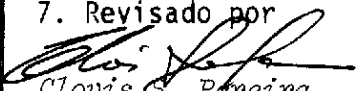
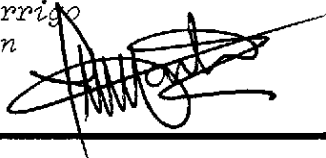


1. Classificação <i>INPE-COM.4/RPE</i> <i>C.D.U: 550.35</i>		2. Período	4. Distribuição
3. Palavras Chaves (selecionadas pelo autor) <i>RADIAÇÃO GAMA AMBIENTE</i> <i>AVIÃO - BAIXA LATITUDE</i>		interna ☐ externa ☒	
5. Relatório nº <i>INPE-1831-RPE/195</i>	6. Data <i>Julho, 1980</i>	7. Revisado por  <i>Clovis S. Pereira</i>	
8. Título e Sub-Título <i>DESENVOLVIMENTO DE UMA TÉCNICA PARA DETERMINAÇÃO DA RADIOATIVIDADE NATURAL UTILIZANDO AVIÃO COM BAIXA VELOCIDADE E VOANDO À BAIXA ALTITUDE</i>		9. Autorizado por  <i>Nelson de Jesus Parada</i> <i>Diretor</i>	
10. Setor <i>DCE/DAT/DEE</i>	Código	11. Nº de cópias <i>14</i>	
12. Autoria <i>Inacio Malmonge Martin</i> <i>Daniel J. R. Nordemann</i> <i>Lycia M. Moreira Nordemann</i> <i>Renato Senador</i> <i>Silvia Regina Darrigo</i> <i>Ngan André BuiVan</i>		14. Nº de páginas <i>15</i>	
13. Assinatura Responsável 		15. Preço	
16. Sumário/Notas <i>Descreve-se neste trabalho a técnica e a metodologia desenvolvidas para o levantamento aeroespacial da radioatividade natural, utilizando apenas dois cintiladores de iodeto de sódio de 10cm x 10cm com eletrônica associada, inclusive gravador magnético, desenvolvidos para voarem a bordo de avião monomotor à baixa altura e velocidade. Mostram-se os testes iniciais do conjunto experimental a bordo de um balão cativo, efetuados em intervalos de altura de 20m e com alcance total de 150m a partir do solo. Estas medidas também fornecem a avaliação das gradientes verticais das partes terrestre e cósmica secundária, da radiação medida na baixa atmosfera. Medidas a bordo de um avião monomotor, tipo "Cessna Skylane", e no solo foram efetuadas na região do Morro de Ferro e na Usina Nuclebrás C-09 em Poços de Caldas. Um levantamento aeroespacial da radiação gama ambiente foi efetuado entre as cidades de Currais Novos, Campo Redondo, Santa Cruz, S. Bento do Trairi, Cuité, Cel. Ezequiel e Frei Martinho, nos Estados do Rio Grande do Norte e da Paraíba.</i>			
17. Observações			

ÍNDICE

ABSTRACT	<i>iv</i>
LISTA DE FIGURAS	<i>v</i>
1. INTRODUÇÃO	1
2. DISPOSITIVO EXPERIMENTAL	1
3. RESULTADOS	2
4. CONCLUSÃO	8
AGRADECIMENTOS	11
BIBLIOGRAFIA	13

ABSTRACT

In the present work, the authors describe technic and methods used to perform aerial suveys of natural radioactivity are described. The apparatus inclues two NaI(Tl) detectors, the electronics and magnetic tape recorder designed to be used on board a monomotor aircraft at low altitude and low speed. Preliminary tests of this apparatus were made as payload of a captive balloon with intervals of 20 m up to 140 m of altitude. These measurements provide vertical gradients of the terrestrial and secondary cosmic radiation in the lower atmosphere. Measurements at the ground level and on board a monomotor aircraft "Cessna Skylane" were made in the regions of Morro do Ferro and Nuclebrás C-09 plant in Poços de Caldas. Aerial survey of the ambiental gamma-radiation was performed among the cities of Currais Novo, Campo Redondo, Santa Cruz, S.B. do Trairi, Cuitê, Cel. Esiquiel and Frei Martinho in the States of Rio Grande do Norte and Paraíba/Brazil.

