

ESPECTROMETRIA DE NEUTRONS RÁPIDOS COM CINTILADOR NE-213.

por

Paulo Rogério Pinto Coelho e
José Rubens Maiorino
Divisão de Física de Reatores - RTF
Departamento de Tecnologia de Reatores - RT
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - CNEN
São Paulo - SP

RESUMO

Neste trabalho é descrito um espectrômetro de neutrons rápidos, que utiliza um cintilador líquido NE-213, implantado no IPEN/CNEN-SP. A discriminação entre radiação nêutron e gama é feita por circuitos eletrônicos de análise de forma de pulso. Um espectro de energia de neutrons emitidos pela fonte de AmBe é apresentado, obtendo-se resultados comparáveis a outros apresentados na literatura. O espectro medido de altura de pulso de prótons de recuo foram desdobrados em espectro de energia de neutrons utilizando o código de desdobramento de espectro FANTI.

SUMMARY

This work describes a fast neutron spectrometer using a liquid scintillator, NE-213, installed at IPEN-CNEN-SP. The Neutron-Gamma discrimination is made using a pulse-shape discrimination technique. A neutron energy spectra for Am-Be source is shown. The result agree with others presented by others authors. The measured proton-recoil pulse height spectra was unfolded in neutron energy spectra by using FANTI unfolding code.

1. INTRODUÇÃO

A medida do espectro de energia de neutrons rápidos ($E > 100$ keV) é feita utilizando análise de folha de ativação de energia limiar, ou medida com sistema de tempo de voo de neutrons ou cintilador tipo próton de recuo (1,2,3,4). Dos três métodos o terceiro tem se tornado o mais popular para a realização desse tipo de medida, tendo em vista a simplicidade dos equipamentos utilizados, o baixo custo dos mesmos, a pequena área experimental necessária para sua instalação e os poucos cuidados e gastos com sua manutenção.

A medida do espectro de energia de neutrons rápidos é importante para a obtenção de vários parâmetros na área de física de reatores, tal como determinar constantes de energia de grupo para cálculo de parâmetros neutrônicos; bem como no campo de radiodosimetria, visto que o dano biológico é função da energia dos neutrons.

A realização desse trabalho visou a implantação, no IPEN-CNEN/SP, da técnica de espectrometria de neutrons rápidos com o uso de cintiladores líquidos para a aplicação inicial em experimentos de blindagem.

O detector utilizado nesse trabalho foi o cintilador líquido NE-213, sendo que na seção 2 estão apresentados os equipamentos eletrônicos utilizados com o mesmo. O espectro de altura de pulso obtido com um espectrômetro tipo NE-213 precisa ser desdobrado computacionalmente para obter-se o espectro de energia dos neutrons. Na seção 3 é descrito o código computacional Fanti utilizado para o desdobramento do espectro. O espectrômetro construído foi testado utilizando uma fonte de neutrons de espectro de energia conhecido. Nas seções 4 e 5 são apresentados o espectro medido e a comparação do mesmo com os apresentados na literatura para uma fonte de ^{252}Cf .

2. EQUIPAMENTO ELETRÔNICO UTILIZADO

Devido as características inerentes ao detector NE-213, pode-se obter o espectro de energia de neutrons na presença de radiação gama, como é o caso da fonte de neutrons utilizada nesse trabalho (^{252}Cf). O tempo de formação de pulso devido aos raios gama (10 ns) é menor do que o devido a neutrons (80 ns) (5), visto que o primeiro deve-se a cintilação produzida por elétrons, enquanto o segundo deve-se a prótons de recuo; assim sendo, utilizando-se equipamentos eletrônicos apropriados, é possível fazer a distinção entre os dois tipos de eventos. O método por nós utilizado é o de análise de forma de pulso e, os equipamentos utilizados, bem como o modo de interligá-los estão apresentados na figura 1.

