

MAPEAMENTO DO FLUXO DE NÊUTRONS TÉRMICOS
NO CANAL DE IRRADIAÇÃO 8 DO REATOR IEA-R1

Ulysses d'Utra Bitelli, Márcia Aparecida Picchi Alves*
Margaret de Almeida Damy, Paulo Rogério Pinto Coelho
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares-IPEN/CNEN-SP
* Coordenadoria para Projetos Especiais-COPESP-M. Marinha

RESUMO

Este trabalho apresenta a medida da distribuição espacial de nêutrons térmicos no canal de irradiação 8 do Reator IEA-R1, obtida a partir da ativação de folhas de ouro nuas e cobertas com cádmio. A fim de avaliar a metodologia de cálculo em dutos vazios, o experimento foi modelado computacionalmente pelo código de blindagem DOT 3.5.

INTRODUÇÃO

O conhecimento da distribuição espacial e energética de nêutrons num canal de irradiação do reator é muito importante em estudos relativos à fuga de radiação através de dutos vazios. Tais dutos são frequentes em blindagens de reatores (passagem de fiação da instrumentação nuclear, dutos de ar, etc) e constituem uma dificuldade extra no cálculo de blindagem.

As medidas de distribuição de fluxo de nêutrons no canal de irradiação ("Beam-Hole" - BH) vazio n.8 (BH-8), são importantes no sentido de avaliar a precisão dos possíveis métodos de cálculo de transporte de radiação em dutos vazios, utilizados pela Divisão de Física de Reatores em seus cálculos de blindagem.

O experimento realizado consistiu na irradiação de folhas nuas (sem cobertura de Cádmio) e cobertas com Cádmio, ao longo do eixo de simetria do BH-8. A partir da medida da taxa de reação (atividade de saturação) das folhas, foi possível obter o fluxo de nêutrons térmicos no local de irradiação das mesmas.

O experimento realizado foi simulado computacionalmente com o código DOT 3.5 [1], que resolve a equação de transporte de radiação por meio de uma estrutura de multigrupos de energia, em duas dimensões através do método de Ordenadas Discretas.

DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA EXPERIMENTAL

O canal de irradiação 8 (BH-8) do Reator IEA-R1 possui um diâmetro interno de 8 polegadas (20,32 cm) e um comprimento de 325 cm.

Para possibilitar a inserção de folhas de ativação no interior do BH-8, necessitou-se construir um dispositivo mecânico (vide Fig.1) que permitiu a fixação das folhas de ouro em pequenos discos de lucite perpendicularmente ao eixo de simetria do BH-8.

As operações de irradiação (7 operações de irradiação de 1 hora cada, com o reator à potência de 200 kW) foram realizadas com o BH-8 vazio, ou seja, foi retirada toda água em seu interior, necessitando assim, de uma blindagem extra (parafina e chumbo) ao redor da saída do BH, a fim de se evitar doses de radiação elevadas no saguão de experimentos do Reator.

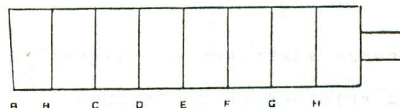


Figura 1 - Esquema do Dispositivo para Inserção de folhas no BH-8.

As folhas de ativação utilizadas são de ouro de alta pureza (99,999%), com diâmetro de 8 mm e espessura de 0,013 mm. As coberturas de Cádmio possuem uma espessura de 0,5 mm.

A fim de obter-se o fluxo de nêutrons térmicos, utiliza-se a técnica da razão de Cádmio [2]. Assim, é necessário irradiar folhas nuas (apenas ouro, sem cobertura de Cádmio) e cobertas com Cádmio (folha de Au dentro de uma pequena caixa de Cádmio) em operações distintas, porém tomando-se o cuidado de certificar-se se essas operações são absolutamente equivalentes (posicionamento e potência do reator). Para tal, em cada operação de irradiação, a fim de se monitorar a potência do reator, além do controle do nível de corrente elétrica da câmara de ionização compensada do canal linear do reator, foram utilizadas folhas monitoras de ouro, posicionadas num mesmo ponto interior do BH-8.

A seção de choque de ativação do ouro foi obtida a partir de medidas de espectro de energia dos nêutrons no BH-8 utilizando a técnica de tempo de voo [3]. O valor obtido foi de 85,82 barns.

As posições das folhas, fixadas em seus suportes de lucite, no interior do BH-8, podem ser vistas respectivamente, pelas figuras 1 e 2. A figura 3 mostra a planta e a localização do BH-8, bem como a blindagem utilizada na saída do mesmo, quando da realização do experimento.



Figura 2 - Placas de lucite para fixação das folhas.