LISTA DE FIGURAS

1 - Intensidade de radiação em função da energia e da altura obtida a bordo de balão cativo no campus do INPE	4
2 - Detecção de áreas com alta intensidade de potássio	5
3 - Detecção de áreas com alta intensidade de urânio	6
4 - Detecção de áreas com alta intensidade de tório	7

1. INTRODUÇÃO

Para estudar a radioatividade natural ambiente, discriminando as fontes radiogeológicas ou cósmicas nas condições geomagnéticas, e realizar levantamentos aeroespaciais gamaespectrométricos foi realizado um espectrômetro gama constituído de um cristal de NaI(Tl) 10 cm, um conversor analógico - digital e um gravador magnético stereo UHER 4400 IC. No presente trabalho, descrevem-se os testes iniciais deste conjunto, a bordo de um balão cativo, efetuados de 20 em 20 metros de altura até 140 m acima do solo. Estas medidas foram feitas tendo-se em vista a necessidade de discriminar a radiação gama, oriunda de fontes radiogeológicas da radiação de origem cósmica, presente em baixas altitudes.

Este tipo de levantamento é comumente feito com detectores de grandes dimensões e com analisadores de pulsos e eletrônica associada a bordo de aeronaves de grande porte, voando 300 metros acima do solo e com velocidades superiores a 250 km/hora. O processamento dos sinais é feito totalmente a bordo da aeronave e isto faz com que o peso da instrumentação seja de ordem de 50 vezes maior do que aqui proposto. Assim, este trabalho se baseia em uma instrumentação leve, miniaturizada para voar a bordo de balão estratosférico e onde o processamento dos sinais é efetuado após o voo, no laboratório, sem alteração dos parâmetros que foram medidos. Este fato permite, também, operar com pequenos, aviões monomotores ou mesmo bimotores, porém a baixa altura $h \leq 300$ metros e a baixa velocidade ≤ 250 km/h.

Assim sendo, existem condições de se explorar o solo de uma região, com raio menor que 250 metros. Este fato é bastante importante nas localizações de jazidas superficiais de urânio, tório e potássio.

2. DISPOSITIVO EXPERIMENTAL

Aproveitando a transferência de tecnologia já adquirida em pesquisas em astrofísica, com cintiladores e dispositivos eletrôni

cos embarcados em balões estratosféricos, preparou-se um conjunto experimental, com volume e peso bastante reduzidos, para voar a bordo de avião monomotor ou bimotor de dimensões pequenas.

O conjunto compreende um cintilator de iodeto de sódio ativado com tâlio de 10 cm x 10 cm, fabricado por Harschaw Chemical USA e acoplado a uma fotomultiplicadora RCA 8054, alimentada convenientemente por uma fonte de alta tensão. Após amplificação, os pulsos provenientes do anodo da fotomultiplicadora são analisados por um conversor analógico digital, com uma largura de pulso de 200 microssegundos. O sinal codificado é gravado numa das pistas de uma fita magnética, num gravador stereo UHER 4400 IC. Com a velocidade de 4,75 cm/seg, uma fita comporta três horas de gravação, o que permite gravar dados correspondentes a uma extensão de 750 km a bordo de um avião a 250 km/hora. O conjunto é alimentado por baterias Cd Ni de 10 A x h, oferecendo, assim, uma autonomia de 20 horas de voo.

Os sinais registrados a bordo do veículo são produzidos, decodificados e analisados em laboratório. Uma vez reproduzidos, são separados por diferentes filtros de frequências, antes de serem decodificados.

