

## Telescópio Compton de Grande Resolução Angular para Medir Raios Gama de 0,3 a 100 Mev

A. BUI-VAN and I. M. MARTIN

*Instituto de Pesquisas Espaciais\*, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), São José dos Campos SP*

Recebido em 5 de Agosto de 1977

An experimental device to measure gamma-rays of energy between 0,3 and 10,0 MeV, on-board of a stratospheric balloon, is described. The data obtained in the laboratory, using monoenergetic radioactive sources of gamma-rays, allow of the determination of the directivity of this Compton telescope.

Descreve-se um dispositivo experimental, destinado a voar em balão estratosférico, para medir raios gama de 0,3 a 10,0 MeV. Os dados obtidos no laboratório, utilizando-se fontes radioativas monoenergéticas de raios gama, permitem deduzir as características diretivas do telescópio-Compton.

### 1. INTRODUÇÃO

Neste trabalho apresentamos os resultados, obtidos no laboratório, de um novo conjunto de detecção de raios gama funcionando no intervalo de energia de 0,3 a 10,0 MeV. Esses resultados, bastante importantes, deixam prever possíveis observações de fontes de raios gama extraterrestres e em condições experimentais favoráveis (BUI VAN e MARTIN<sup>1</sup>). O fato de se dispor de um tal conjunto experimental é de interesse porque, até o presente momento, muito pouco trabalho tem sido feito em Astrofísica de raios gama e no intervalo de energia considerado.

---

\* Postal address: C.P. 515, 12200-São José dos Campos SP.

## 2. DISPOSITIVO EXPERIMENTAL

Os conjuntos de detecção, destinados à observação de fontes, de raios gama extraterrestres, desenvolvidos até a presente data, são construídos segundo o princípio de blindagem ativa utilizando-se detectores de cintilação. O critério desses detectores é o de dispor de uma blindagem que sirva como colimador ao elemento sensível aos ftons, de forma que a abertura real do telescópio seja aproximadamente igual à abertura geométrica do detector. A radiação incidente é composta por ftons de origem atmosférica produzidos por raios cósmicos primários, e ftons gama de origem extraterrestre. Por outro lado, o "ruído de fundo" do detector é devido aos efeitos de fuga dos ftons na blindagem, da difusão Compton nos materiais que envolvem o cintilador, da interação de neutrons no cristal e no material, e de outras interações ainda desconhecidas. A melhor maneira para se construir um detector com tais propriedades, tendo pequenos ângulos sólidos, é de se dispor de cristais cintilantes com o NaI (Tl). Ele poderá ser associado a uma ou mais fotomultiplicadoras que serão ligadas por um circuito elétrico de anti-coincidência com o cintilador central. A espessura da blindagem pode ser otimizada utilizando-se a relação dada por Peterson<sup>2</sup>

