

## INFLUÊNCIA DE UM COLIMADOR PASSIVO EM MEDIDAS DE RAIOS-X NA ATMOSFERA EM 11°S DE LATITUDE GEOMAGNÉTICA

O. PINTO JR., W.D. GONZALEZ e I.R.C.A. PINTO

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

A comparative analysis of the X-ray measurements, obtained by a passive collimated detector on July 23, 1968 and by an uncollimated detector on April 14, 1981, both using a NaI(Tl) scintillation crystal and launched on board balloons from São José dos Campos — Brazil ( $\sim 11^\circ\text{S}$  geomagnetic latitude), is presented. The results show that most of the flux (80%) measured on July 23, 1968 was produced on the collimator (Pb-Sn-Ta, each with a 1 cm thickness), with a production rate of  $2.76 \cdot 10^{-2}$  photons  $\cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$  at  $10 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2}$  and for the energy range between 25 and 150 keV. This produced flux, when considered in the calculation of the sensibility of the detector to an additional flux, showed that the collimated detector is less appropriate than the uncollimated one in order to measure any additional flux.

### INTRODUÇÃO

Medidas de raios-X na atmosfera utilizando detectores de NaI(Tl) a bordo de balões estratosféricos têm sido feitas desde o final da década de 50 (Anderson, 1960). O objetivo fundamental destas medidas é determinar as características das diversas componentes existentes na atmosfera: atmosférica (secundária da radiação cósmica), difusa, devida a fontes astrofísicas e devida à precipitação de elétrons magnetosféricos. Neste contexto determinou-se que a componente atmosférica possui, em altura de balão, uma distribuição angular tal que o fluxo ascendente é superior ao fluxo descendente (Brini et al., 1965). Por outro lado a componente difusa, bem como aquelas associadas a fontes astrofísicas ou à precipitação de elétrons na atmosfera, apresenta, devido à sua própria origem, um maior fluxo na direção para baixo. Este fato levou à idéia de utilizar, ao redor de detectores de raios-X, colimadores com uma abertura na parte superior, de modo a ressaltar o fluxo vindo de cima e, com isto, melhorar a sensibilidade dos detectores a estes fluxos. Dois tipos básicos de colimadores são empregados: passivos e ativos. No primeiro caso, um material, em geral de alto número atômico, é colocado parcialmente ao redor do detector de modo a impedir que o fluxo de raios-X vindo de uma determinada direção atinja o detector. Todavia este colimador apresenta, como inconveniente, uma produção própria de fótons devido à sua interação com as partículas carregadas existentes na atmosfera. Já no caso do colimador ativo, é usado um sistema eletrônico de rejeição dos fótons produzidos no colimador.

Neste trabalho é feita uma comparação entre medidas de raios-X realizadas em São José dos Campos, Brasil, feitas com dois detectores, um com e outro sem colimador passivo. Salienta-se a importância da produção de fótons no colimador para o cálculo da sensibilidade do detector, já apontada

anteriormente por Peterson (1975), o que é fundamental no seu desempenho na atmosfera. Calcula-se a produção de fótons no colimador (válida para  $11^\circ\text{S}$  de latitude geomagnética) e suas implicações quanto à determinação de um fluxo de raios-X devido à precipitação de elétrons nesta região.

### ANÁLISE DAS MEDIDAS

As medidas foram efetuadas em dois vôos de balão levando a bordo detectores de raios-X, e realizados a partir de São José dos Campos, Brasil. O primeiro vôo (Martin, 1972) ocorreu em 23 de julho de 1968 utilizando um cristal de NaI(Tl) de dimensões  $2,54 \text{ cm} \times 2,54 \text{ cm}$  com um colimador passivo de aproximadamente  $2,50 \text{ cm}$  de altura e  $3 \text{ cm}$  de espessura, composto de chumbo, estanho, e tântalo ( $1 \text{ cm}$  cada) formando um ângulo de abertura de  $26^\circ$  em relação ao zênite. O segundo vôo (Pinto, 1985; Pinto & Gonzalez, 1986b) ocorreu em 14 de abril de 1981, utilizando um cristal de NaI(Tl) de dimensões  $7,62 \text{ cm} \times 1,27 \text{ cm}$  sem colimador.