Um estudo feito no laboratório, utilizando o processo completo de codificação, gravação magnética e restituição dos espectros num analisador multicanal, mostrou que a perda de resolução, apresentada pelo processo, fica dentro de normas razoáveis para este tipo de instalação (a título de exemplo, a resolução para o pico a 662 KeV do Cesio 137 é da ordem de 14% com uma largura de canal de 44 KeV).

3 - RESULTADOS

A primeira medida foi efetuada colocando-se o dispositivo experimental a bordo de um balão cativo, acima de campus do INPE em São José dos Campos (latitude $23^{\circ} 12'S$, longitude $45^{\circ} 51'W$). Assim sendo, efetuaram-se medidas de 20 em 20 m até 140 m de altura, verificando-se a absorção atmosférica juntamente com a contribuição do fluxo proveniente de todas as direções.

Esses resultados são mostrados na Figura 1, para seis diferentes intervalos de energia e verifica-se que, nas proximidades de 140m de altitude, a absorção de fluxo emitido na superfície terrestre é bastante importante (Hanson e Marker, 1964). Os coeficientes de atenuação, obtidos pela fórmula $I = I_0 \exp(-\mu h)$, que são calculados a partir desses resultados, foram encontrados iguais a $7,6 \cdot 10^{-3} \text{ m}^{-1}$, $4,8 \cdot 10^{-3} \text{ m}^{-1}$ e $5,0 \cdot 10^{-3} \text{ m}^{-1}$ para as faixas de energia do potássio, do urânio e do tório, respectivamente, e estão próximo aos valores recomendados pelo IAEA (1979) para as correções de altitude em tais determinações ($\mu \approx 7,0 \cdot 10^{-3} \text{ m}^{-1}$).

Os ligeiros desvios entre os valores indicados pelo relatório IAEA (1979), quais sejam, $6,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^{-1}$, $7,7 \cdot 10^{-3} \text{ m}^{-1}$ e $7,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^{-1}$ para K, U e Th, respectivamente, podem ser atribuídos a não homogeneidade da composição desses emissores e, a absorção do solo adjacente à experiência, como também os pontos fora do alinhamento nas curvas semilogarítmicas da Figura 1. Para medidas finais desses coeficientes, seria conveniente considerar o efeito da pressão atmosférica na coluna absorvente entre o solo e o detector.

As Figuras 2, 3, 4 apresentam as variações das taxas de contagem nas respectivas faixas do potássio, do urânio e do tório ao nível do solo e à altitude de vôo (50 - 70m). Pode-se verificar nitidamente que as regiões de maior atividade gama, observadas em vôo, correspondem às de maior atividade gama do solo, e isto para cada um dos três emissores. Em particular, as regiões de Campo Redondo apresentam altos teores em potássio, e as de Coronel Ezequiel altos teores em urânio. Tais fatos comprovam, mais uma vez, a capacidade do método em descobrir zonas com a presença de elementos radioativos.

O método gamaespectrométrico já foi amplamente usado para fins radiogeológicos, incluindo a prospecção de minérios uraníferos (IAEA, 1979), geofísicos diversos (Hanson e Marker, 1964) e para fins de sensoriamento remoto, em particular a lua (Nordemann, 1966). Hoje, pode-se pensar em usá-lo para levantamento radiogeofísicos, tendo-se em vista possíveis aplicações como a procura de recursos de fontes de fertilizantes, tais como a apatita (Ferreira, 1973; Barretto, 1974) e outros minérios associados a elementos radiativos naturais.