$$\frac{\Omega}{4\pi} \approx \exp(-x/\mu) , \quad (1)$$

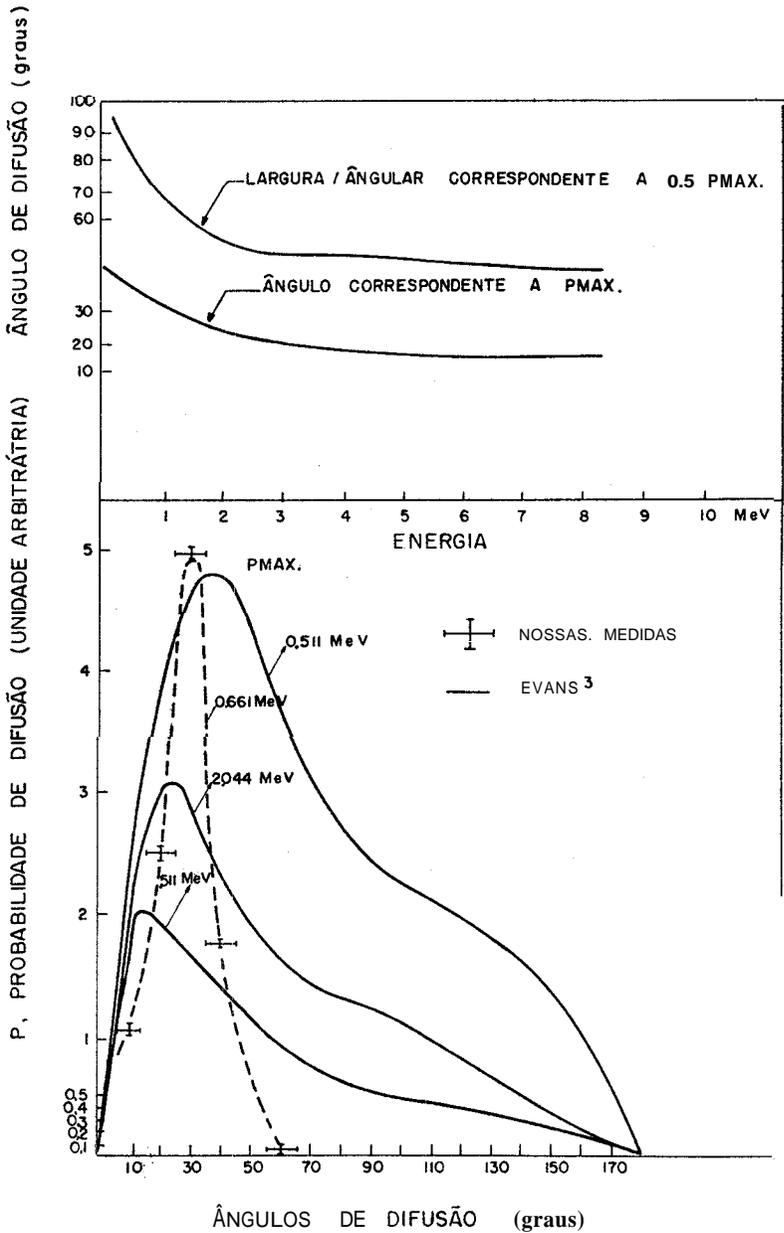
onde  $x$  representa a espessura média da blindagem e  $\mu$  o caminho livre médio dos ftons na blindagem, correspondendo ao limite superior do intervalo de energia considerado. Embora a rejeição do ruído de fundo do detector possa ser melhorada se dispusermos de blindagem mais espessa, a relação sinal/ruído para uma dada abertura não pode aumentar mais que de um fator  $\sqrt{2}$ , para se levar em conta aumento considerável em custo, peso, e em tempo morto. Para energias entre 2 e 10 MeV, é bastante difícil fazer-se um detector direto, isso porque a transmissão residual é mais importante que o sinal a ser detectado.

A versão do telescópio, aqui proposta, não comporta blindagens, o que atenua consideravelmente os efeitos de fuga e de interações de neutrons. De fato, considerando-se a distribuição angular de ftons difundidos

por efeito Compton, vemos que quando a energia dos fotons incidentes aumenta (a partir de **0,5 MeV**) a difusão se efetua sempre para frente num cone bastante estreito e de abertura  $\sim 30^{\circ}$  (Evans<sup>3</sup>). Esse ângulo de abertura, bem como a largura **média** da distribuição, varia muito pouco para energias **fotônicas** superiores ou da ordem de **1 MeV**. Graças a isso, podemos selecionar os fotons que **incidem** próximos ao eixo vertical do **telescópio** (Figura 1). Estas considerações **teóricas** não levam em conta a geometria do difusor e do detetor. Essa geometria tem um efeito muito importante e pode contribuir consideravelmente para a **diretividade** do conjunto de **deteção**. A fim de estimar essa diretividade, fez-se **uma** determinação teórica dos fenômenos que intervêm neste sistema de deteção, utilizando-se para isso o processo de simulação do tipo "Monte Carlo" (Bui Van et al.<sup>4</sup>).

Na Figura 2, mostra-se o esquema do dispositivo experimental-Cada cristal é diretamente associado a **uma** fotomultiplicadora RCA 8055, **alimentada** por alta tensão positiva de 1300 volts. Os sinais originados quando das **interações** dos fotons no cintilador **são amplificados** e sua polaridade invertida. Um discriminador de corte permite o ajuste do **limite inferior** do disparador do "trigger".

Um circuito de coincidência permite selecionar, **em tempo**, os impulsos que correspondem à passagem de um **mesmo** foton **através** dos dois **cintiladores**, com **precisão** superior a 60 nano-segundos. O sinal originado por esse circuito abre a porta do analisador de amplitude durante 200 nano-segundos. A fim de reduzir ao **máximo** os atrasos possíveis, introduzidos pelos diferentes circuitos, o que pode afetar tanto a taxa de contagem esperada como a forma espectral **detetada** no **cintilador** de **NaI (TE)**, efetuamos duas medidas com **uma** fonte **monoenergética** radioativa de **<sup>22</sup>Na** (0,511 e **1,28 MeV**). A propriedade dessa fonte de emitir, a **180°**, dois fotons de **0,511 MeV**, torna possível a estimativa da eficiência do circuito de coincidência. Essa eficiência é melhor que 0,999, como mostra a Figura 3.



