

1. Publicação nº <i>INPE-2483-PRE/167</i>	2. Versão	3. Data <i>Julho, 1982</i>	5. Distribuição <input type="checkbox"/> Interna <input checked="" type="checkbox"/> Externa <input type="checkbox"/> Restrita
4. Origem <i>DAS/DAE</i>	Programa <i>ASTRO/SOURCE</i>		
6. Palavras chaves - selecionadas pelo(s) autor(es) <i>RADIAÇÃO GAMA CENTRO GALÁTICO EMISSION CONTÍNUA</i>			
7. C.D.U.: <i>523.03</i>			
8. Título <i>MEDIDA DA EMISSION CONTÍNUA EM RAIOS GAMA DE BAIXA ENERGIA NA DIREÇÃO DO CENTRO GALÁTICO</i>		10. Páginas: <i>12</i>	
		11. Última página: <i>11</i>	
9. Autoria <i>Maria Virgínia Alves Jardim Inacio Malmonge Martin Jeronimo Osvaldo Dias Jardim</i>		12. Revisada por <i>K. Ramanuja Rao</i>	
Assinatura responsável <i>Maria Virgínia Alves Jardim</i>		13. Autorizada por <i>Nelson de Jesus Parada</i> Diretor	
14. Resumo/Notas <i>A obtenção de pontos para o espectro contínuo na direção do Centro Galático (CG) pode fornecer informações a respeito dos processos físicos responsáveis por esta emissão. Com dados obtidos com um telescópio a bordo de balão estratosférico para medir radiação gama entre 0,3 e 3 MeV, lançado em 28 de março de 1980, de Cachoeira Paulista, SP, obtiveram-se dois pontos para o espectro contínuo na região de energia entre 0,34 e 0,67 MeV, para a região do CG compreendida entre <math>-31^\circ &lt; \theta &lt; +41^\circ</math>. Os dados aqui obtidos mostram-se compatíveis com os de Haymes et alii em 1969 e com os de Johnson em 1972. O espectro obtido sugere que a componente contínua para energias inferiores a 10 MeV é predominantemente produzida por "bremsstrahlung" de elétrons relativísticos.</i>			
15. Observações <i>Este trabalho foi parcialmente subvencionado pelo Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, FNDCT através de contrato FINEP. Este trabalho será submetido para publicação à revista "Ciência e Cultura".</i>			

MEDIDA DA EMISSÃO CONTÍNUA EM RAIOS GAMA DE BAIXA ENERGIA NA DIREÇÃO DO CENTRO GALÁTICO\*

MARIA VIRGÍNIA ALVES JARDIM; INACIO MALMONGE MARTIN e JERONIMO OSVALDO DIAS JARDIM, Instituto de Pesquisas Espaciais, INPE, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, CNPq, São José dos Campos, SP, 12.200, Brasil

ABSTRACT. *Measurements of the low-energy gamma-ray continuum emission from the Galactic Center direction.* The measurement of the gamma-ray continuum emission from the Galactic Center (GC) can provide us information about the physical processes taking place there at the site of emission. Using the data obtained with a balloon-borne gamma-ray telescope to measure gamma-rays in the energy interval between 0,3 and 3 MeV, which was launched on March 28, 1980 from Cachoeira Paulista (SP), we calculated two points for the continuum spectrum in the range between 0,34 and 0,67 MeV. The points are related to the GC emission radiated in the longitude interval  $-31^{\circ} < \ell^{\text{II}} < +41^{\circ}$ . The measurements are compatible with the observations in 1969 and 1972 by Haymes et alii and Johnson, respectively. The power law spectrum suggests that the main component for the gamma-ray continuum emission below 10 MeV is dominated by the bremsstrahlung due to relativistic electrons.

RESUMO. A obtenção de pontos para o espectro contínuo na direção do Centro Galático (CG) pode fornecer informações a respeito dos processos físicos responsáveis por esta emissão. Com dados obtidos com um telescópio

---

\*Trabalho parcialmente subvencionado pelo Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, FNDCT através do contrato FINEP.

- 2 -

a bordo de balão estratosférico para medir radiação gama entre 0,3 e 3 MeV, lançado em 28 de março de 1980, de Cachoeira Paulista, SP, obtiveram-se dois pontos para o espectro contínuo na região de energia entre 0,34 e 0,67 MeV, para a região do CG compreendida entre  $-310 < l^{II} < +41^{\circ}$ . Os dados aqui obtidos mostram-se compatíveis com os de Haymes et alii em 1969 e com os de Johnson em 1972. O espectro obtido sugere que a componente contínua para energias inferiores a 10 MeV é predominantemente produzida por "bremsstrahlung" de elétrons relativísticos.