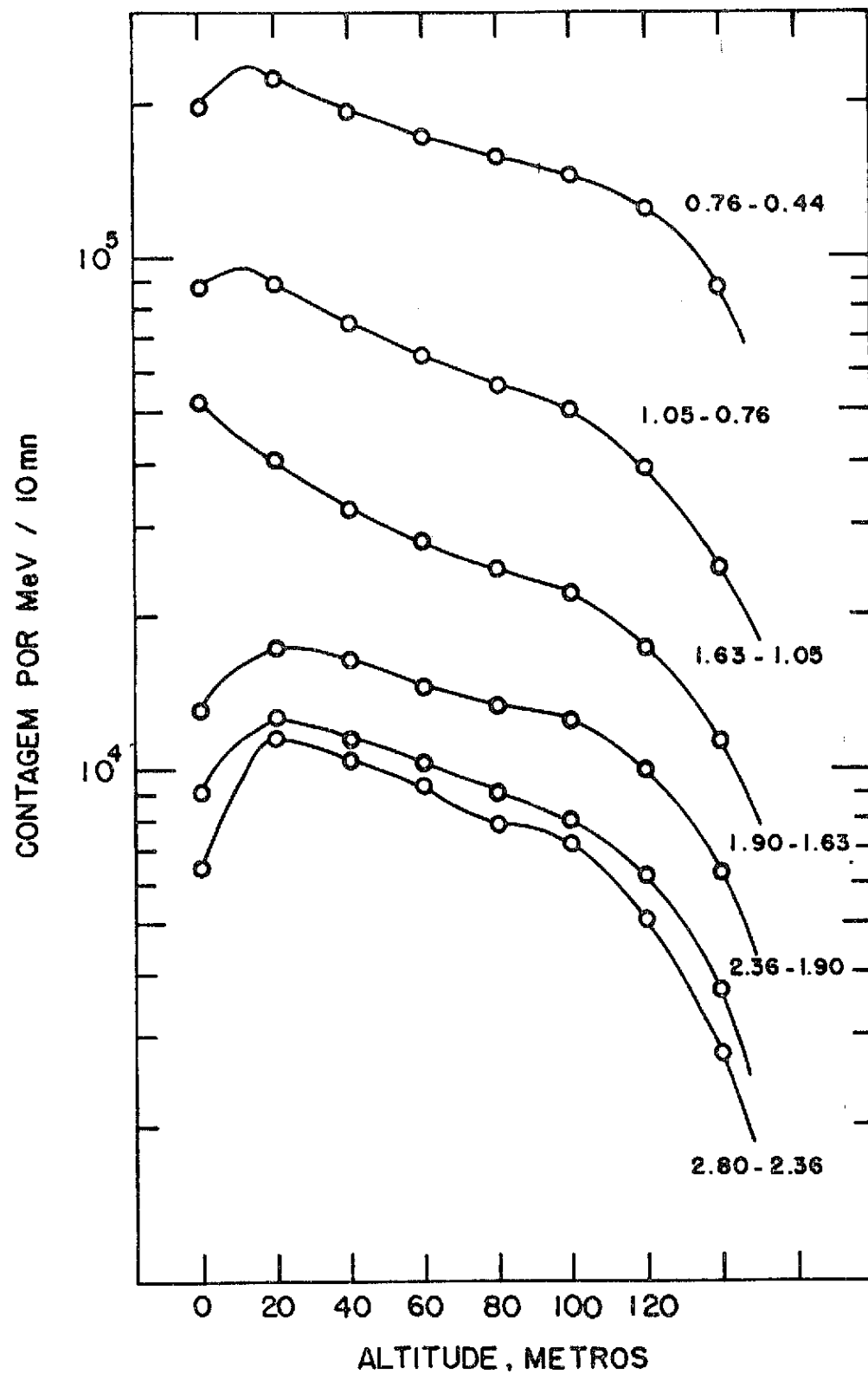


Fig. 1 - Intensidade de radiação em função da energia e da altura obtida a bordo de balão cativo no campo do INPE.

