

# DISPOSITIVO DE MAPEAMENTO DE FLUXO DE NÊUTRON ATRAVÉS DO SPND/RÓDIO NO REATOR IEA -R1

Walter Ricci Filho, Alberto de Jesus Fernando, Rogério Jerez, Julio B. M. Tondin, Hertz Pasqualetto

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN/CNEN-SP  
Travessa R, 400, Cidade Universitária  
05508-900 São Paulo, SP, Brazil

## RESUMO

O trabalho de monitoração de fluxo neutrônico utilizando SPND (Self Power Neutron Detector) faz parte de um programa de pesquisa e desenvolvimento para obtenção de novos materiais (radioisótopos) ainda não disponíveis no país.

A utilização do SPND tem por objetivo fornecer um mapa neutrônico das posições de irradiação do Reator IEA -R1 de forma rápida e confiável. Esse trabalho consiste em mapear o núcleo do reator em todas as suas posições de irradiação nas potências de 2MW e 5MW.

Hoje o reator não dispõe de um sistema rápido e eficiente que possa monitorar “on-line” todas as posições dos elementos de irradiação, que são: **3 EIRA** (Elemento de Irradiação Refrigerado a Água), **2 EIGRA** (Elemento de Irradiação de Grafita), **1 EIBe** (Elemento de Irradiação de Berílio), **1 EIF** (Elemento de Irradiação de Fios).

Com o dispositivo de mapeamento de fluxo, calibrado e em operação, é possível monitorar as posições de irradiação diariamente. Para esse sistema foi desenvolvido um dispositivo de alumínio para posicionar o SPND. Este dispositivo permite fazer uma varredura nos elementos de irradiação, axialmente, e em todas as posições ou prateleiras.

Esse dispositivo com o SPND/Ródio instalado encontra-se em fase experimental onde foi submetido a variações de potência, temperatura e longos períodos de irradiação. Até o momento os resultados obtidos são comparáveis aos resultados obtidos com folhas de ouro (método indireto).

Palavra chave: ródio, nêutron, fluxo, spnd, irradiações

## I. INTRODUÇÃO

O objetivo deste trabalho é dotar o Reator IEA -R1 de instrumentação adequada para mapeamento de fluxo de neutrons de maneira pratica e confiável.

Com a crescente produção de radioisótopos, radiofármacos e outros insumos que visam suprir as necessidades de hospitais, clínicas e centros de pesquisa faz-se necessário à otimização e modernização na obtenção de dados nucleares.

## II. DESENVOLVIMENTO DE INSTRUMENTAÇÃO UTILIZANDO SPND/RÓDIO

Este dispositivo, desenvolvido para uso no Reator IEA-R1, consiste de dois tubos de alumínio, montados de forma coaxial. No tubo interno fica alojado o SPND-Ródio. O tubo interno é móvel e pode percorrer, axialmente, todas as posições de irradiação das amostras. Desta forma, é possível mapear o fluxo de nêutrons na posição de cada cápsula de alumínio que aloja o material a ser irradiado.

O suporte do SPND não permite movimentações laterais, evitando vibrações desnecessárias. Na parte superior do tubo interno existe uma régua que simula, em tamanho natural, o elemento de irradiação, desta forma é possível saber com exatidão onde está sendo medido o fluxo. Os tubos externo/interno tem aproximadamente 8700 mm de comprimento, Figura 2.

O cabo do SPND que percorre o tubo interno é ligado a um eletrômetro onde é feita a leitura da corrente em ampère, conforme Figura 2.

O SPND/Ródio adquirido e utilizado possui as seguintes características, mostrada na tabela 1;

TABELA 1. – Características do SPND/Ródio

Diâmetro externo do detector (mm)	2,4
Diâmetro externo do cabo (mm)	1,5
Comprimento do cabo (mm)	12000
Sensibilidade p/ nêutron térmico (A/n.cm <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup> )	4x10 <sup>-21</sup>
Intervalo de operação (n.cm <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup> )	10 <sup>11</sup> – 10 <sup>14</sup>
Desvio de linearidade (%)	5
Tempo de resposta (min.)	3
Temperatura de operação (°C)	450
Burn up 1x10 <sup>2</sup> In.cm <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup> (%)	8.06

Beijing Nuclear Instrument Factory

O ródio é um dos materiais mais utilizados em SPNDs para sistemas de monitoração “in-core” pela alta corrente fornecida e esquema de decaimento razoavelmente simples. Possui como desvantagem uma resposta lenta porém, estudos realizados avalizam sua utilização como elemento de calibração. Assim, a partir de uma calibração inicial, é possível determinar o fluxo neutrônico em tempo real [1].