## 1. INTRODUÇÃO

A detecção da radiação gama contínua na direção do Centro Galáctico (CG) pode fornecer informações a respeito dos processos físicos que ocorrem nesta região, responsáveis por esta emissão.

Os resultados obtidos até agora para altas energias ( $\geq 100$  MeV) sugerem que a radiação gama é produzida pela interação de raios cósmicos energéticos com o gás interestelar, sendo esta produção proporcional ao produto de suas densidades (Kniffen et alii, 1978; Stecker, 1977). Bons resultados em observações de alta energia têm sido obtidos por experimentos que utilizam câmaras de centelhas a bordo de satélites (Bennett et alii, 1977; Fichtel et alii, 1977).

Porém, o espectro contínuo na região de baixa energia ( $\leq 10$  MeV) tem sido pouco estudado, devido às dificuldades experimentais envolvidas. Alguns resultados foram obtidos por Johnson (1972), Haymes et alii (1975), Yoshimori et alii (1979) e Mandrou et alii (1980), com experimentos a bordo de balões estratosféricos. Dados também foram obtidos por espectro

metro de raios gama a bordo da Apollo 16, no intervalo de energia 0,06 a 5 Mev (Gilman et alii, 1978).

A produção de fótons com energias da ordem de Mev por "bremsstrahlung" envolve elétrons com energias da mesma ordem. Estes elétrons, devido à cavidade solar magnética, não podem ser medidos facilmente. Deste modo, a obtenção do espectro da radiação gama de baixa energia pode fornecer estimativas quanto ao espectro de elétrons neste intervalo de energia.

Neste trabalho apresentam-se os resultados obtidos para o espectro contínuo na direção do CG, obtidos por um telescópio de raios gama a bordo de balão estratosférico. O intervalo de longitude galáctica observada foi de  $-31^{\circ} < l < +41^{\circ}$ .

O experimento foi lançado de Cachoeira Paulista (SP), em 28 de março de 1980.

## 2. DESCRIÇÃO DO TELESCÓPIO E DO VÔO

O telescópio é composto de dois cintiladores NaI (Tl) (detetores) de 4" x 4" (10,16 cm x 10,16 cm), separados por uma distância de 90 cm e por uma blindagem de 20 cm (diâmetro) x 5 cm (espessura) de chumbo (Pb), equidistante e ao longo do eixo dos dois detetores, cuja função é bloquear fótons que chegam dentro de um cone de  $\sim 30^{\circ}$  em 1 Mev, antes que atinjam o ângulo de visada do detetor inferior. Cada detetor está envolto numa blindagem de pó de alumínio e tem a parte frontal recoberta com 1,5 cm de cintilador plástico NE 102A, a fim de reduzir um pouco o ruído de fundo devido às partículas carregadas.

Cada detetor está conectado a uma fotomultiplicadora RCA 8054 e a um codificador SEIN de 128 canais, a fim de fornecer espectros no intervalo de energia de 0,3 a 3 MeV.

Os resultados são obtidos a partir da diferença de contagens entre os dois detetores. Uma descrição completa do telescópio está em Benson et alii (1981).

O telescópio foi lançado em Cachoeira Paulista (SP), a bordo de um balão estratosférico de 74.000 m<sup>3</sup>, às 02:07TU, no dia 28 de março de 1980.

O balão alcançou um teto de aproximadamente 4 milibares às 04:04TU e o voo teve uma duração de 13 horas, após o que foi descontinuado através de um dispositivo piro mecânico, a fim de recuperar a carga útil.

Os eventos codificados a bordo do balão foram transmitidos para a Terra por telemetria FM-FM e gravados inicialmente em fitas magnéticas analógicas para posterior digitalização.

O CG foi observado neste voo, em seu trânsito, através do ângulo de abertura do telescópio cujo eixo apontava para o zênite.

### 3. RESULTADOS E CONCLUSÕES

A Figura 1 mostra as contagens para o detetor superior e inferior e as diferenças de contagens entre eles, para os intervalos de energia de 0,338 a 0,4931 MeV e de 0,4931 a 0,674 MeV, as quais foram utilizadas para obtenção do fluxo.

A partir destas diferenças, estimou-se uma média para o ruído de fundo (RF) e para a região do CG, para um mesmo intervalo de tempo (1 hora e meia). Deve-se notar que o excesso devido à contribuição da linha de aniquilação pósitron-elétron em 0,511 MeV foi subtraído ao serem efetuados os cálculos.