**Fig.1** - a) Variação do ângulo de difusão dos fons de raios gama, em função da energia, para o cintilador plástico de Ne 102A; b) Probabilidade de difusão dos fons de raios gama em função do ângulo e da energia, para o cintilador plástico de Ne 102A.

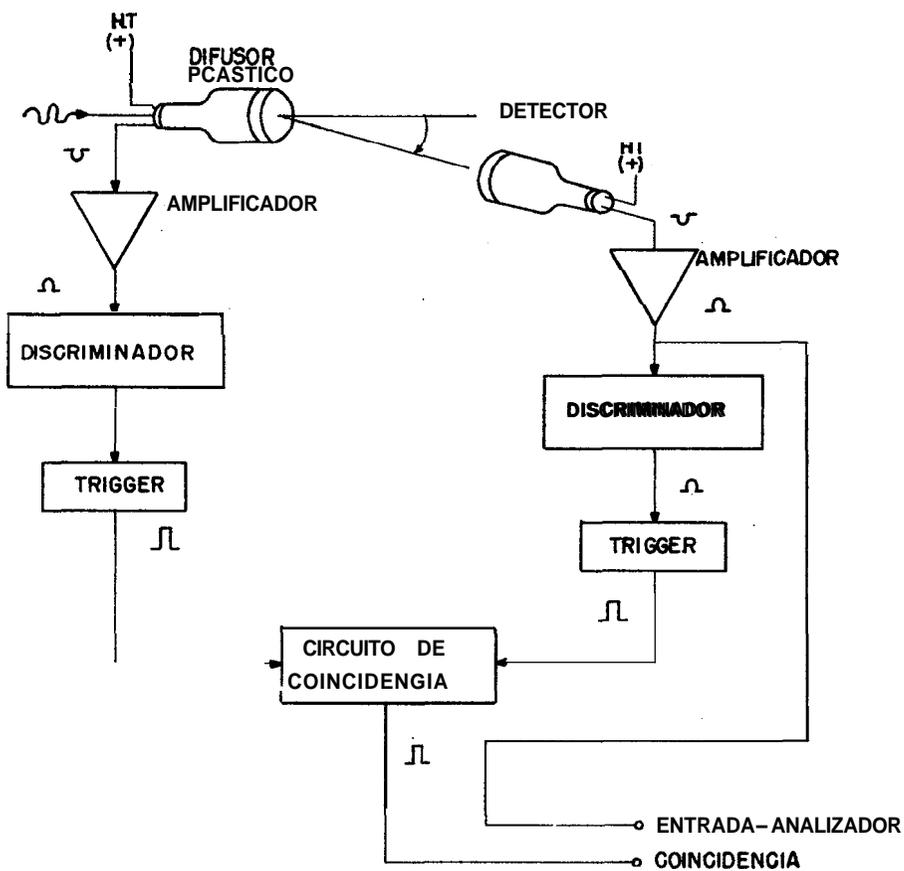


Fig.2 - Esquema sinóptico do telescópio Compton e a eletrônica associada.