Utilizamos um cintilador NE-213 de 2" de altura por 1 1/2" de diâmetro com encapsulamento de vidro e reservatório de oxigênio livre de nitrogênio, tipo vhl pintado com tinta branca de MgO que é um refletor difuso de alta eficiência. O cintilador é acoplado opticamente com a fotomultiplicadora RCA 8850 por meio de um guia de luz (lucite) de 2,5 cm de altura por 2" de diâmetro, pintado externamente com tinta refletora numa faixa de 1 cm de largura, com a finalidade de ter maior uniformidade na coleta de luz (6) (a resposta do detector mais independente do ponto em que se dá a interação da radiação no cintilador, em relação a direção axial do cintilador), aumentando assim a resolução do detector.

O sinal linear do dinodo da fotomultiplicadora é pré-amplificado (ORTEC 113), passa por uma dupla linha de atraso (DLA ORTEC-460), de modo a ficar bipolar e possibilitar uma boa análise de forma de pulso (PSA/TSCA ORTEC-552). Na figura 2 está apresentado um diagrama temporal de como é feita essa análise.

se. A unidade ORTEC 552 emite dois pulsos; um quando o pulso passa o valor do discriminador de fração constante na subida do pulso bipolar e outro quando o pulso cruza a linha de base. Esses dois pulsos servem respectivamente para disparar e parar o conversor de tempo para altura de pulso (TAC ORTEC 567). A técnica de discriminação por fração constante possibilita o disparo de um sinal de tempo em um instante que é independente da altura de pulso e, a técnica de cruzamento da linha de base ("zero crossing") possibilita a emissão de outro sinal de tempo, também independente da altura de pulso mas em um instante proporcional ao tempo de formação do pulso no detector. Assim sendo, o intervalo de tempo entre os dois sinais temporais é maior para pulsos devido a neutrons do que para pulsos devido a gamas. A saída desse conversor, quando visto num analisador multicanal, produz a distribuição de altura de pulso apresentada na figura 3, na qual tem-se dois picos; um devido a neutrons e outro devido a gamas, ressaltando assim a diferença no tempo de formação de pulsos produzidos no cintilador NE-213 por esses dois tipos de radiação.

O TAC (ORTEC 537) tem incorporado um analisador monocanal possibilitando a saída de um pulso lógico correspondente a detecção de neutrons ou raios gamas. O analisador de forma de pulso também tem incorporado um analisador monocanal que permite estabelecer para sua saída um limiar ("threshold") para a altura dos pulsos de entrada (pulsos proveniente do amplificador). A unidade de coincidência (ORTEC 418A) gera um sinal de disparo ("gate") para a unidade de porta linear (ORTEC 426) quando tem-se coincidência ou anticoincidência na saída desses dois analisadores monocanal. Os pulsos que saem do pré-amplificador passam por um amplificador (saída unipolar), sofrem um atraso temporal e, se ao passar pela unidade de porta linear esta estiver com a porta aberta, são contados no analisador multicanal obtendo-se o espectro de altura de pulsos para neutrons ou gamas, dependendo da configuração da unidade de coincidência.

A eficiência de detecção do cintilador NE-213 não varia linearmente com a energia para neutrons, principalmente para energias abaixo de 800 keV, conforme pode ser visto na figura 4 (7). No caso de raios gama a eficiência de cintilação varia linearmente até energias mais baixas. Devido a essa não linearidade é que é necessário o estabelecimento de uma energia limiar na detecção de neutrons.

O espectro de altura de pulso é calibrado em energia utilizando-se uma fonte de raios gama de energia conhecida e verificando que o número do canal no multicanal varia linearmente com a altura de pulso e que o canal zero corresponde ao zero de altura de pulso. Para o estabelecimento do canal que corresponde a energia do gama, demonstra-se teoricamente que deve-se utilizar o canal correspondente a 2/3 da borda compton (8).

3. MÉTODO DE DESDOBRAMENTO DE ESPECTRO

O espectro de altura de pulso (H) medido (M(H)) está relacionado com o espectro de energia de neutrons incidentes no detector (N(E)) pela equação :

$$M(H) = \int R(H,E) N(E) dE, \quad (1)$$

onde R(H,E) é a função resposta do detector.

A equação 1 é válida desde que só tenhamos contagens devido a neutrons e que a taxa de contagens não seja elevada o suficiente para provocar efeito de tempo morto ou superposição de pulsos ("pile-up") no espectrômetro.