A diferença entre as contagens registradas, quando da passagem do CG e o RF, dá o fluxo médio para os intervalos de energia citados acima.

Intensidades de fluxo para energias superiores a 700 KeV não puderam ser obtidas porque houve distorção no espectro do detetor inferior para energias acima desta, devido às linhas induzidas no material da carga útil na parte inferior da gôndola.

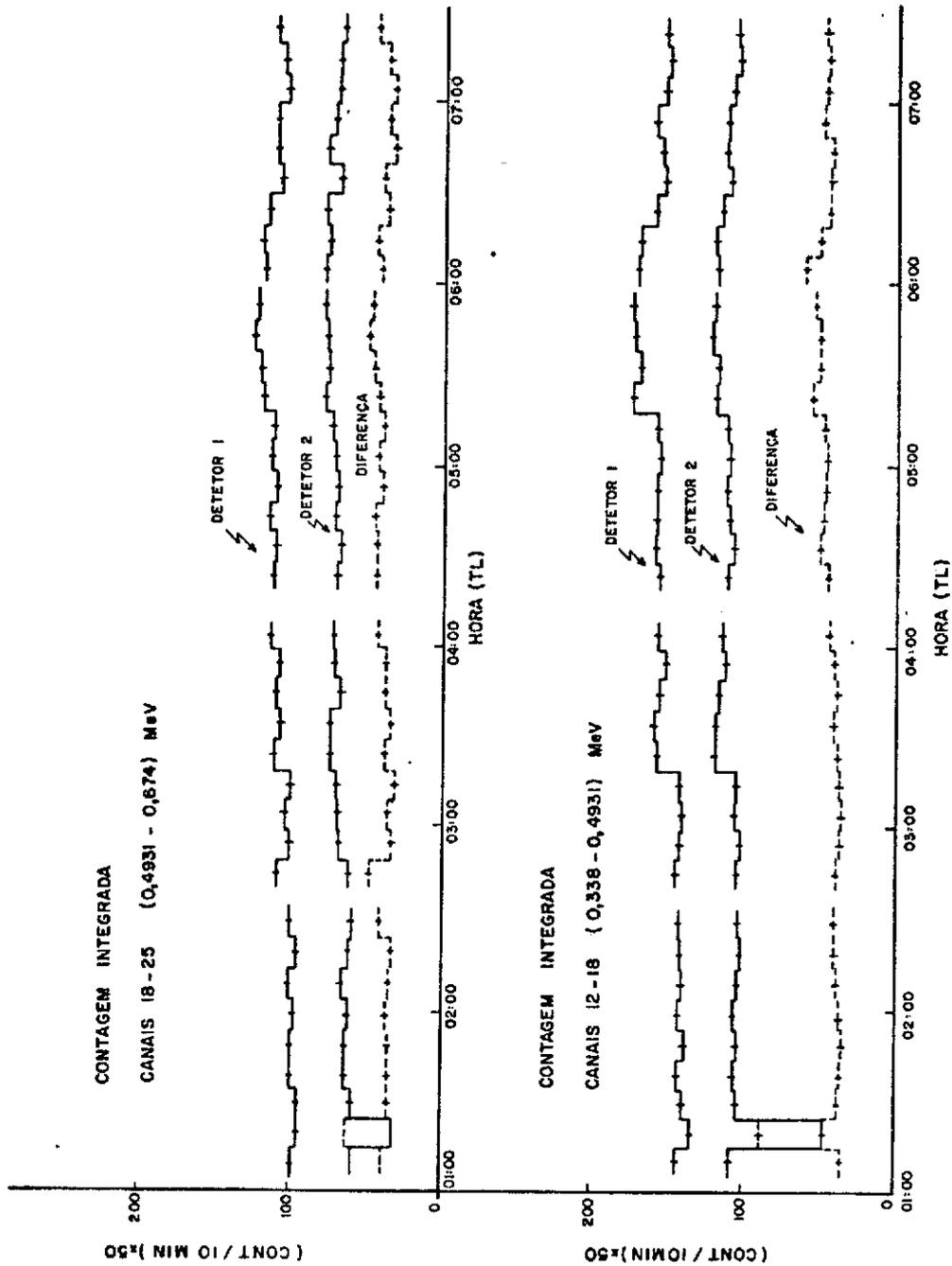


Fig. 1

A Figura 2 mostra os pontos obtidos através deste experimento para o espectro contínuo do CG, assim como pontos obtidos por outros grupos. Os apresentados aqui foram obtidos a partir do fluxo residual das curvas de contagens, por intervalo de energia, em função do tempo, ao longo do tempo. Pode-se observar que os pontos obtidos para a região do CG estão de acordo com as medidas apresentadas por Johnson (1972), obtidas a partir de dois vôos de balão, utilizando um cristal NaI (Tl) como detector.