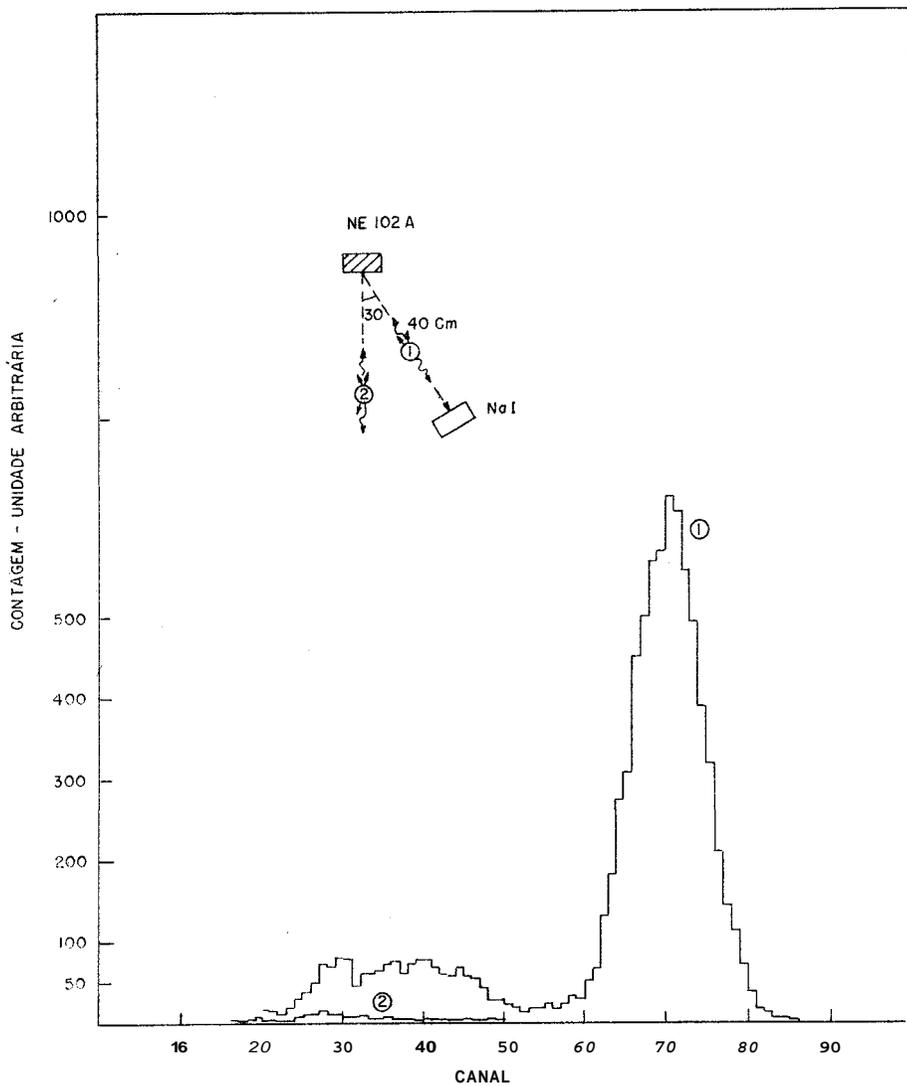


Fig.3 - Verificação da eficiência do circuito de coincidência entre o cintilador plástico e o cintilador de NaI (Tl).

### 3. RESULTADOS

A primeira série de medidas que efetuamos destina-se a verificar a distribuição angular dos ftons difundidos. Para esse fim, fixamos uma fonte radioativa, de  $^{137}\text{Cs}$ , no eixo do cintilador plástico, a taxa de contagem de ftons de energia inferior a 1 MeV sendo obtida para cada posição do cristal de NaI (Tl) segundo um círculo de 60 cm de raio em torno do difusor. Os resultados obtidos são mostrados na Figura 1. Como já mencionamos, o fato de introduzirmos uma dimensão finita propicia uma melhor diretividade na distribuição, e os resultados obtidos confirmam nossas previsões.

De fato, na Figura 4, onde exibimos os espectros observados, é de se notar a grande semelhança de suas formas.

A segunda série de medidas permite a determinação da diretividade do telescópio. O detector foi fixado a 60 cm do difusor, com um ângulo de  $30^\circ$  relativamente ao eixo do difusor. Os resultados são mostrados na Figura 5. A abertura angular correspondente a meia altura da transmissão ( $\sim 40^\circ$ ) que definimos, depende de fato da precisão angular que podemos obter. O cone de emissão da fonte radioativa que utilizamos pode ter um ângulo de abertura muito maior que o erro angular que estimamos. A fraca transmissão, correspondente a uma incidência de  $180^\circ$ , pode ser explicada pela presença de múltiplas difusões no NaI cuja densidade é maior que a do plástico, o que torna a distribuição angular dos ftons difusos mais isotrópica.

### 4. CONCLUSÃO

Mostramos, com esses resultados, a possibilidade de se desenvolver um telescópio de alta resolução angular para a detecção de ftons de raios gama, no intervalo de energia de 0,3 a 10,0 MeV em condições experimentais ótimas.

A técnica proposta é bastante favorável a experiências feitas em balões estratosféricos, não necessitando da utilização de materiais me-