A Fig. 1 mostra as contagens por  $\text{cm}^2 \cdot \text{s}$  obtidas em 23 de julho de 1968 e em 14 de abril de 1981. Devido ao colimador, os valores obtidos em 23 de julho de 1968 são bem menores. Tal comportamento é esperado abaixo de aproximadamente  $1 \text{ MeV}$  (Vette, 1962; Charakhch'yan et al., 1978); acima de  $1 \text{ MeV}$  o inverso tende a acontecer (Jones, 1961; Vette, 1962). Outro efeito do colimador é um deslocamento do máximo de Pfozter para uma profundidade atmosférica menor (aproximadamente  $120\text{-}130 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2}$  para  $80 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2}$ ), o que pode ser visto na Fig. 2, onde o fluxo de fótons  $\cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{keV}^{-1} \cdot \text{sr}^{-1}$  é mostrado em função da profundidade atmosférica para os dois vôos. A posição do máximo de Pfozter depende também da distribuição angular da radiação detetada, porém em menor grau (Ray, 1961).

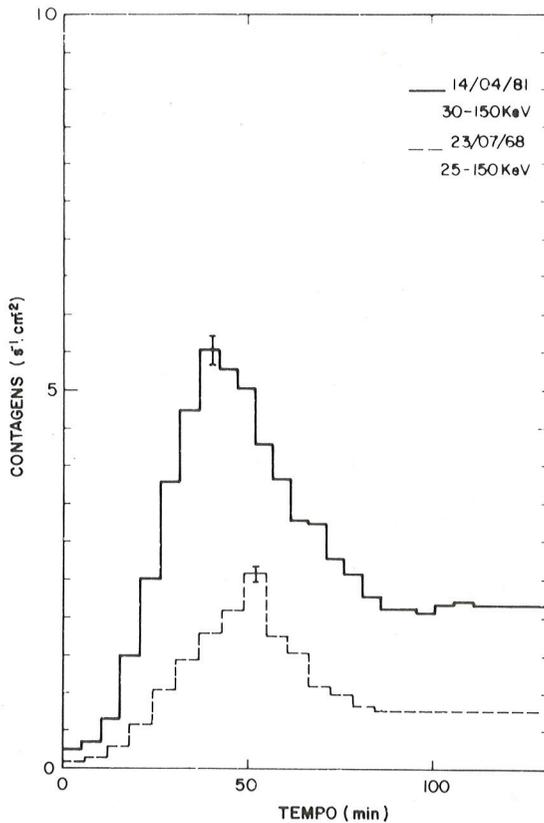


Figura 1. Comparação das contagens obtidas em 23 de julho de 1968 (com colimador) e em 14 de abril de 1981 (sem colimador).

A diferença de fluxo entre as curvas da Fig. 2 representa a produção local do colimador (seja por partículas carregadas, seja por efeito Compton de raios- $\gamma$ ). A relação dos fluxos mostra que aproximadamente 80% do fluxo me-

tido em 23 de julho de 1968 é gerado no colimador. Este valor concorda, levando em consideração as diferenças de detectores e de geometrias, com o medido por Peterson (1967) – 94%, e com o estimado empiricamente por Kasturirangan (1971) –  $>50\%$ .

A produção por grama devida ao colimador ou função fonte, como definida por Peterson et al. (1973) para um detector colimado, é dada por:

$$S = \frac{4\pi\tau}{\Omega} I, \quad (1)$$

onde  $\tau$  é o coeficiente de absorção fotoelétrica para o colimador;  $\Omega$  é o ângulo sólido do detector ocupado pelo colimador; e  $I$  é o fluxo de fótons  $\cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{keV}^{-1}$  incidente. Para o colimador usado no voo de 23 de julho de 1968 obtém-se em  $10 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2}$  e entre 25-100keV, um valor de  $2,76 \cdot 10^{-2}$  fótons  $\cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ . Este valor, levando em consideração as diferenças de materiais utilizados e a rigidez do local da medida, é próximo de  $2,10 \cdot 10^{-2}$  fótons  $\cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ , obtido por Vette (1962) entre 25-160keV com um colimador de chumbo em  $40^\circ\text{N}$  de latitude magnética, e de  $6,90 \cdot 10^{-2}$  fótons  $\cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ , obtido por Peterson (1967) entre 50-150keV, também com um colimador de chumbo em  $40^\circ\text{N}$ . Este último é sujeito a possível contaminação radioativa do detector (Peterson, 1967).

