

MEDIDAS DE ESPECTRO DE ENERGIA DE NÊUTRONS EMERGENTES DE UM DUTO EM UMA BLINDAGEM

Elcio Angioletto* e Paulo Rogério P. Coelho**

*Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo (CTMSP)
Departamento de Física de Reatores Nucleares
Av. Lineu Prestes, 2242
05508-900, São Paulo, SP

**Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN / CNEN – SP
Departamento de Análises de Reatores, Divisão de Física de Reatores
Travessa R, 400, Cidade Universitária
05499-900, São Paulo, SP

RESUMO

Este trabalho apresenta medidas de espectros de energia de nêutrons, de uma fonte Am-Be, emergentes de um duto em uma blindagem, composta de placas de polietileno borado. Para tal, foram tomadas medidas em diversos pontos do espaço, variando as posições do cintilador líquido NE-213. Este detetor é ligado a um sistema eletrônico de discriminação de forma de pulso (PSD) e de aquisição de dados. O espectro de altura de pulsos de prótons de recuo foi desdobrado em espectro de energia de nêutrons utilizando o código FANTI.

Palavras-chave: espectrometria de nêutrons rápidos, cintilador NE-213, blindagens, dutos.

I - INTRODUÇÃO

Nas instalações nucleares são utilizadas fontes radioativas ou equipamentos produtores de radiações altamente penetrantes e com grande intensidade, implicando na necessidade de blindagens para a radiação com o objetivo de proteger os operadores e o meio ambiente da mesma. É inerente ao funcionamento destas instalações, como em reatores nucleares, por exemplo, a existência de penetrações nas blindagens, tais como portas e dutos para a passagem de fios ou fluidos de processo. Normalmente as penetrações são construídas em forma de “labirinto” para minimizar a fuga de radiações por estes pontos da blindagem [1].

A medida do espectro de energia de nêutrons rápidos ($E > 100\text{keV}$) é feita utilizando medidas com folhas de energia limiar, ou medida com sistema de tempo de voo de nêutrons ou com cintilador tipo próton de recuo [1-5]. Dos três métodos o terceiro tem se tornado o mais popular para a realização desse tipo de medida, pela 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 nêutrons rápidos é importante para obtenção de vários parâmetros na área de física de reatores, bem como no campo de radiodosimetria, visto que o dano biológico é função da energia dos nêutrons.

A realização deste trabalho visa a implantação, no CTMSP (Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo), da técnica de espectrometria de nêutrons com o uso de cintiladores para a aplicação inicial em experimentos em dutos de blindagens. Neste trabalho são apresentados dados iniciais deste estudo.

O detetor utilizado nesse trabalho foi o cintilador líquido NE-213, juntamente com o aparato eletrônico (Figura 1). O espectro de altura de pulso obtido com esse espectrômetro precisa ser desdobrado computacionalmente para obter-se o

espectro de energia dos nêutrons. Na seção III é descrito o código computacional FANTI utilizado para o desdobramento de espectro. Um espectrômetro similar já foi anteriormente utilizado, comprovando a aplicabilidade da técnica [2]

II. ELETRÔNICA ASSOCIADA

Utilizou-se um cintilador líquido NE-213 de 2” de altura por 1,5” de diâmetro, acoplado ópticamente com uma fotomultiplicadora RCA 8850, por meio de um guia de luz (lucite), pintado externamente com uma tinta refletora, para obter maior uniformidade na coleta de luz [2], aumentando assim, a resolução do detetor.

O sinal linear do dínodo 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 pulso (PSA/TSCA ORTEC-552). 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 nêutrons do que para pulsos devido aos gamas. A saída desse conversor, quando visto num analisador multicanal, produz a distribuição de altura de pulso apresentada na Figura 2, na qual tem-se dois

picos; um devido à nêutrons 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 537 da ORTEC tem incorporado um analisador monocanal possibilitando a saída de um pulso devido a nêutrons ou gamas, dependendo do nível do discriminador. O analisador de forma de pulso (PSA/TSCA 552) também tem incorporado um analisador monocanal que permite estabelecer para uma suas saídas um limiar (“threshold”) para a altura dos pulsos de entrada (pulsos provenientes do amplificador), possibilitando assim eliminar pulsos devidos a ruído. A unidade de coincidência (ORTEC 418-A) 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 monocanais. 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 aberta, são contados no analisador multicanal obtendo-se o espectro de altura de pulsos para nêutrons ou gamas, dependendo da configuração da unidade de coincidência.