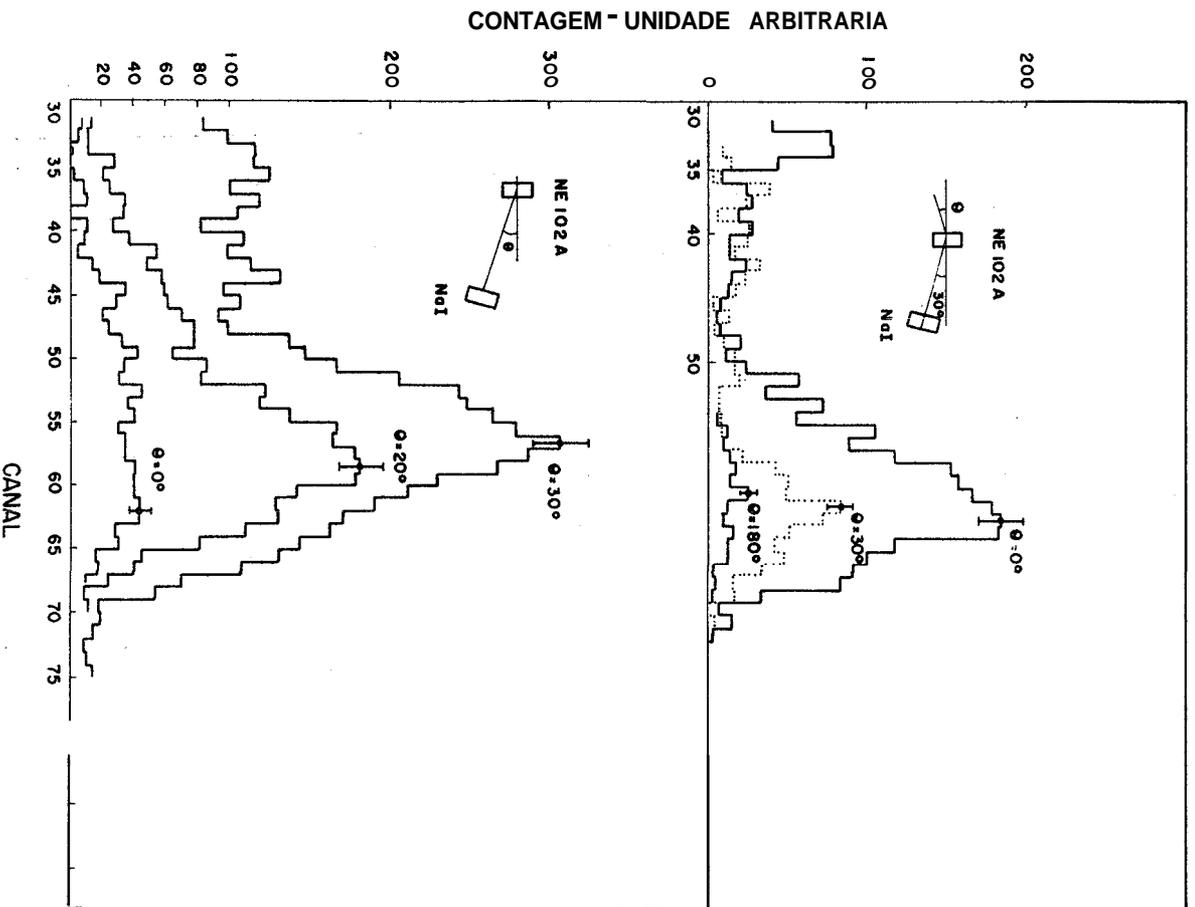


Fig.4 - Espectro da fonte radioativa: a) fixando a fonte e girando o cintilador de NaI (Tl); b) fixando o cintilador e girando a fonte.