O Ródio-103, tendo absorvido nêutrons, pode resultar no Ródio-104 em dois estados diferentes, ou seja, o Rh-104 no estado fundamental (probabilidade 92%) e o Rh-104 num estado excitado (probabilidade de 7%) conforme apresentado na Figura 1.

O Ródio-104 decai por emissão de partícula beta com meia vida de 42 segundos e o Ródio-104 metaestável decai por emissão de partícula beta para Pd-104. Dentre os SPNDs classificados como lentos o ródio é o que possui maior utilização, por sua grande sensibilidade a nêutrons térmicos [1].

A Tabela 2 apresenta uma comparação entre as características do ródio e de outros materiais usados em SPNDs.

TABELA 2 – Comparação entre os diversos materiais utilizados em SPNDs.

Material	Abundância (%)	Seção de choque de ativação, (Barns)	Meia-vida	Energia máxima beta, (MeV)	Queima ( $10^{13} \text{ n cm}^{-2} \text{ sec}^{-1}$ )
$^7\text{Li}$	92.58	0.036	0.855 seg	13.0	Desprezível
$^{11}\text{B}$	80.40	0.005	0.025 seg	13.4	Desprezível
$^{27}\text{Al}$	100	0.23	2.30 min	2.87	Desprezível
$^{51}\text{V}$	99.76	4.9	3.76 min	2.47	0.013% mês
$^{55}\text{Mn}$	100	13.3	2.58 hr	2.85	0.035% mês
$^{99}\text{Tc}$	Artificial	22	16seg	3.37	0.058%/mês
$^{103}\text{Rh}$	100	150 (11+139)	4.4 min, 42 seg	2.44	0.40% mês
$^{115}\text{In}$	95.72	203 (4*, 154.45)	54min, 14seg	1.0, 3.29	0.53% mês
$^{109}\text{Ag}$	48.18	92	24seg	2.87	0.24% mês
$^{107}\text{Ag}$	51.82	35	2.4min	1.64	0.092% mês
$^{60}\text{Co}$		37		$3.4 \times 10^{-10} \text{ nV - A/CM} - 2 \times 10^{13} \text{ nV}$	2.3% ano

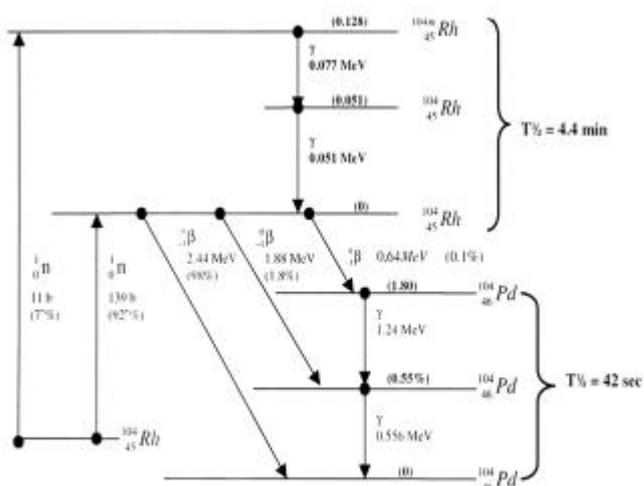


Figura 1 – Decaimento do Ródio

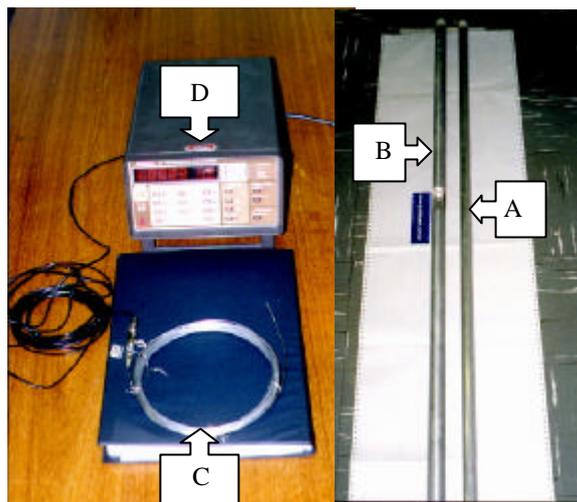


Figura 2 – Eletrômetro, SPND/Ródio e cabo e tubos de alumínio.