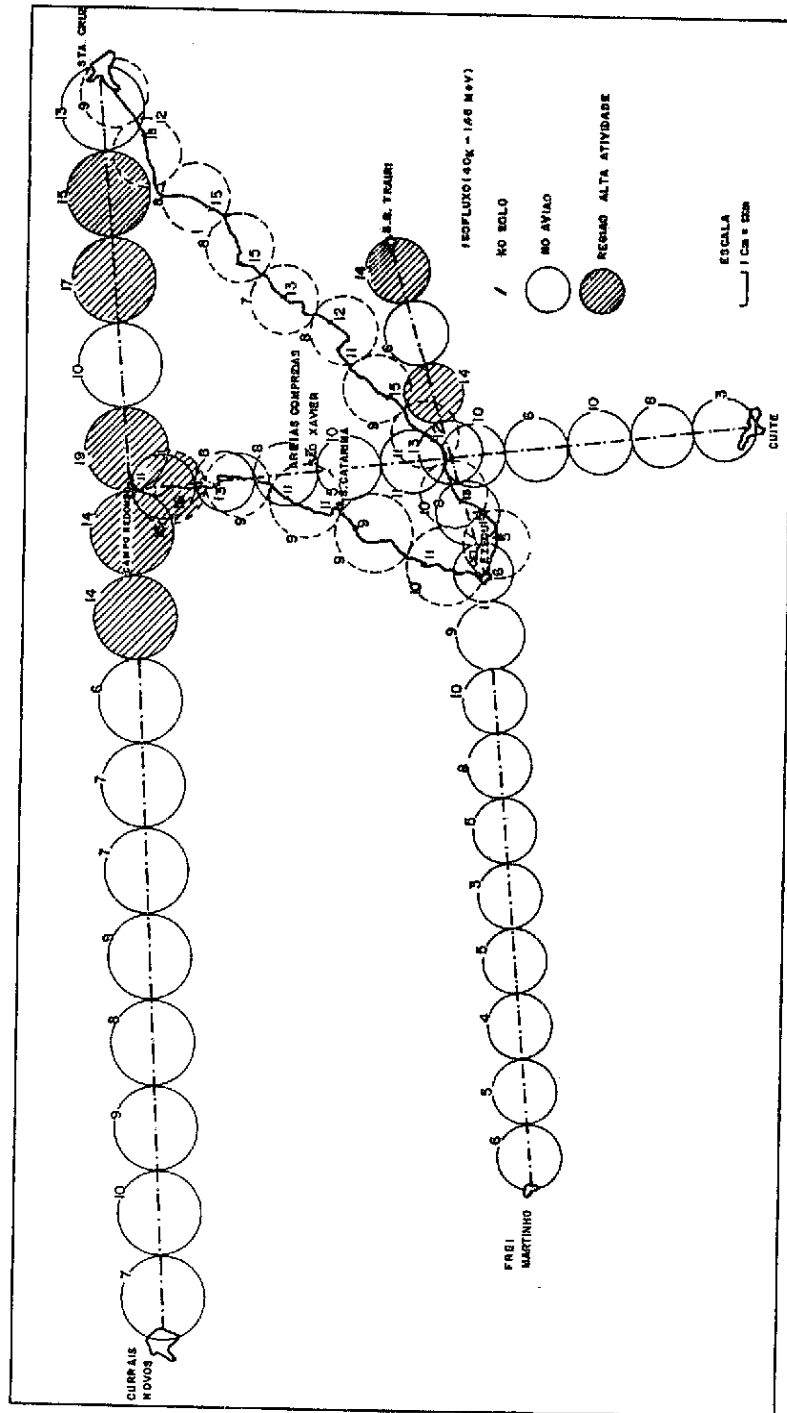


Fig. 2 - Detecção de áreas com alta intensidade de potássio.