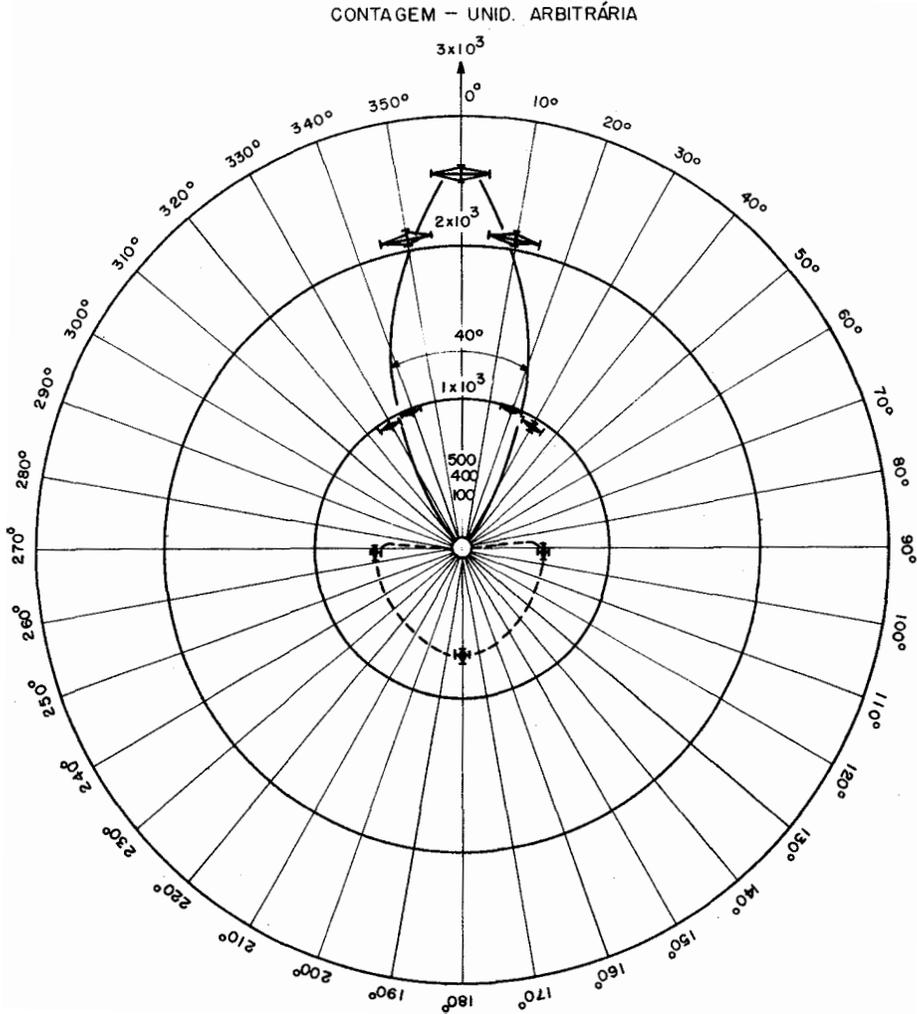


Fig.5 - Diretividade do telescópio com o difusor a 60' cm do detector de NaI (Tl), a um ângulo de  $30^\circ$  da vertical.

**tálicos** que, por **interações** com a **radiação** local, dariam lugar a uma contribuição **importante** ao ruído de fundo do detetor.

A abertura angular, a **meia altura** da transmissão que observamos ( $\sim 40^\circ$ ), sendo um valor arbitrariamente escolhido, dependerá unicamente da distância  $d$  que separa os dois cintiladores. Uma melhor diretividade pode ser conseguida aumentando-se essa distância. **Finalmente**, como a **deteção** dos ftons de raios **gama**, emitidos por objetos extraterrestres, é perturbada por uma importante contribuição do ruído de fundo, torna-se **fundamental** estimar-se essa componente. Por outro lado, a experiência discutida na Seção 3, utilizando-se fontes radioativas, e as **medidas** com fluxo de ftons **gama** devido à radioatividade natural da terra (**telúrio**), permite-nos precisar o ruído de fundo do detetor em presença dos ftons de raios **gama** distribuídos segundo uma lei em potencia da energia. Com efeito, esse fluxo de raios **gama**, **detetado** através de um cristal de  $4'' \times 4''$  de NaI (TE.), é **comparável** em intensidade ao de origem atmosférica a uma altura equivalente a  $3,6 \text{ g/cm}^2$  e a uma latitude geomagnética de  $40^\circ \text{N}$ ; ver Figura 6 (Peterson *et al.*<sup>5</sup>).

É possível, desta maneira, **avaliar-se** a taxa de contagem do telescópio devido à incidência de ftons. Como é bastante difícil de se determinar o fator de geometria do **telescópio**, a **normalização** do espectro assim observado **irá** nos dar, **experimentalmente**, uma ordem de grandeza desse fator.

Conhecendo-se o ruído de fundo do detetor, podemos definir a relação **sinal/ruído** para diferentes fontes extraterrestres. Entretanto, esta **relação** pode ser afetada pelas **flutuações** estatísticas, devido à baixa contagem. No caso em que essas **flutuações** estejam distribuídas segundo uma lei Gaussiana, o tempo de exposição  $T$ , durante o qual o **telescópio** deve ser exposto à fonte, a fim de que o sinal possa ser extraído do ruído de fundo com confiança, é dado por

$$T = N_{\sigma} [2 + 2(S/R) + (S/R)^2]^{-1}, \quad (2)$$

onde  $N_{\sigma}$  é o número de desvios **padrão**, e  $SR$  a relação **sinal/ruído**.