O desdobramento (deconvolução) de espectro, ou seja solução da equação 1 é feito utilizando programas computacionais. Dois métodos de desdobramento de espectro têm sido divulgado na literatura, a saber, método derivativo e méto-

do de inversão de matriz. O primeiro é de execução mais rápida mas apresenta resultados menos precisos do que o segundo, o qual implica em utilizar maior área de memória de computador.

O programa computacional utilizado nesse trabalho é o FANTI (9), o qual baseia-se no método de inversão de matriz. O FANTI foi desenvolvido na Alemanha e utiliza o núcleo do programa FORIST (10); não tem o processo iterativo de estabelecimento das larguras das gaussianas para suavização do espectro ajustado, mas necessita de um conjunto de dados de entrada muito mais simples do que o do FORIST e tem a possibilidade de entrar com um limiar de energia ("threshold") para o espectro a ser desdobrado.

A matriz resposta para esses programas pode ser gerada experimentalmente utilizando fontes monoenergéticas de neutrons ou, utilizando programas computacionais baseados no método de Monte Carlo ou por uma combinação de medidas e cálculos. A matriz resposta é função do detector e da posição do mesmo em relação a radiação incidente, ou seja, depende das condições de operação do detector, da taxa de contagem, das dimensões geométricas do cintilador, do acoplamento ótico com a fotomultiplicadora e se a radiação incide frontalmente ou lateralmente no cintilador (geometria entre fonte e detector). A matriz resposta utilizada foi gerada com o programa computacional NRESP4 (11) para um cintilador NE-213 com as dimensões e acoplamento ótico equivalentes ao por nós utilizado. O programa FANTI, bem como a matriz resposta por nós utilizada foram obtidos com o grupo do ciclotron do IEN-CNEN/RJ.

4. RESULTADOS

Foi obtido o espectro de energia de neutrons de uma fonte conhecida para avaliar o desempenho do espectrômetro de neutrons rápidos construído. A fonte de neutrons rápidos utilizada foi uma de AmBe de 1 Ci, fabricada pela Amershan Searle tipo MN-100.

A curva de discriminação entre a detecção de neutrons e raios gama (saída do TAC ORTEC 437) apresentada na figura 3 tem uma figura de mérito de 1,35 o que indica uma boa discriminação entre neutrons e gamas.

A calibração em energia do espectro de altura de pulso foi feita utilizando os gamas de 4.43 MeV do Am, tendo-se obtido o espectro da figura 5, com 20 keV/ canal de gamas, e um "threshold" de 26 canais que corresponde a uma energia de 2.6 MeV de neutrons.

Os espectros de altura de pulsos devido a neutrons da fonte AmBe bem como da radiação de fundo para essa medida, ambos para um tempo de contagem de 20 minutos, estão apresentados na figura 6. Esses dois espectros foram utilizados como dado de entrada para o programa FANTI, tendo-se obtido o espectro de energia de neutrons apresentado na figura 7.

5. CONCLUSÕES

Na literatura encontram-se os resultados de medidas do espectro de energia da fonte AmBe, realizadas por vários autores, sendo que na figura 8 re-produzimos uma delas, fornecida pelo fabricante da fonte de AmBe utilizada.