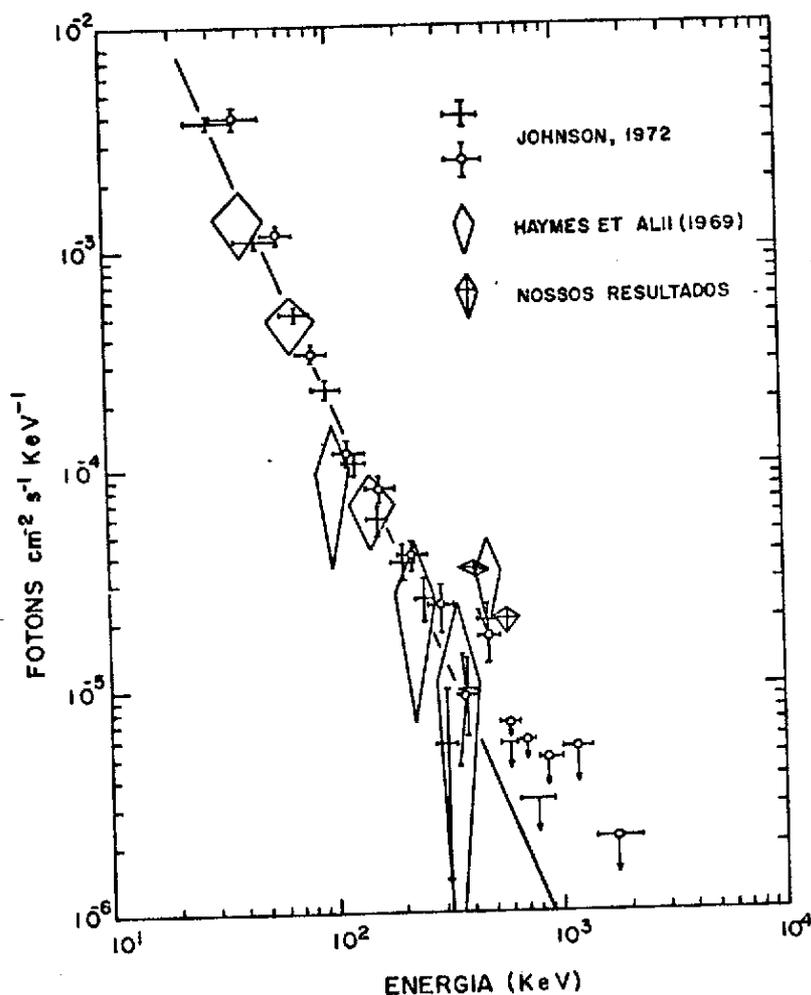


Fig. 2

A lei de potência que melhor se ajusta a este espectro obtido para o contínuo é dada por Johnson (1972):

$$N(E) = (14,7 \pm 3,3) E^{-2,42 \pm 0,05} \text{ f\u00f3tons cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ KeV}^{-1}.$$

Muitos estudos quantitativos têm sido feitos a fim de atribuir a intensidade observada a processos físicos. Para energias abaixo de 50 MeV, sabe-se que os processos predominantes são o "bremsstrahlung" de elétrons cósmicos e o Efeito Compton Inverso que envolve elétrons de alta energia e a radiação infravermelha.

Para regiões de baixa energia ( $< 10$  MeV), o "bremsstrahlung" parece ser o efeito dominante, já que o efeito Compton Inverso gerando fótons com energias da ordem de MeV envolveria radiação infravermelha interagindo com elétrons cósmicos de energias  $\sim 2$  GeV (Mandrour et alii 1980), os quais têm muito baixa intensidade de fluxo, não podendo produzir a intensidade detetada.

O fato de um espectro de fótons obedecer a uma lei de potências pode levar a associá-lo ao processo "bremsstrahlung" de elétrons, que produz um espectro em forma de lei de potência. Se o espectro diferencial de elétrons é uma lei de potência da forma  $E_e^{-T_e}$ , então a forma espectral para o fluxo de fótons em função da energia destes é uma lei de potência com  $T_\gamma = T_e$  (Chupp, 1976). Assim, levando-se em consideração apenas o processo "bremsstrahlung", o índice espectral da distribuição de elétrons deverá ser  $T_e \sim 2,4$ , determinado a partir do espectro de fótons  $\gamma$  de baixa energia.