Outro ponto importante a considerar é quanto à sensibilidade dos detectores com e sem colimador, isto é, o mínimo fluxo detetável. A expressão para o mínimo fluxo detetável por  $\text{cm}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{keV} \cdot \text{sr}$  (Peterson, 1975) é:

$$I_{\min} = R \left[ \frac{I}{\epsilon \cdot G \cdot t \cdot \Delta E} \right]^{1/2} \quad (2)$$

onde  $I$ ,  $R$ ,  $\epsilon$ ,  $G$ ,  $t$ , e  $\Delta E$  representam, respectivamente, o fluxo devido a todas as outras fontes, a relação sinal-ruído,

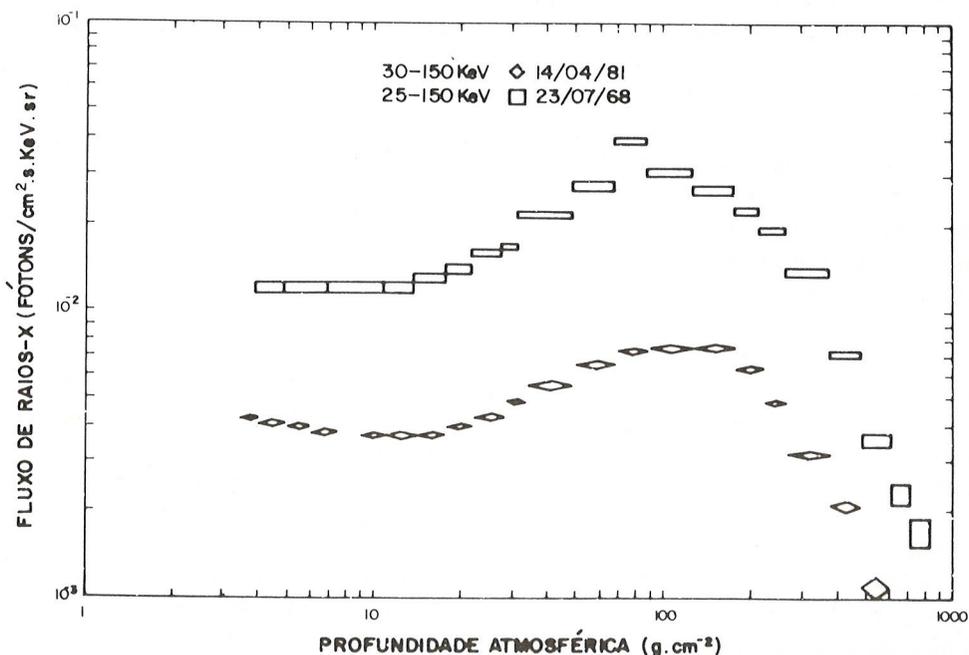


Figura 2. Fluxo de raios-X entre  $\sim 30$ -150 keV medido durante os vãos de balão realizados em 23 de julho de 1968 e 14 de abril de 1981.

a eficiência, o fator geométrico, a duração da medida e a faixa de energia. Então, tem-se a seguinte relação entre o detector com colimador (c) e o detector sem colimador (s):

$$\frac{I_{\min_c}}{I_{\min_s}} = \left[ \frac{I_c G_s \Delta E_s \epsilon_s}{I_s G_c \Delta E_c \epsilon_c} \right]^{1/2} \quad (3)$$

Considerando os fluxos de fótons incidentes dados na Fig. 2, os fatores geométricos dos dois detectores,  $G_c = 3,78 \text{ cm}^2 \cdot \text{sr}$  (Martín, 1972) e  $G_s = 191,01 \text{ cm}^2 \cdot \text{sr}$  (Pinto, 1985), as faixas de energia,  $\Delta E_c = 125 \text{ keV}$  e  $\Delta E_s = 120 \text{ keV}$ , e as eficiências médias nestas faixas de energia, tem-se, da equação (3):

$$I_{\min_c} \cong 15 I_{\min_s}$$

A razão entre as eficiências médias para os detectores com e sem colimador, levando-se em conta as faixas de energia medidas e a distribuição angular e espectral dos fótons, pode ser considerada igual a um, com um erro inferior a 10%. Levando em consideração que o fluxo por esterradiano para o detector com colimador, devido a um fluxo adicional isotrópico, é, no máximo, duas vezes maior do que para o detector sem colimador (Pinto, 1985), tem-se que o detector sem colimador é mais adequado à medida de uma componente adicional do que o detector com colimador passivo.