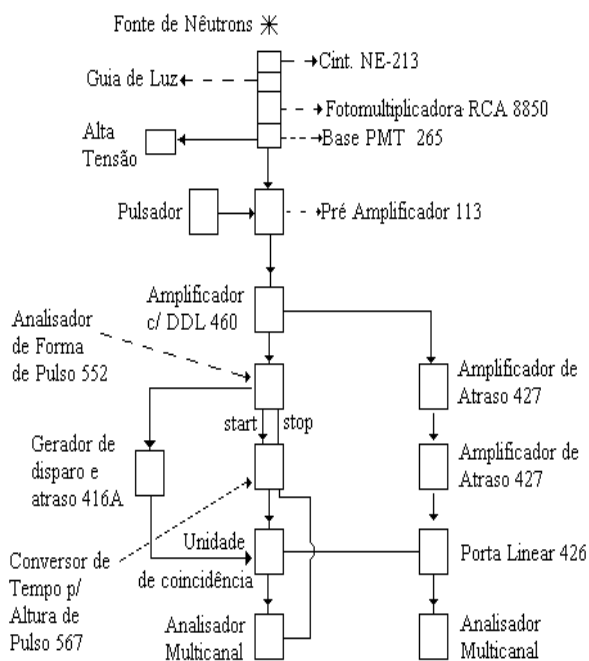


Figura 1: Diagrama de blocos do sistema eletrônico do espectrômetro de Nêutrons NE-213 [2].

A eficiência de detecção do cintilador NE-213 não varia linearmente com a energia dos nêutrons, principalmente para energias abaixo dos 800 KeV [5]. Devido a essa não linearidade é que torna-se necessário o estabelecimento de uma energia limiar na detecção de nêutrons. No caso de raios gamas a eficiência de cintilação varia linearmente até energias mais baixas.

O espectro de altura de pulso é calibrado em energia utilizando-se fontes de raios gama de energias conhecidas 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 [2]. Para o estabelecimento do canal que corresponde à energia do

gama, demonstra-se teoricamente que deve-se utilizar o canal correspondente a dois terços da borda Compton.

III. CÓDIGO FANTI

O código FANTI foi desenvolvido para calcular o espectro de energia de nêutrons partindo-se de um espectro de altura de pulsos produzido por um sistema de detecção no qual se usa o cintilador líquido NE-213.

Este programa utiliza um desdobramento de espectro por inversão de matriz, considerando a não negatividade de todos os elementos da matriz resposta, utilizando mínimos quadrados como vínculo.

O FANTI usa a matriz resposta baseada em dados experimentais e em dados gerados com o programa NRESP, baseado no método de Monte Carlo, para 75 energias de nêutrons entre 0,2 e 19,0 MeV e 140 alturas de pulsos. O código FANTI é uma versão do código FERDOR [7], modificado principalmente quanto ao tratamento dado ao espectro de entrada (de altura de pulso).

O espectro medido deve ser atribuído apenas a nêutrons; assim sendo, deve-se utilizar uma técnica de discriminação de pulsos devido à nêutrons e devido a gamas.

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

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

onde R(H,E) é a matriz resposta do detector [5]. O intervalo de energias de interesse é de 2,0 e 19,0 MeV.

IV. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Foram realizadas medidas com o intuito de calibrar em energia, para tanto, utilizou-se duas fontes emissoras de raios gama com energias distintas, uma fonte de ²⁴¹Am e a outra de ¹³⁷Cs, sendo que o zero de energia foi ajustado para o canal zero. O multicanal foi programado com as energias dos elétrons comtons resultantes das iterações dos gamas no cintilador. O ganho de amplificação foi ajustado para que ficasse com um valor próximo de 20 keV por canal, que é o valor utilizado na geração da matriz resposta do detector.