Comparando o espectro por nós medido (figura 7) com um dos apresentados na literatura (figura 8) verifica-se uma boa concordância entre eles, não só na energia dos picos, bem como na amplitude dos mesmos.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao grupo do ciclotron do IEN/CNEN-RJ por nos ter cedido o programa computacional FANTI de desdobramento de espectro, em especial a Leila J. Antunes e ao Aucyone A. Silva por terem prestado apoio na utilização desse programa. Agradecemos também ao grupo de operação do RE-IPEN/CNEN-SP por terem ajudado na obtenção dos dados para esse trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. OKA, Y.; AN., S.; KASAI, S. Neutron and gamma-ray penetrations. In Thick Iron. In: Nuclear Science and Engineering, 73, 259-273 (1980).
2. JINXIANG, C.; GUOYOU, T.; SHANGLIAN, BAO; WENGUANG, Z; ZHAOMIN, S. - Measurement of Partial Neutron Spectrum of an Am-Be (α ,n) Source. IAEA, INDC (CPR)-004/L.
3. CHAPMAN, G.T.; MORGAN, G.L.; McConnell, J.W. - The ORNL Integral Experiment to Provide Data For Evaluating Magnetic - Fusion- Energy Shielding Concepts. PART I: Attenuation Measurements. Oak Ridge, ORNL, Aug. 1982 (ORNL/TM-7356).
4. BURRUS, W.R.; VERBINSKI, V.V. FAST Neutron Spectroscopy with Thick Organic Scintillators. In: Nuclear Instruments and Methods 67 (1969) 181-196.
5. TSECHANSKI, A.; SHANI, G. System Preparation and Fast Neutron Spectra Measurement in a Graphite Stack. In: Nuclear Technology 62 (1983) 227-237.
6. SCHOLERMANN, H.; KLEIN, H. Optimizing the Energy Resolution of Scintillation Counters at High Energies. In: Nuclear Instruments and Methods 169 (1980) 25-31.
7. SILVA, A.G.; AULER, L.T.; SUITA, J.C.; ANTUNES, L. J.; SILVA, A.A. - Double-Differential Neutron Emission Spectra Obtained by a Double Neutron-Gamma Discrimination Technique. Rio de Janeiro, IEN/CNEN-RJ, Maio 1986 (DIFIS - 01/86).
8. DIETZE, G.; KLEIN, H. Gamma-Calibration of NE-213 Scintillation Counters. In: Nuclear Instruments and Methods 193 (1982) 549-556.
9. ANTUNES, L.J.; BORKER, G.; KLEIN, H.; BULSKI, G. - Unfolding of Ne-213 Scintillation Spectra Compared with Neutron Time - Of-Flight Measurements. INT. Conf. On Nuclear Data And Applied Science, Santa Fe, USA, May 1985.
10. FORIST - Neutron Spectrum Unfolding Code-Iterative Smoothing Technique. Oak Ridge, ORNL (PSR-92).
11. DIETZE, G.; KLEIN, H. - NRESP4 and NEFF4 - Monte Carlo Codes for the Calculation of Neutron Response Functions and Detection Efficiencies for NE-213 Scintillation Detectors. Braunschweig, PTB, October 1982 (PTB-ND-22).
12. THOMPSON, M.N.; TAYLOR, J.M. Neutron Spectra from Am- α -Be and Ra- α -Be Sources. In: Nuclear Instruments and Methods 37 (1965) 305-308.