O efeito do colimador sobre a forma espectral do fluxo de raios-X é mostrado na Fig. 3. As duas faixas supe-

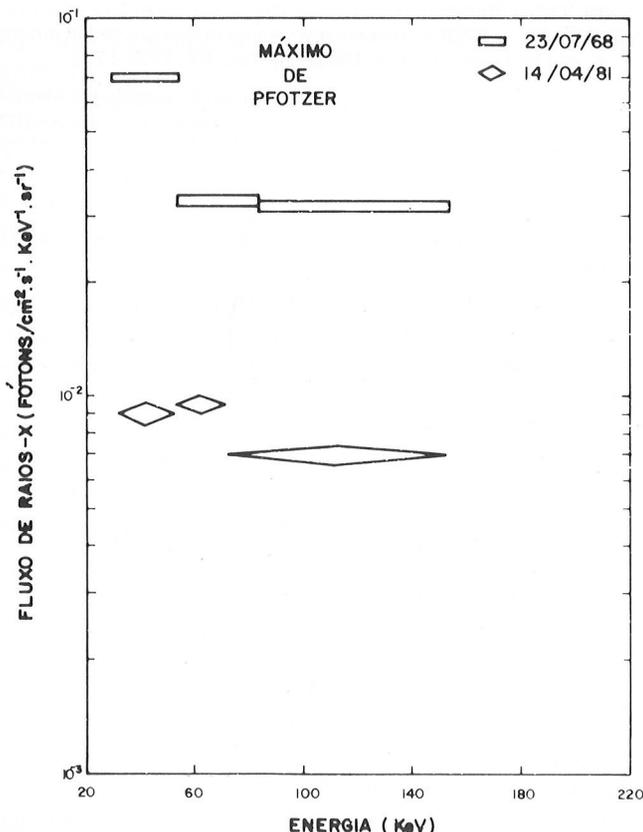


Figura 3. Espectros no máximo de Pfozter para 23 de julho de 1968 e 14 de abril de 1981.

riores mostram uma tendência a um espectro mais plano para o vôo com colimador. Tal comportamento pode estar associado ao fato de a eficiência do colimador diminuir com o aumento da energia. Este fato foi verificado por outros autores (Vette, 1962; Kasturirangan, 1971; Charakhch'yan et al., 1978). O canal 25-50keV do vôo de 23 de julho de 1968 mostra um valor bem maior que os outros canais (Fig. 4). Tal fato, também verificado por Vette (1962), deve ser resultado da interação de partículas carregadas com o detector, visto que o espectro de equilíbrio de fótons nos materiais usados nos colimadores não apresenta tal comportamento (Kolchuzhkin & Bepalov, 1975).

Finalmente, a Fig. 4 mostra a diferença entre os fluxos medidos em 23 de julho de 1968 e 14 de abril de 1981 no máximo de Pfozter, comparada com as medidas feitas por Vette (1962) com chumbo. Estes fluxos gerados no colimador e no chumbo apresentam um comportamento similar, apesar das diferenças nos detectores, materiais e locais das medidas.

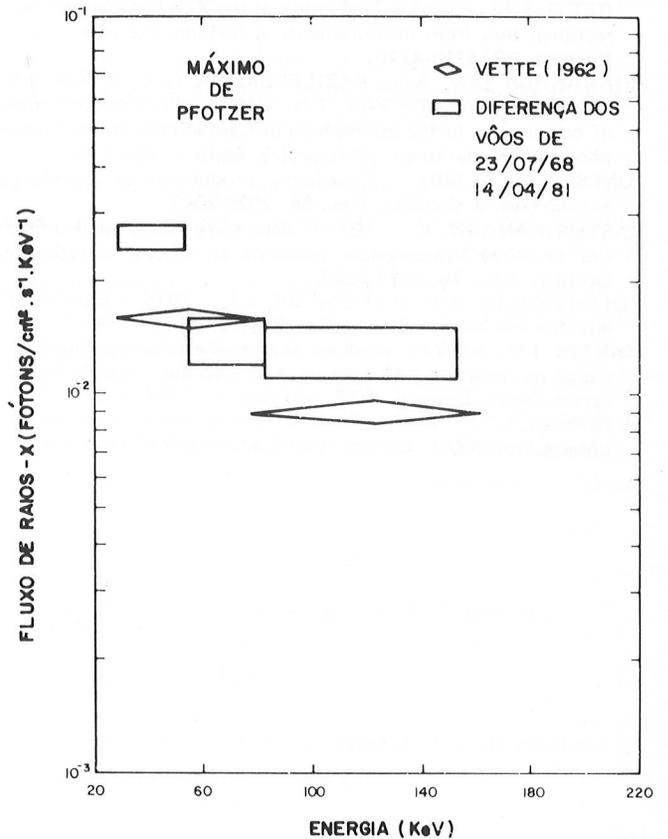


Figura 4. Diferença entre os fluxos medidos em 23 de julho de 1968 e 14 de abril de 1981, comparada com as medidas de Vette (1962) com chumbo.