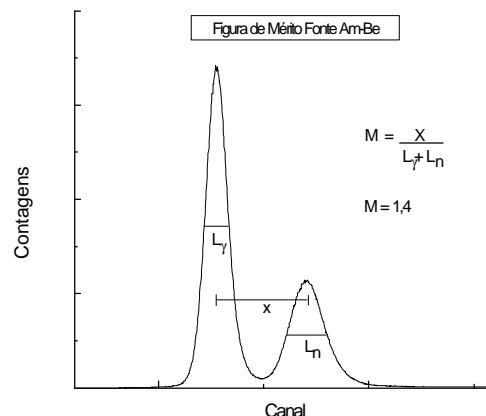


Figura 2: Distribuição de altura de pulso na saída do TAC-567.

Obteve-se a figura de mérito para este sistema, onde nota-se que a separação entre os nêutrons e os gamas é realizada com sucesso.

Usou-se três placas quadradas de polietileno borado, cujos lados medem 58cm, cada uma com 2,4cm de espessura, perfuradas de modo a simularem uma blindagem com um duto em forma de “labirinto”, esquematizado na Figura 3

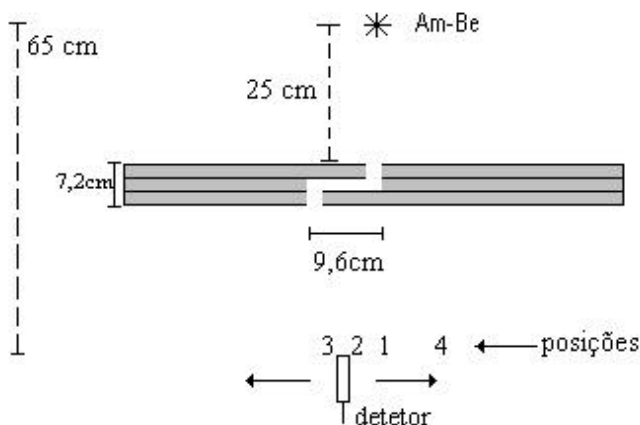


Figura 3: Representação esquemática do arranjo experimental, vista superior.

Mediu-se um espectro sem as placas entre a fonte e o detector, na posição 1, e outras quatro medidas de espectros foram feitas, nas posições 1, 2, 3 e 4. O duto mede 2,4x2,4 cm de abertura, sendo que as placas medem, juntas, 7,2 cm de espessura.

Cada medida durou quatro horas. A normalização dos dados foi feita pela maior integral das contagens na região de interesse (energia acima de 2MeV).

Os espectros de altura de pulsos de prótons de recuo (devido a nêutrons da fonte Am-Be), são utilizados como dados de entrada para o programa FANTI, resultando nos espectros de energia de nêutrons, dos quais dois estão expostos em seguida (Figuras 4,5) pelo interesse que implicam neste trabalho.

TABELA 1. Contagem acumulada em cada posição

| Posição | 1 S/ placas | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---------|-------------|-------|------|------|-----|
| Contag. | 18700 | 16700 | 7710 | 1930 | 389 |

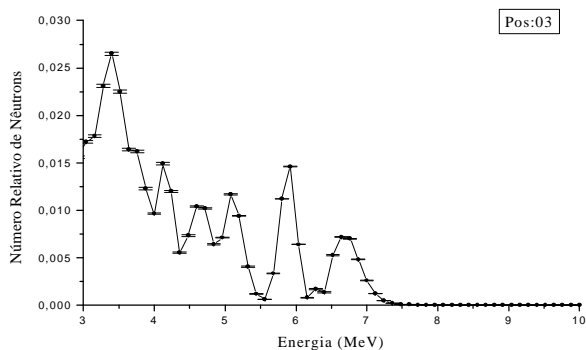


Figura 4: Espectro de energia de nêutrons medido na posição “3”

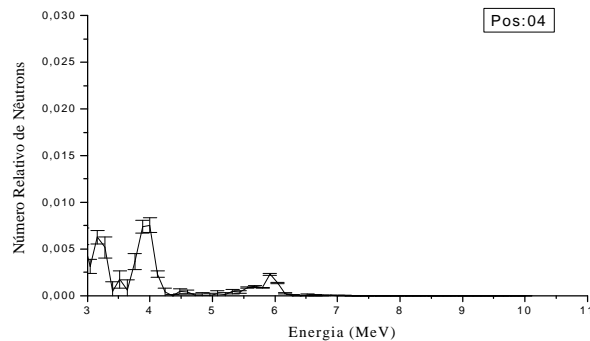


Figura 5: Espectro de energia de nêutrons medido na posição “4”.