A Figura 2, mostra toda a instrumentação utilizada para mapear o núcleo do reator. Pode-se observar o SPND/Ródio e seus 12 metros de cabo metálico (C), o eletrômetro “Keithley – 617 (D), o tubo de alumínio que serve de guia para o SPND (A) e um elemento de irradiação que serve para alojar as cápsulas com material a ser irradiado (B).

O tubo de alumínio (B) serviu de referência para determinar a altura exata do SPND quando colocado no núcleo.

### III – METODOLOGIA PARA O MAPEAMENTO DO FLUXO DE NEUTRONS NAS POSIÇÕES DE IRRADIAÇÃO.

Quando o reator atinge a potência desejada, insere-se o tubo de alumínio com o SPND/Ródio na posição a ser mapeado, Figura 3. Após aproximadamente 10 minutos a corrente medida pelo SPND estabiliza-se, fornecendo o valor do fluxo de nêutrons na posição da medida. O mesmo procedimento é feito para todas as outras posições de irradiação.

Os experimentos foram realizados em 2 e 5 MW e as condições de operação mantidas constante.

Com o valor da corrente estável no eletrômetro, é feito o cálculo do fluxo térmico usando a equação:

$$j_{th} = I_{th} / (g+rs) S_{th} = I_{me} / (g+rs) S_{me} \quad (1)$$

$j_{th}$  → densidade de Fluxo térmico

$I_{me}$  → corrente medida no eletrômetro

$S_{me}$  → sensibilidade do detector p/ neutrons térmicos fornecido pelo fabricante A/nv.

$g,s$  → Westcott factor [3], [4]

$r$  → coeficiente térmico efetivo

O fator de correção devido ao consumo do material emissor é dado pela equação:

$$S_{th} = f \cdot S_{thma} \quad (2)$$

Onde:

$f$  → coeficiente de compensação de consumo.

$$(f = e^{-k \cdot \phi \cdot \sigma \cdot t} = e^{-84.10E-24 \cdot \phi})$$

$S_{thma}$  → sensibilidade para neutrons térmicos, dado pelo fabricante (A/nv).

De acordo com o fabricante os valores referentes à equação acima são:

$S_{thma}$  = sensibilidade para neutron térmico  $4 \cdot 10^{-21}$  A/nv. (desvio máximo não é maior que 3%)

$r = 0,03$  – valor fornecido pelo fabricante.

$g = 1.025$  – tabela do fabricante.

$s = 7.375$  – tabela do fabricante.

#### IV – RESULTADOS OBTIDOS

Foram mantidas as condições de operação e a configuração para as medidas realizadas. Os resultados são apresentados nas Tabelas 3 e 4. As tabelas mostram os valores dos fluxos obtidos no elemento de irradiação de Berílio – EIBe, colocado na posição central do núcleo do reator [2], conforme Figura 3, onde se atinge os maiores fluxos. Os valores de corrente e fluxo para 5MW estão em negrito nestas tabelas.

TABELA 3 – fluxo de nêutrons térmico para 2 e 5MW – canal B do EIBe (26/04/2000).

EIBe PRATELEIRA Canal B	CORRENTE (A)	FLUXO TÉRMICO (n/cm <sup>2</sup> .s)	POTÊNCIA (MW)
1B	3,0290.10 <sup>-8</sup> <b>6,9570.10<sup>-8</sup></b>	6,0762.10 <sup>12</sup> <b>1,3956.10<sup>13</sup></b>	2 5
2B	5,0900.10 <sup>-8</sup> <b>1,1640.10<sup>-7</sup></b>	1,0211.10 <sup>13</sup> <b>2,3350.10<sup>13</sup></b>	2 5
3B	8,5750.10 <sup>-8</sup> <b>1,9479.10<sup>-7</sup></b>	1,7201.10 <sup>13</sup> <b>3,9075.10<sup>13</sup></b>	2 5
4B	1,2114.10 <sup>-7</sup> <b>2,7340.10<sup>-7</sup></b>	2,4301.10 <sup>13</sup> <b>5,4844.10<sup>13</sup></b>	2 5
5B	1,3540.10 <sup>-7</sup> <b>3,1800.10<sup>-7</sup></b>	2,7161.10 <sup>13</sup> <b>6,3791.10<sup>13</sup></b>	2 5
6B	1,2675.10 <sup>-7</sup> <b>3,0400.10<sup>-7</sup></b>	2,5426.10 <sup>13</sup> <b>6,0982.10<sup>13</sup></b>	2 5
7B	9,7770.10 <sup>-8</sup> <b>2,4200.10<sup>-7</sup></b>	1,9613.10 <sup>13</sup> <b>4,8545.10<sup>13</sup></b>	2 5
8B	6,9400.10 <sup>-8</sup> <b>1,7463.10<sup>-7</sup></b>	1,3922.10 <sup>13</sup> <b>3,5031.10<sup>13</sup></b>	2 5

TABELA 4 – fluxo de nêutrons térmico para 2 e 5MW – canal A do EIBe.