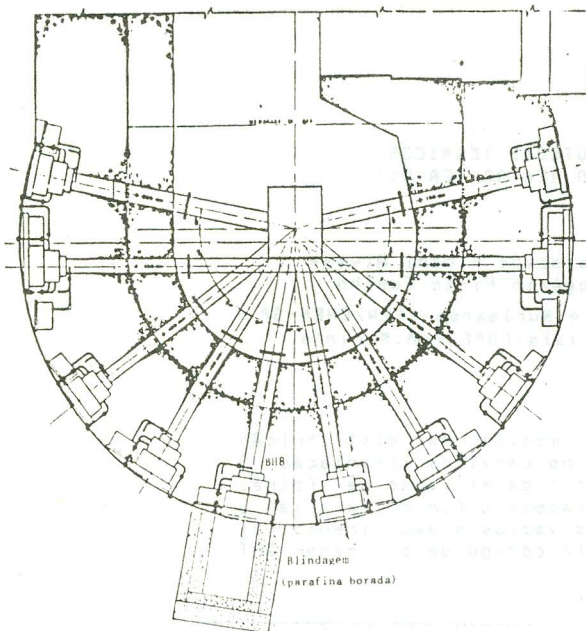


Figura 3-Arranjo experimental esquemático.

DESCRICÃO DA METODOLOGIA DE CALCULO

Os fluxos de nêutrons foram calculados com o código de transporte DOT 3.5 em geometria R-Z, utilizando o conjunto de quadratura ("biased") de 100 ângulos de espalhamento. Tal quadratura foi utilizada por melhor representar a direção preferencial dos nêutrons ao longo do BH-8.

Para o cálculo do fluxo de nêutrons, utilizou-se uma estrutura multigrupo de 42 grupos de energia de nêutrons, desde o limite inferior 1E-05 eV até a energia de 17,3 MeV. A fonte para cada grupo de energia é proporcional à densidade de potência ponderada com o espectro de energia. Assim:

$$\text{Fonte (nêutrons)} = X_i \cdot P_j \quad i = 1, 2, \dots, N_n \quad j = 1, 2, \dots, N_G$$

Onde:

X_i = Espectro de nêutrons de fissão (calculado a partir dos limites de energia dos grupos).

P_j = Densidade de potência para o intervalo espacial j .

N_n = Número total de intervalos espaciais.

N_G = Número total de grupos.

Para calcular a densidade de potência por intervalo espacial /4/, utilizou-se a densidade de potência radial e o fator de pico axial (quociente da densidade de potência axial local pela densidade de potência axial média do reator).

Neste trabalho o Reator IEA-R1 (núcleo + BH + blindagem externa) foi dividido em 82 intervalos radiais e 162 axiais.

As seções de choque microscópicas da biblioteca Vitamin-C (um total de 41 nuclídeos em uma estrutura de 171 grupos de energia de nêutrons e 36 grupos de energias de gamas) foram colapsadas para uma estrutura em P5, constituída de 42 grupos de energias de nêutrons e 1 grupo de gamas, através do módulo XSDRNPM do código Ampx-II /5/. Posteriormente, com o código AXMIX /6/, foram efetuadas as misturas das seções de choque macroscópicas para 9 regiões.

A modelagem geométrica do experimento, identificando as várias regiões do reator IEA-R1, está apresentada na figura 4.

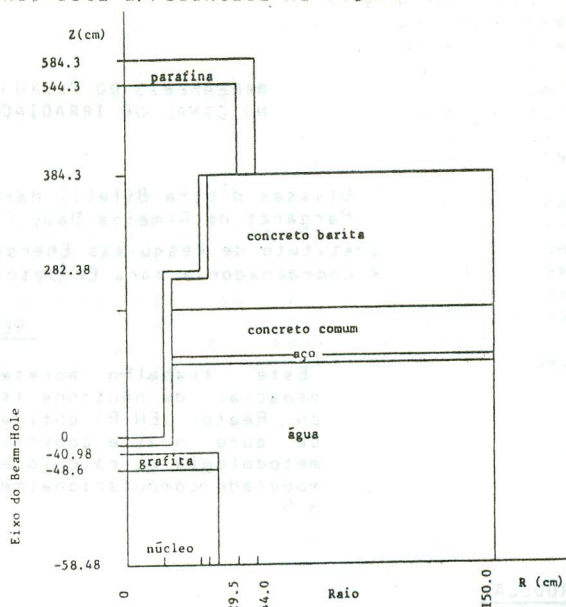


Figura 4- Modelagem geométrica utilizada no código DOT 3.5.

RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados obtidos experimentalmente da distribuição espacial do fluxo de nêutrons térmicos ao longo do eixo de simetria axial do BH-8, são encontrados na tabela 1. Tais resultados são importantes por fornecerem informações úteis para pesquisas e aplicações práticas, como para projeto e desenvolvimento de pesquisas, utilizando o BH-8.

Nas medidas experimentais a principal fonte de erro é a estatística de contagem (1%), sendo as demais (posicionamento, abundância isotópica do fotopico contado, massa das folhas de Au, eficiência absoluta de contagem, etc) praticamente desprezíveis (menores que 0,3%).

Um fator difícil de ser avaliado é a incerteza na calibração de potência do Reator IEA-R1, quando operado a cerca de 200 kW, como neste experimento.