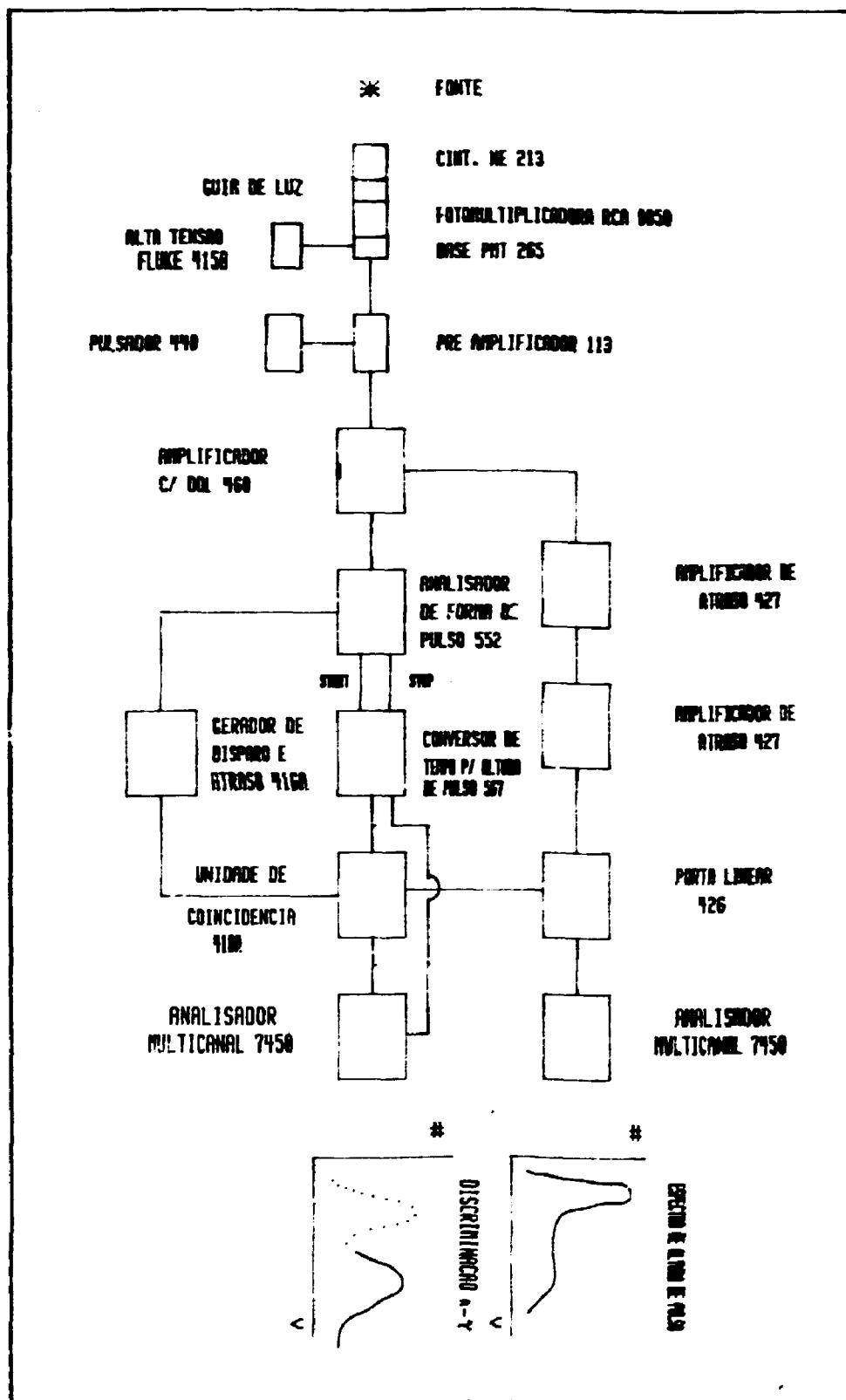
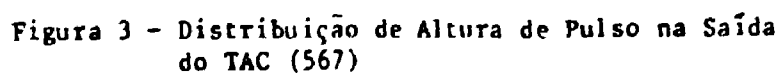


FIGURA 1: DIAGRAMA DE BLOCOS DO SISTEMA ELETRONICO DO ESPECTROMETRO DE NEUTRONS NE-213.



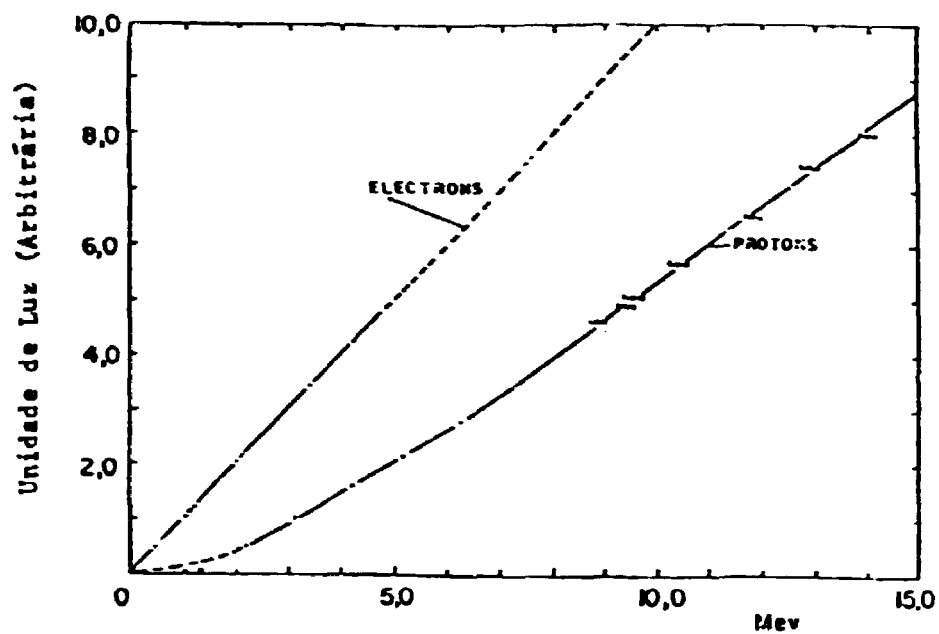


Figura 4 - Eficiência de detecção do cintilador Ne-213 para elétrons e prótons (Ref. 7).