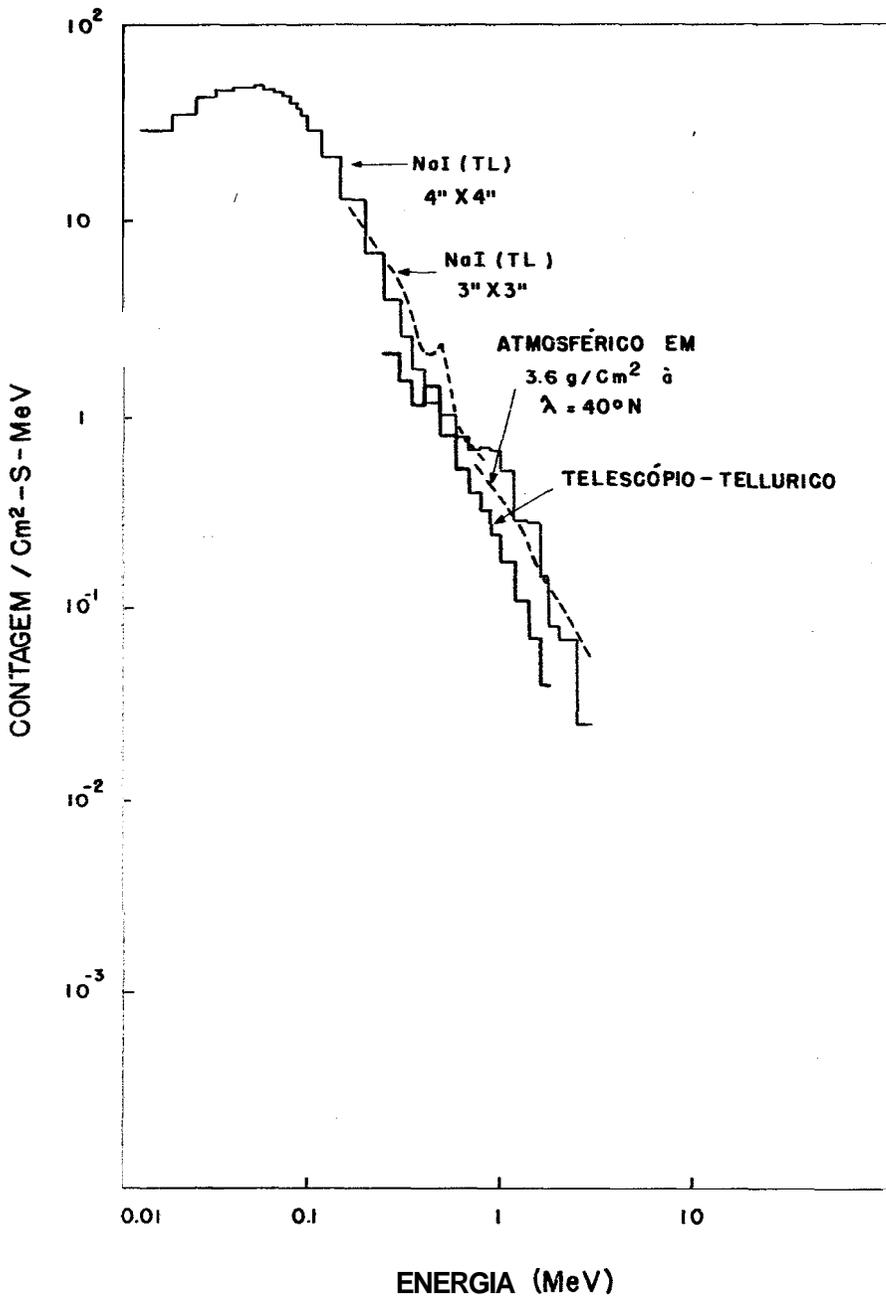


Fig.6 - Comparação dos espectros de raios gama medidos no solo e a 3,6 g/cm<sup>2</sup> a 40° N.