### CONCLUSÕES

Da análise comparativa das medidas de raios-X obtidas com detectores de NaI(Tl) a bordo de balões lançados de São José dos Campos em 23 de julho de 1968 e 14 de abril de 1981, e levando-se em consideração que somente o

detetor utilizado em 23 de julho de 1968 possuía um colimador passivo de chumbo, estanho e tântalo, pôde-se determinar a influência do colimador sobre as medidas de raios-X na atmosfera.

Determinou-se para o colimador de chumbo, estanho e tântalo (1 cm cada) uma produção de  $2,76 \cdot 10^{-2}$  fótons  $\cdot g^{-1} \cdot s^{-1}$  em  $10g \cdot cm^{-2}$ , entre 25-150 keV. Esta produção, quando considerada no cálculo da sensibilidade do detetor a um fluxo adicional, mostrou que tal detetor é menos adequado do que um detetor não-colimado para a medida de um fluxo adicional proveniente do hemisfério superior. Também determinou-se que aproximadamente 80% do flu-

xo medido em 23 de julho de 1968 foi devido à produção local no colimador, o que faz com que as características do fluxo medido sejam bastante diferentes daquelas associadas à componente atmosférica (Pinto & Gonzalez, 1986a).

#### AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi parcialmente subvencionado pelo Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FNDCT), através do Contrato FINEP 537/CT. Os autores agradecem ao Dr. J.M. da Costa as sugestões e ao Dr. I.M. Martin o apoio na obtenção das medidas.

#### REFERÊNCIAS

- ANDERSON, K.A. — 1960 — Balloon observations of X-rays in the auroral zone I. *J. Geophys. Res.*, **65**:551-564.
- BRINI, D., CIRIEGI, U., FULIGNI, F., GANDOLFI, A. & MORETTI, E.H. — 1965 — Evaluation of the X-ray primary omnidirectional flux from measurements at balloon altitudes. *Nuovo Cimento*, **39**:4710-4720.
- CHARAKHCH'YAN, A.N., BAZILEVSKAYA, G.A., KVASHNIN, A.N. & CHARAKHCH'YAN, T.N. — 1978 — Photon component of cosmic rays in the atmosphere in Cosmic rays in the stratosphere and in near space — Editor N.G. Basov — New York.
- JONES, F.C. — 1961 — Cosmic-ray production of low-energy gamma rays. *J. Geophys. Res.*, **66**:2029-2042.
- KASTURIRANGAN, K. — 1971 — Secondary background properties of X-ray astronomical telescope at balloon altitudes. *J. Geophys. Res.*, **76**:3527-3533.
- KOLCHUZHKIN, A.M. & BESPALOV, V.I. — 1975 — Equilibrium electron and photon spectra. *Sov. Phys. J.* **41**:741-743.
- MARTIN, I.M. — 1972 — Medidas de raios-X e cálculo de fluxo adicional na região da Anomalia do Atlântico Sul. Tese de Mestrado em Ciência Espacial, INPE, São José dos Campos, SP.
- PETERSON, L.E. — 1967 — Gamma ray production by cosmic rays observed on OSO-1. University of California, San Diego, CA.
- PETERSON, L.E. — 1975 — Instrumental technique in X-ray astronomy. *An. Rev. Astr. Astrophys.*, **13**.
- PETERSON, L.E., SCHUARTZ, D.A. & LING, J.C. — 1973 — Spectrum of atmospheric gamma rays to 10 MeV at  $\lambda = 40^\circ$ . *J. Geophys. Res.*, **78**:7942-7958.
- PINTO, O., JR. — 1985 — Estudo sobre raios-X na atmosfera da Anomalia Magnética do Atlântico Sul. Tese de Doutorado em Ciência Espacial, INPE, São José dos Campos, SP.
- PINTO, O., JR. & GONZALEZ, W.D. — 1986a — Atmospheric X-rays at  $11^\circ S$  geomagnetic latitude. *J. Atmos. Terr. Phys.*, **48**:485-489.
- PINTO, O., JR. & GONZALEZ, W.D. — 1986b — X-rays measurements at the South Atlantic Magnetic Anomaly. *J. Geophys. Res.*, **91**:7072-7078.
- RAY, E.C. — 1961 — Experimental results of flights in the stratosphere. In *Encyclopedia of Physics*, **46** (S. Flugge, ed.) Springer Verlag, Berlin.
- VETTE, J.I. — 1962 — Low-energy gamma rays produced in air and in lead by cosmic rays. *J. Geophys. Res.*, **67**:1731-1739.

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