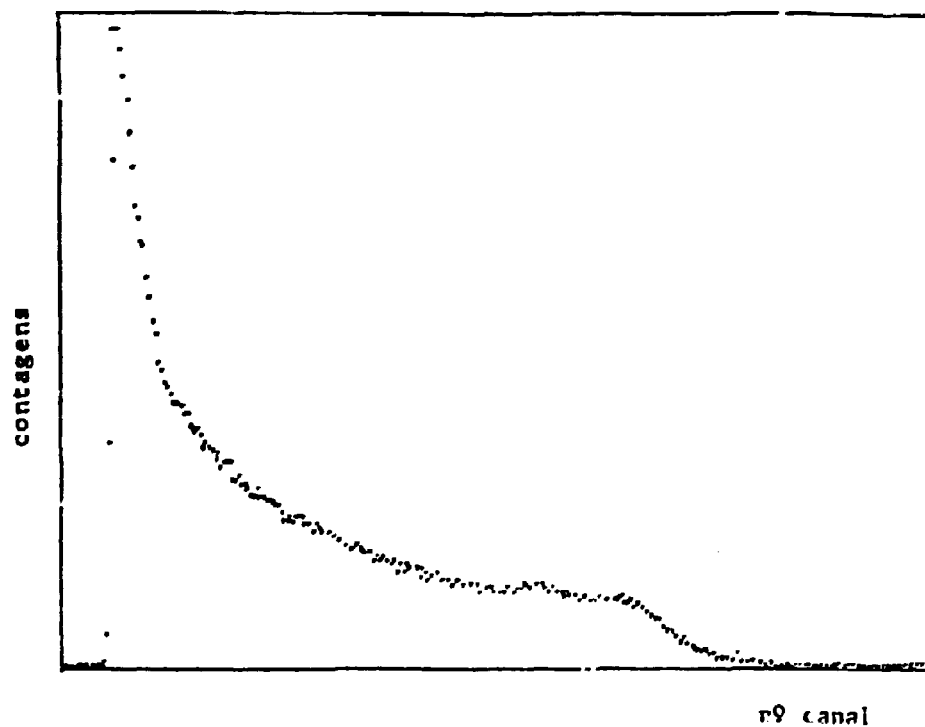


Figura 5 - Espectro de Altura de Pulso para Raios γ da Fonte AmBe.

