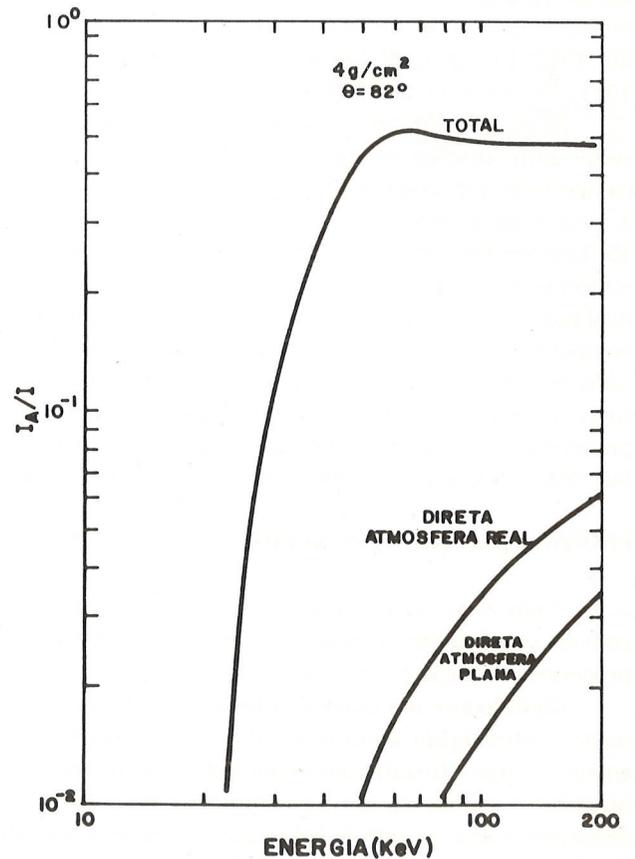


Figura 3. Idem Figura 1, para ângulo zenital igual a 82° .

A Fig. 4 mostra a razão I_A/I em função do ângulo zenital, para a energia de 100keV, fora da atmosfera (fluxo isotrópico) e em $4g \cdot cm^{-2}$ (para o fluxo total e para a componente direta). Vê-se a larga diferença entre as curvas, principalmente para grandes ângulos zenitais, devida à componente espalhada. Esta diferença é dependente da energia dos fótons considerados, tendendo a diminuir com o aumento da energia, o que pode ser observado a partir de uma análise das Figs. 1, 2 e 3.

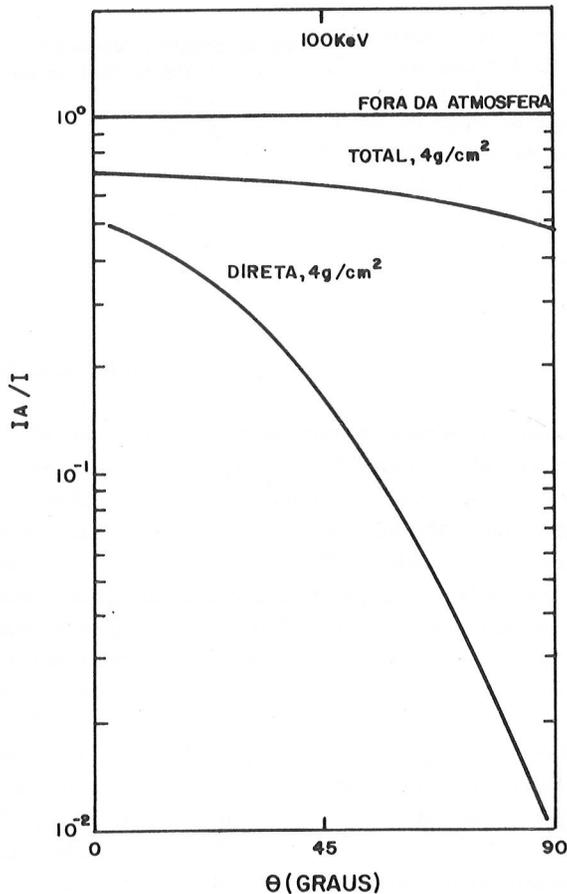


Figura 4. Razão I_A/I para o fluxo total e para a componente direta em função do ângulo zenital, para 100keV, para o topo da atmosfera e $4g \cdot cm^{-2}$.