Os pontos aqui apresentados e os de Johnson (1972) para energias acima de  $\sim 0,340$  MeV mostram, claramente, um excesso de fluxo com relação à lei de potência ajustada aos pontos obtidos pelo grupo de Rice para energias menores. Tal excesso não pode ser explicado somente levando-se em consideração a emissão "bremsstrahlung". Um aumento na emissão de

raios gama no contínuo, em energias abaixo de  $\sim 0,500$  MeV, talvez possa indicar a presença de aniquilação elétron-pósitron via decaimento do positrônio ao emitir 3 fótons (Leventhal et alii 1978; Bussard et alii, 1979; Leventhal, 1973).

Estudos teóricos que levam em consideração a densidade de gás interestelar e de elétrons cósmicos também sugerem ser o "bremsstrahlung" de elétrons o processo dominante de produção da radiação gama para energias inferiores a 50 MeV, embora uma componente devida ao Espalhamento Compton Inverso envolvendo radiação infravermelha, luz estelar e radiação de corpo universal (2,7 K) deva ser levada em consideração, principalmente na região do CG, devido a uma grande concentração de luz interestelar (Kniffen et alii 1977; Fichtel et alii 1976; Bignami and Picci notti, 1977; Stecker, 1977). Embora se saiba que estes processos são consideráveis na produção de radiação gama de baixa energia, nenhum deles separadamente é suficiente para explicar o espectro de radiação gama observado até agora. Outros fatores devem ser levados em consideração na elaboração de modelos, e necessita-se de medidas de maior precisão que abranjam maiores intervalos de energia, para que se possam obter conclusões mais concretas.

REFERÊNCIAS

- Bennett, K.; Bignami, G.F.; Bucheri, R.; Hermsen, W.; Kanbach, G.; Le brun, F.; Mayer-Hasselwander, H.A.; Paul, J.A.; Piccinotti, G.; Scarci, L.; Soroka, F.; Swanenburg, B.N.; Wills, R.D. 1977, em Proc. 12th ESLAB Symp, Frascati, Italy, 24-27 May, 1977; ESA SP-124 p. 83.
- Benson, J.L.; Jardim, J.O.D.; Martin, I.M.; Jayanthi, U.B.; Aguiar, O. D.; *Nuclear Instruments and Methods*, 180:613, 1981.
- Bussard, R.W.; Ramaty, R.; Drachman, R.J. *Astrophys J.*, 183, 928, 1979.
- Bignami G.F.; Piccinotti, G.; *Astron. Astrophys*, 59, 233, 1977.
- Chupp E.L. *Gamma Ray Astronomy-Nuclear Transition Region*, Palo Alto, C.A.; McCormac, 1976.
- Fichtel, C.E.; Kniffen, D.A.; Thompson D.J.; Bignami, G.F.; Cheung, C. Y. *Astrophys. J.* 208, 211-219, 1976.
- Gilman, D.; Metzger, A.E.; Parker, R.H.; Trombka, J.I. in: Cline, T.L.; Ramaty, R. ed *Gamma Ray Spectroscopy in Astrophysics*, Proc. of a Symp. held at Greembelt, Greembelt, Apr. 28-29, 1978 p. 190 NASA TM 79619.
- Haymes, R.C.; Walraven, G.D.; Meegan, C.A.; Hall, R.D.; Djeith, F.T.; Shelton, D.H.; *Astrophys. J.*, 201, 593, 1975.
- Johnson III, W.N. *Low-Energy Gamma Radiation from the Galactic-Center Region*, pr. D. Thesis, Rice University, 1972.
- Kniffen, D.A.; Fichtel C.E.; Thompson D.J. *Astrophys. J.*, 215, 765-774, 1977.
- Leventhal, M. *Astrophys J.* 183, L147, 1973.
- Leventhal, M.; Mac Callum, C.J.; Stang, P.D. *Astrophys J.* 225:L11-L14, 1978.
- Mandrou, P.; Bui-Van, A.; Vedrenne, G.; Niel, M.; *Astrophys J.* 237, 424, 1980.

Stecker, F.W., *Astrophys J.*:212:60-70, 1977.

Yoshimori, M.; Watanabe, H.; Okudaira, K.; Hirasina, Y.; Murakami, H.;

*Aust J. Phys.*, 32:375, 1979.