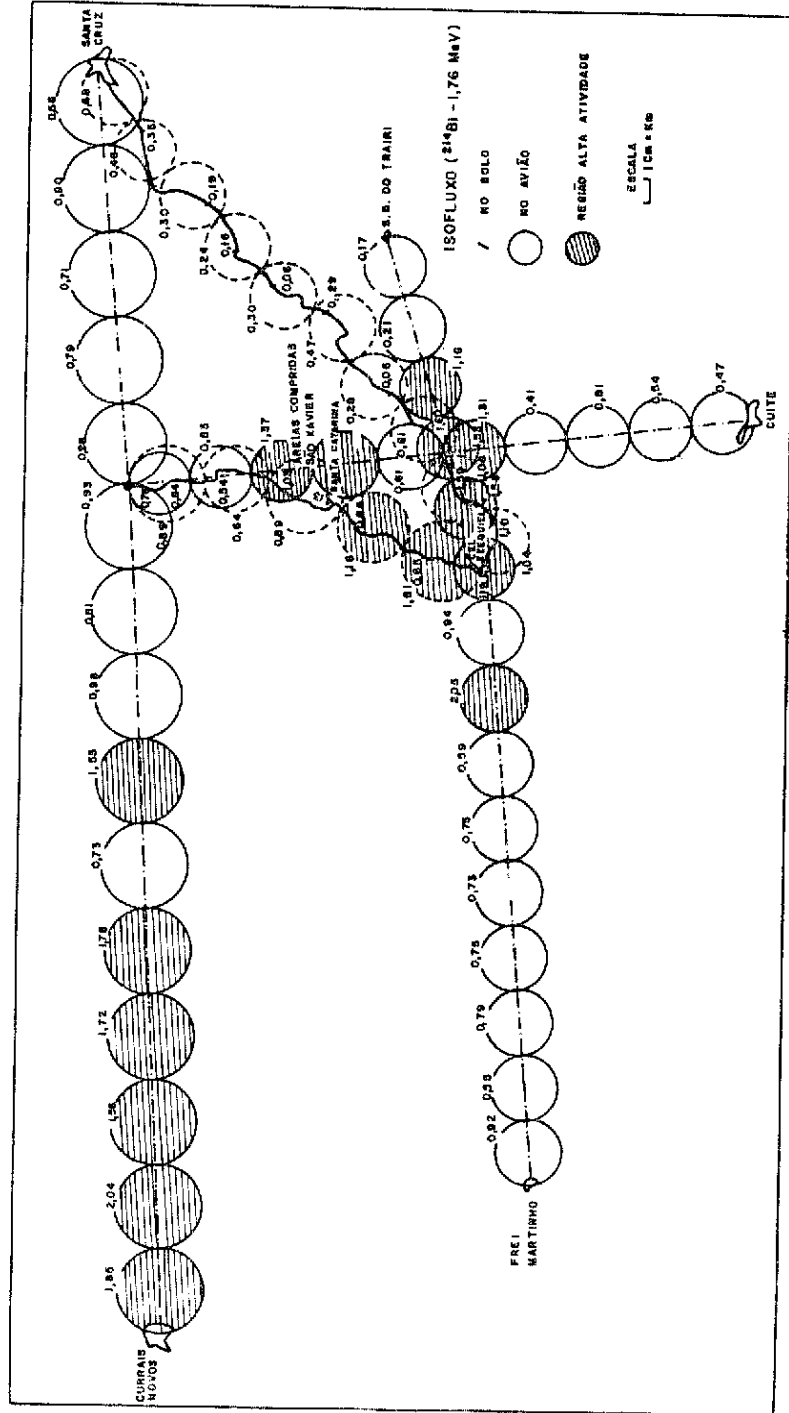


Fig. 3 - Detecção de áreas com alta intensidade de urânio.

Fig. 4 - Detecção de áreas com alta intensidade de tório.

A determinação da reta de regressão e do coeficiente de correlação foi feita para os três picos em várias altitudes (60m em média) e ao nível do solo. Foi necessário eliminar, para cada pico, dois pontos correspondentes aos valores extremos de contagens em altitudes. Os resultados são apresentados na Tabela 1.