A Fig. 5 mostra o espectro da componente difusa (fluxo total e componente direta) em $4g \cdot cm^{-2}$ como o medido por um detector semi-unidirecional (sensível ao hemisfério superior), considerando um fluxo primário no topo da atmosfera de $17E^{-2}$ fótons $\cdot cm^{-2} \cdot s^{-1} \cdot keV^{-1} \cdot sr^{-1}$ (Pinto, 1985). O espectro para o fluxo total mantém a forma E^{-2} (na realidade existe uma pequena tendência a um espectro mais inclinado, principalmente em maiores profundidades atmosféricas); já a componente direta apresenta um espectro menos inclinado ($E^{-1,8}$). A diferença entre os espectros é significativa nestas energias, indicando a importância da componente espalhada para o fluxo total. No pas-

sado, esta importância foi indicada (Makino, 1970; Horstman & Moretti, 1971; Pilkington & Anger, 1971) em concordância com estes resultados.

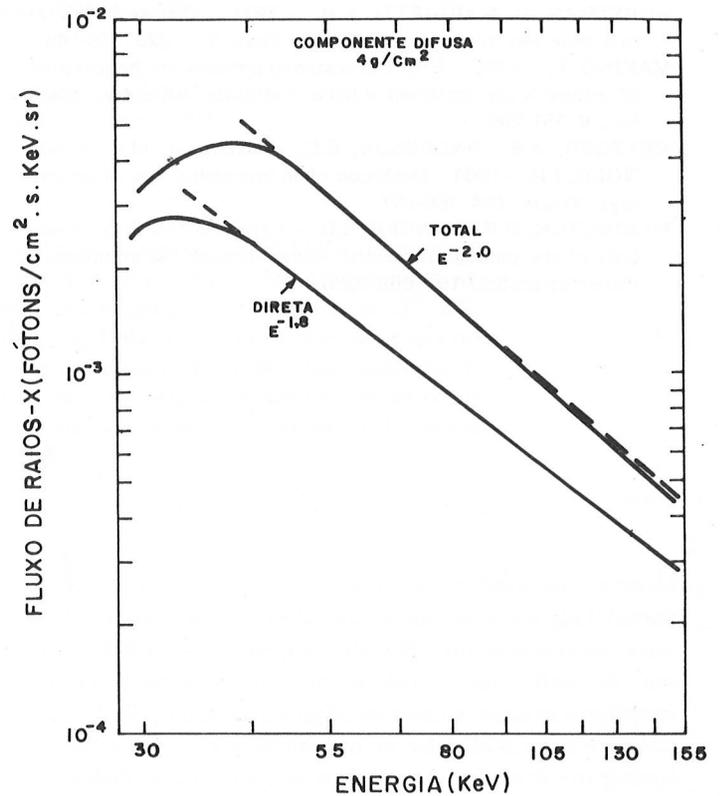


Figura 5. Espectro da componente difusa em $4g \cdot cm^{-2}$, entre 30-150keV, considerando o fluxo total e a componente direta somente.

CONCLUSÃO

A partir do cálculo da propagação da componente difusa na atmosfera, utilizando o método de Monte Carlo, conclui-se que na faixa de raios-X (30-150keV) e em alturas de balão (30-40km) o fluxo de fótons espalhados por efeito Compton na atmosfera deve ser levado em conta, independentemente do ângulo zenital considerado.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi parcialmente subvencionado pelo Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FNDCT), através do Contrato FINEP-537/CT. Os autores agradecem aos colegas I.R.C.A. Pinto e O. Mendes Jr. o apoio durante a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

HORSTMAN, H., CAVALLO, G. & MORETTI, E.H. — 1975 — The X and γ diffuse background. *Nuovo Cimento*, **5**:255-311.

HORSTMAN, H. & MORETTI, E.H. — 1971 — Diffuse cosmic X-rays observed from balloons. *Nature Phys. Sci.*, **229**:148-149.

MAKINO, F. — 1970 — Effect of scattered photons on the spectrum of diffuse X-rays observed at balloon altitude. *Astrophys. Space Sci.*, **8**:251-255.

METZGER, A.E., ANDERSON, E.C., VANDILLA, M.A. & ARNOLD, J.R. — 1964 — Detection of an interstellar flux of gamma-rays. *Nature*, **204**:766-767.

PILKINGTON, G.R. & ANGER, C.D. — 1971 — A Monte Carlo analysis of the passage of auroral X-rays through the atmosphere. *Planet. Space Sci.*, **19**:1069-1085.

PINTO, O., JR. — 1985 — Estudo sobre raios-X na atmosfera da Anomalia Magnética do Atlântico Sul. Tese de Doutorado em Ciência Espacial, INPE.

PINTO, O., JR. & GONZALEZ, W.D. — 1986a — Atmospheric X-rays at 11°S geomagnetic latitude. *J. Atmos. Terr. Phys.*, **48**:485-489.

PINTO, O., JR. & GONZALEZ, W.D. — 1986b — X-rays measurements at South Atlantic Magnetic Anomaly. *J. Geophys. Res.*, **91**:7072-7078.

Versão original recebida em Jul/85;
Versão final em Abr/87.