EIBe PRATELEIRA Canal A	CORRENTE (A)	FLUXO TÉRMICO (n/cm <sup>2</sup> .s)	POTÊNCIA (MW)
1A	3,4000.10 <sup>-8</sup> <b>7,7500.10<sup>-8</sup></b>	6,8204.10 <sup>12</sup> <b>1,5547.10<sup>13</sup></b>	2 5
2A	4,6570.10 <sup>-8</sup> <b>1,2109.10<sup>-7</sup></b>	9,3419.10 <sup>12</sup> <b>2,4291.10<sup>13</sup></b>	2 5
3A	7,4650.10 <sup>-8</sup> <b>2,0430.10<sup>-7</sup></b>	1,4975.10 <sup>13</sup> <b>4,0983.10<sup>13</sup></b>	2 5
4A	1,1094.10 <sup>-7</sup> <b>2,7660.10<sup>-7</sup></b>	2,2255.10 <sup>13</sup> <b>5,5486.10<sup>13</sup></b>	2 5
5A	1,3980.10 <sup>-7</sup> <b>3,1720.10<sup>-7</sup></b>	2,8044.10 <sup>13</sup> <b>6,3630.10<sup>13</sup></b>	2 5
6A	1,3536.10 <sup>-7</sup> <b>2,9700.10<sup>-7</sup></b>	2,7153.10 <sup>13</sup> <b>5,9578.10<sup>13</sup></b>	2 5
7A	1,0676.10 <sup>-7</sup> <b>2,3300.10<sup>-7</sup></b>	2,1416.10 <sup>13</sup> <b>4,6740.10<sup>13</sup></b>	2 5
8A	6,9600.10 <sup>-8</sup> <b>1,6533.10<sup>-7</sup></b>	1,3962.10 <sup>13</sup> <b>3,3165.10<sup>13</sup></b>	2 5

A Tabela 5 mostra o resultado do fluxo medido no EIRA – Elemento de Irradiação Refrigerado a Água. Os fluxos foram medidos nos canais, A e B.

TABELA 5 – fluxo de nêutrons térmico para 2MW – canal A e B do EIRA.

EIRA PRATELEIRA Canal A Canal B	CORRENTE 2MW (A)	FLUXO TÉRMICO 2MW (n/cm <sup>2</sup> .s)
1A	1,8870.10 <sup>-8</sup>	3,7853.10 <sup>12</sup>
1B	1,6830.10 <sup>-8</sup>	3,3761.10 <sup>12</sup>
2A	3,1190.10 <sup>-8</sup>	6,2567.10 <sup>12</sup>
2B	2,7680.10 <sup>-8</sup>	5,5526.10 <sup>12</sup>
3A	4,7750.10 <sup>-8</sup>	9,5787.10 <sup>12</sup>
3B	4,1870.10 <sup>-8</sup>	8,3990.10 <sup>13</sup>
4A	6,4350.10 <sup>-8</sup>	1,2909.10 <sup>13</sup>
4B	5,5660.10 <sup>-8</sup>	1,1165.10 <sup>13</sup>
5A	7,4750.10 <sup>-8</sup>	1,4995.10 <sup>13</sup>
5B	6,4260.10 <sup>-8</sup>	1,2891.10 <sup>13</sup>
6A	7,4030.10 <sup>-8</sup>	1,4850.10 <sup>13</sup>
6B	6,3240.10 <sup>-8</sup>	1,2686.10 <sup>13</sup>
7A	6,0560.10 <sup>-8</sup>	1,2148.10 <sup>13</sup>
7B	5,1760.10 <sup>-8</sup>	1,0383.10 <sup>13</sup>
8A	4,2580.10 <sup>-8</sup>	8,5415.10 <sup>12</sup>
8B	3,6020.10 <sup>-8</sup>	7,2256.10 <sup>12</sup>

A Figura 3 apresenta o esboço da configuração do reator e as posições dos elementos de irradiação onde foram realizadas as medidas de fluxo. Os elementos são: EIBe – elemento de irradiação de berílio, EIA – elemento de irradiação de água, EIF – elemento de irradiação de fios e EIGRA – elemento de irradiação de grafita.