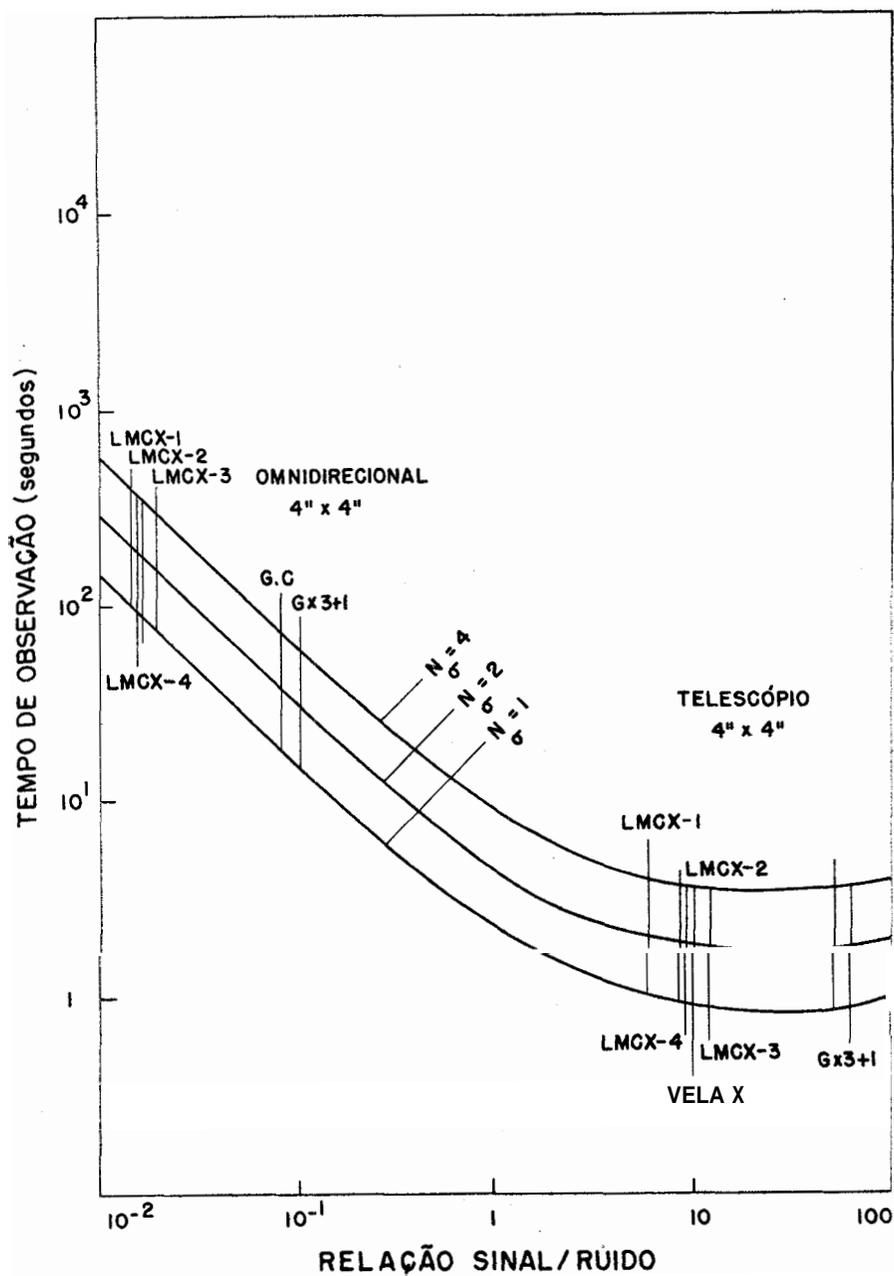


Fig.7 - Duração do tempo de exposição da fonte a ser detatada em função da relação sinal/ruído.

Na Figura 7, mostramos a duração do tempo de exposição T, em segundos, em função do S/R. Temos a notar: (i) que o telescópio apresenta uma relação S/R mais favorável que aquela do detetor omnidirecional (4" x 4") (Martin<sup>6</sup>), e que (ii) as fontes situadas na região do centro galáctico são acessíveis a observações feitas de um balão estratosférico.

Agradecemos ao Dr. N. de J. Parada, Diretor do INPE, por ter-nos apoiado nesta pesquisa. Este trabalho é fruto da equipe do projeto LABA do INPE. Agradecemos o apoio financeiro da Secretaria de Cooperação Econômica e Técnica Internacional (SUBIN), projeto A 1975-1976.

#### REFERÊNCIAS

1. Bui Van, A. e I.M. Martin, Raios Gama de Baixa Energia Emitidos por Sco X-1, Rev. Brasil. Fis., 7, 187 (1977).
2. Peterson, L.E., *The 0.5 MeV Gamma-Ray and the Low-Energy Gamma-Ray Spectrum to 6 grams per square centimeter over Minneapolis*, J. Geophys. Res., 68, 979 (1963).
3. Evans, R.D., *The Atomic Nucleus*, McGraw-Hill Book Co., 1955.
4. Bui Van, A., G. Giordano, K. Hurley e P. Mandrou - Rapport C.E.S.R n° 73-382, 1973.
5. Peterson, L.E., DA. Schwartz and J.C. Ling, *Spectrum of Atmospheric Gamma-Rays to 10 MeV at  $\sim 40^\circ$* , J. Geophys. Res., 78, 7942 (1973).
6. Martin, I.M., S.L.G. Dutra, R.A.R. Palmeira, G. Vedrenne e F. Albernhe, *Détermination Expérimentale du Spectre des Photons Gamma dans l'Atmosphère à 12 GV de Coupure Géomagnétique*, Rev. Brasil. Fis., 5, 139 (1975).