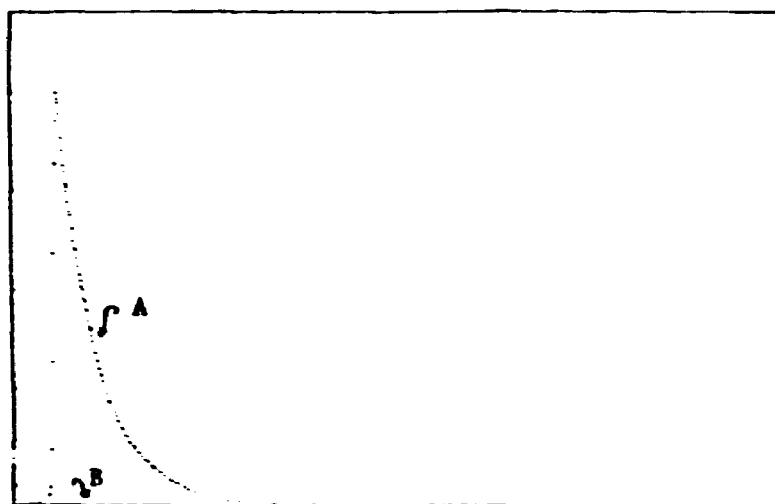


Figura 6 - Espectro de Altura de Pulso para Neutrons

- A) Fonte de AmBe
- B) Radiação de Fundo

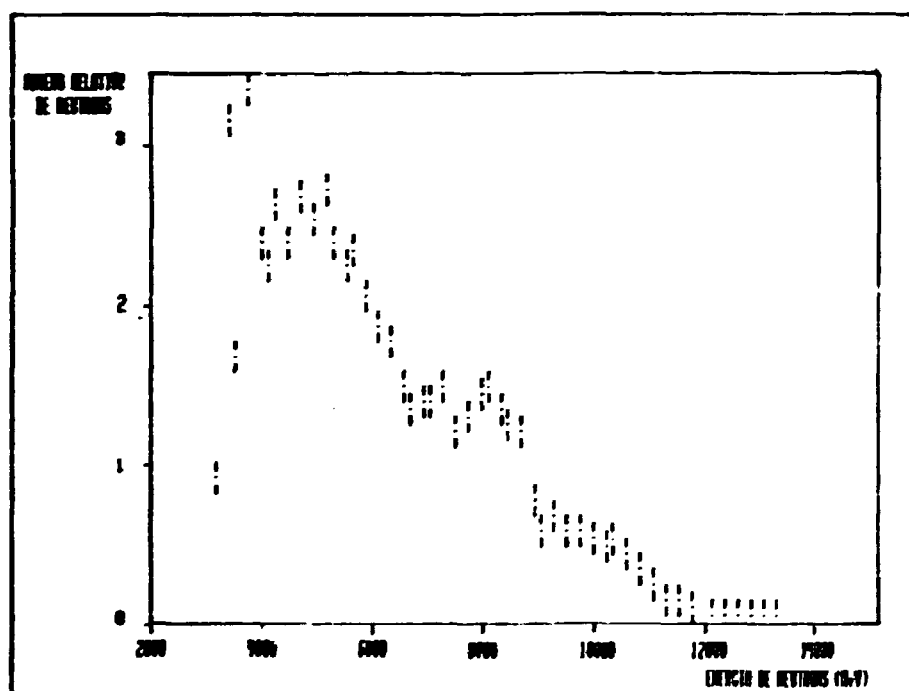


Figura 7 - Espectro de Energia de Neutrons da Fonte Am- α -Be

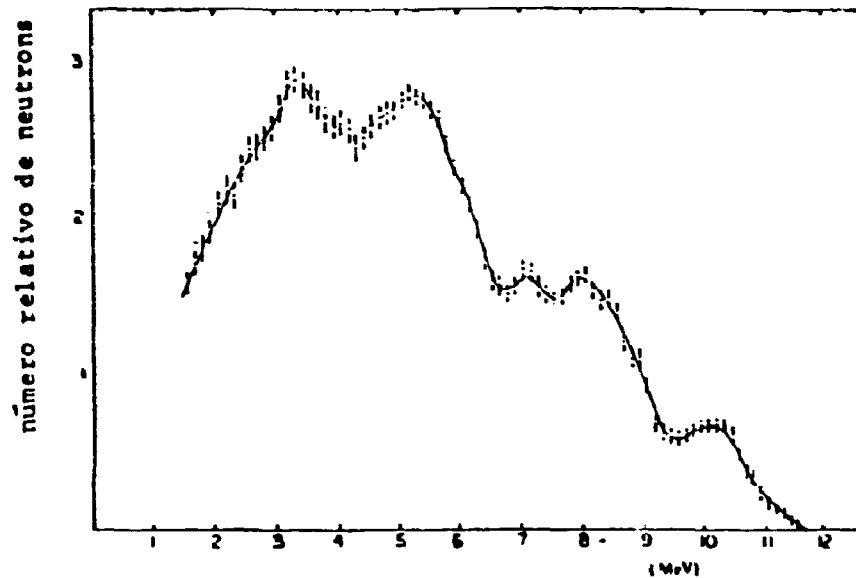


Figura 8 - Espectro de Energia de Neutrons da Fonte Am- α -Be (Ref. 12)