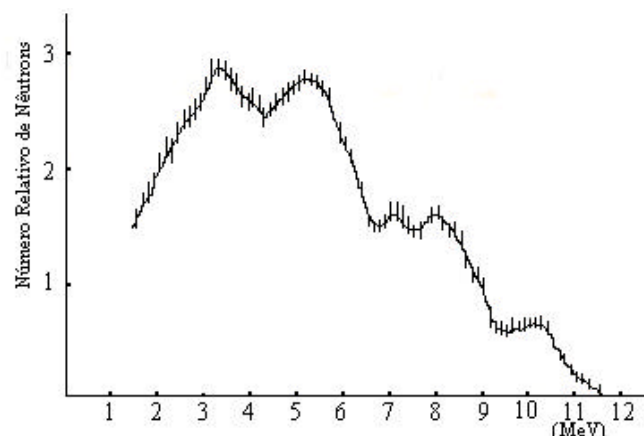


Figura 6: Espectro de Energia de Nêutrons de uma Fonte Am-Be[6].

V. CONCLUSÕES

Observando a tabela 1 e as figuras 4 e 5, percebe-se que existem diferenças nas contagens e nas formas de espectros medidos nas posições “3” e “4”, embora estas posições sejam simétricas com relação à fonte de nêutrons, deixando clara, assim, a influência do duto na blindagem, ou seja, existe uma fuga de nêutrons pelo duto (posição 3) e maior atenuação dos nêutrons na blindagem (posição 4). Observa-se também que à medida que o detector afasta-se lateralmente em relação à posição da fonte (da posição 1 para a 2) aumenta a atenuação e absorção dos nêutrons na blindagem.

Os espectros obtidos apresentam distorções, se comparados com a Figura 6, apresentada na literatura [6], que podem ser resultantes da baixa estatística de contagem e do ruído eletrônico. Este problema será estudado na seqüência deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- 1 - SHIN, K. **Semiempirical formula for energy-space distributions of streamed neutrons and gamma rays in cylindrical ducts.** J. Nucl. Sci. Technol., 25: 8-18, 1988
- 2 - COELHO, PAULO R. P.; **Padrão Experimental em**

Espectrometria de Nêutrons Rápidos Utilizando Nêutrons da Reação DT e Avaliação de Métodos de Cálculo de Blindagem. Tese de Doutorado, IPEN/CNEN-SP, 1993

- 3- SANTORO, R. T.; ALSMILLER, R.G. Jr.; BARNES, J. M.; CHAPMAN, G. T.; TANG, J.S., **Calculated neutron and gamma-ray energy spectra from 14 MeV neutrons streaming through an iron duct: comparison with experiment**, Nucl. Sci. Eng., 80: 586-602, 1982.
- 4 - NUMATA, S.; YAMAJI, A.; SAITO, T. **Shielding experiment for gamma ray streaming through two-legged concrete duct and analysis by single scattering method**, J. Nucl. Sci. Technol., 25: 19-31, 1988.
- 5 - COELHO, P.R.P., MAIORINO, J.R., **Espectrometria de nêutrons rápidos com cintilador NE-213**, II congresso Geral de Energia Nuclear, Rio de Janeiro, 1988.
- 6 - THOMPSON, M. N.; **Neutron Spectra from Am- α -Be and Ra- α -Be Sources**. Nuclear Instruments and Methods 37 (1965) 305-308.
- 7- FERDOR and COOLC – **Spectra unfolding codes**. Oak Ridge National Lab. (PSR-17).

ABSTRACT

Fast neutron energy spectra emerging from ducts in a laminated shielding of borate polyethylene, for an Am-Be neutron source, are measured at several positions. The detection system is composed of a NE-213 liquid scintillator connected to a pulse shape discriminator and data acquisition electronic system. The measured proton recoil pulse-height data were unfolded using FANTI code to obtain the neutron energy spectrum.