### CONFIGURAÇÃO 210

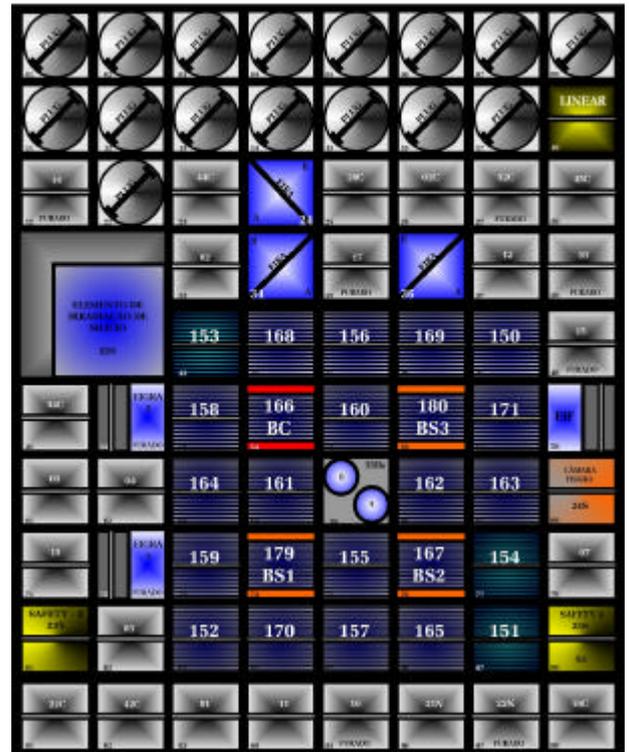


Figura 3 – Núcleo do reator com 24 elementos combustíveis e 1 elemento de berílio no centro – Configuração 210.

#### IV - CONCLUSÃO

O dispositivo desenvolvido para o SPND/Ródio mostrou-se ser de grande praticidade e confiabilidade. Hoje é possível fazer um mapeamento de todas as posições de irradiação do reator em meio dia de operação. Está em desenvolvimento um software para o sistema de aquisição de dados que usando a corrente gerada pelo SPND como entrada fornece o valor do fluxo na posição de medida.

Os valores de fluxo obtido até agora são comparáveis aos resultados obtidos com folhas de ouro (método indireto) [4]. Porém, está sendo desenvolvido um sistema de calibração que evite exposições desnecessárias do operador.

Até o momento o dispositivo desenvolvido fornece um mapeamento de fluxo térmico, devido a sensibilidade do ródio para nêutrons térmicos. Está em desenvolvimento outro dispositivo onde o SPND/Ródio será envolvido com cádmio para mapeamento do fluxo epitérmico.

O sistema de medida de fluxo através de mini detectores fornece o comportamento do fluxo neutrônico em várias regiões do núcleo com rapidez e confiabilidade, evitando contato direto com materiais e exposição desnecessárias à radiação como acontece com o método indireto com folha.

#### V – REFERÊNCIAS

- [1] Surkov, V. **Determinação da sensibilidade de detetores auto-energizados (SPDs)**. São Paulo 1994. (Dissertação de Mestrado, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares)
- [2] Ricci F<sup>o</sup>, W. **Análise do Elemento de Irradiação de Berílio no Reator IEA-R1m**, São Paulo 1998. (Dissertação de Mestrado, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares)
- [3] Koskinas, M. E **Medida do fluxo térmico, epitérmico e rápido no reator IEA-R1 pelo método de ativação de folhas**. São Paulo, 1978. (Dissertação de Mestrado, Instituto de Energia Atômica). IEA-DT-117).
- [4] Mistinik F. , J. **A distribuição espacial do fluxo de nêutrons no núcleo do reator IEA-R1, obtida por meio da ativação de folhas**. São Paulo, 1978. (Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo). (IEA-DT-132).

#### ABSTRACT

**The IEA-R1 reactor has undergone a modernization to increase its operating power to 5 MW, in order to allow a more efficient production of radioisotopes.**

**The objective of this work is to provide the reactor with flux monitoring device using a rhodium self powered neutron detector.**

**Self powered detectors are rugged miniature devices which are increasingly being used for fixed in**

**core reactor monitoring both for safety purposes and flux mapping.**

**The work presents the results obtained with Rhodium-SPND in several irradiation position inside the reactor core.**