TABELA 1

COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO PARA ALTITUDES DE 60 m

NUCLÍDEOS	ENERGIA (MeV)	a	b	c
Bi ²¹⁴	0,61	2,044	0,579	0,819
K ⁴⁰	1,46	0,363	0,487	0,629
Tl ²⁰⁸	2,61	0,217	0,664	0,752

Os coeficientes a e b aparecem na relação $y_{v\tilde{o}} = a + bx_{s\tilde{o}}$, entre as taxas de contagem no pico considerado, em vôo $y_{v\tilde{o}}$ e ao nível do solo $x_{s\tilde{o}}$. O termo a é composto de um fator proveniente do ruído de fundo próprio do detetor e de um termo proveniente da radiação cósmica. O termo b é da forma $\exp(-\mu h)$, onde h é a altitude de detecção e μ um coeficiente global de absorção para a radiação considerada. Os valores encontrados para b estão, aproximadamente, de acordo com a altitude de vôo, e os valores resultantes de μ são razoáveis, em comparação ao valor médio $0,007 \text{ m}^{-1}$ (IAEA, 1979).

4. CONCLUSÃO

Essas medidas foram feitas no sentido de se avaliar a utilização, à baixa altitude e ao nível de solo de equipamentos de espectrometria gama para fins astrofísicos. Os espectros registrados, mesmo com uma ligeira perda de resolução devido a miniaturização da eletrônica associada, são perfeitamente utilizáveis em levantamentos aéreos. As an

malias radioativas são observadas tanto em baixa altitude, quanto a nível do solo. As futuras fases deste estudo compreenderão a discriminação da contribuição da radiação cósmica em várias altitudes de vôo e em regiões de latitudes diferentes, e a utilização da espectrometria gama associada a outros métodos geomagnéticos em levantamentos aéreos regionais e de grande extensão.

Esse tipo de levantamento, com diversas técnicas geofísicas associadas, certamente permitirá observar regiões ricas em minerais radiativos e fertilizantes, assim como contribuirá para busca de fontes aquíferas no subsolo.

AGRADECIMENTOS

Ao Dr. Nelson de Jesus Parada, por facilitar a realização deste trabalho.

Ao governo do Estado do Rio Grande do Norte, por ter cedido o avião bimotor PT-KMW gratuitamente para esta pesquisa.

BIBLIOGRAFIA

- BARRETO, P.T. *Estudo das ocorrências de apatita e da jazida de ouro da Serra de Jacobina (Bahia) por meio de curtilografia e da espectrometria gama*. Tese de mestrado. Salvador, Universidade Federal da Bahia, 1974.
- DOIG, R. The natural gamma-ray flux: in situ analysis. *Geophysics*, 33(2):311-328, apr. 1968.
- FERREIRA, C. *Espectrometria gama de campo; determinação das condições de detecção, aplicação ao mapeamento de uma jazida de opatita*. Tese de Mestrado em Ciências Naturais em Geofísica. Salvador, Universidade Federal da Bahia, 1973.
- HANSON, R.J.; MARKER, D. soft gamma background radiation at the Earth's surface and of aircraft altitudes. *Il nuovo Amento*, 32(18):793-815, 1964.
- INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (IAEA). *gamma-ray surveys in uranium exploration*. Vienna, 1979. (Technical Reports Series nº 186).
- MARTIN, I.M. *Determination des flux de photons gamma de basse énergie dans l'atmosphère*. Thèse de Doctorat ès Sciences Physiques. Toulouse, Université de Toulouse. Faculté des Sciences, 1974.
- MERO, J.L. Uses of the gamma-ray spectrometer in mineral exploration. *Geophysics*, 25(sf):1054-1976, 1960.
- NORDEMANN, D. *Emissions gamma de quelques météorites et roches terrestres évaluation de la radioactivité du sol lunaire*. Thèse de Doctorat ès Sciences Physiques. Paris, Université de Paris.