A calibração de potência do Reator IEA-R1 é feita por balanço térmico e é realizada para o reator operando na faixa de 1 a 2 MW de potência, obtendo-se resultados com uma incerteza de 17%. Para o caso de potências menores é inviável a utilização desta técnica, visto que a incerteza nas medidas aumentaria muito (utilizam-se extrapolações nas curvas de calibração para potências menores). Tal incerteza só será sanada com uma calibração de potência através de ativação de folhas de ouro (medidas de distribuição de fluxo "in-core") em vários níveis de potências baixas e algumas que superponham as com balanço térmico, o que está programado para ser feito no início de 1992.

Garantimos uma mesma potência de irradiação para as folhas com a utilização de folhas monitoras em cada operação de irradiação, a fim de normalizar as condições em que as mesmas foram efetuadas.

Os resultados calculados obtidos da distribuição do fluxo de nêutrons térmicos no interior do BH, podem ser visualizados na tabela 2.

Tabela 1 - Fluxo Térmico medido no BH-8

Posição	Cota (Fig.1)	Fluxo Nêutrons Térmicos	Razão (β / β_A)
A	0,0	(2,15+0,02)E+11	1,0
B	44,0	(4,22+0,04)E+10	1,96E-1
C	88,0	(9,44+0,09)E+09	4,39E-2
D	132,7	(1,44+0,01)E+9	6,69E-3
E	193,7	(2,21+0,02)E+8	1,03E-3
F	239,4	(7,15+0,11)E+7	3,33E-4

Tabela 2 - Fluxo Térmico Calculado no BH-8.

Posição	Cota (Fig.1)	Fluxo Nêutrons Térmicos	Razão (β / β_A)
A	0,0	2,63E+11	1
B	44,86	4,59E+10	1,75E-1
C	88,14	1,11E+10	4,22E-2
D	131,97	3,37E+09	1,28E-2
E	193,61	1,06E+09	4,03E-3
F	240,99	5,56E+08	2,11E-3

A fim de evitar-se erros na comparação entre os valores medidos e calculados decorrentes da incerteza no valor da potência do reator durante a experiência, normalizou-se os resultados obtidos pelo valor do fluxo de nêutrons térmicos na entrada do BH (posição A), tanto para os valores experimentais como para os valores calculados, como podemos observar nas tabelas 1 e 2 acima.

As razões entre os valores experimentais e calculados do fluxo normalizado de nêutrons térmicos (últimas colunas das tabelas 1 e 2), encontram-se na tabela 3.

Tabela 3- Razões entre os valores calculados e experimentais do fluxo normalizado de nêutrons térmicos.

Posição	Razão dos valores calculados/medidos (C/E)
A	1,0
B	0,89
C	0,96
D	1,92
E	3,91
F	6,34

CONCLUSÃO

O experimento realizado permitiu obter a distribuição espacial do fluxo de nêutrons térmicos ao longo do eixo de simetria axial do BH-8 do Reator IEA-R1 à potência de 200 KW, conforme mostrado na Tabela 1.

Do esforço de simular computacionalmente o problema proposto, obteve-se os valores mostrados na Tabela 2.

A representação gráfica dos valores absolutos e relativos da distribuição espacial do fluxo de nêutrons térmicos no BH-8, podem ser visualizadas, respectivamente, na figura 5.

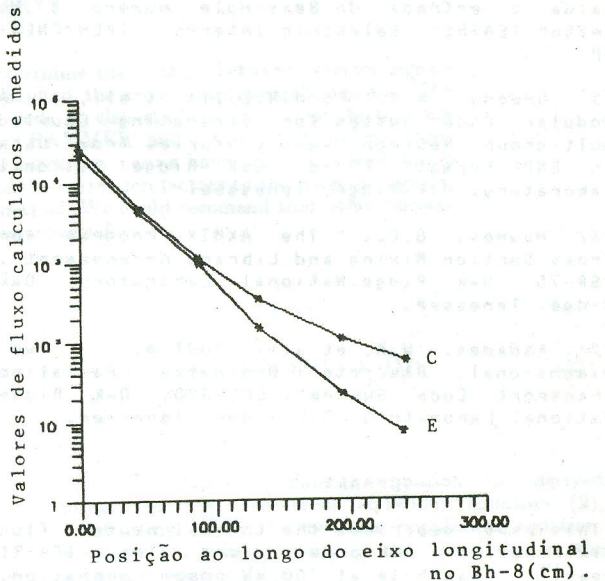


Figura 5- Valores relativos do fluxo normalizado de nêutrons térmicos medidos (E) e calculados (C) no BH-8 (tabelas 1 e 2).

Da figura 5 observa-se que os valores medidos e calculados apresentam boa concordância para os pontos próximos do núcleo do reator, ou seja, obteve-se bons resultados até o ponto C (vide tabelas 1 e 2).

As discrepâncias começam a se acentuar no ponto D, aumentando a partir do mesmo. Tal fato pode ser atribuído a:

1) Externo ao BH-8, tem-se concreto e concreto barita e, não se conhece com precisão suas composições químicas, acarretando por consequência, erros nos valores de seções de choque macroscópicas utilizadas no DOT 3.5.

2) As diferenças que ocorrem entre as medidas e os cálculos à medida que se afasta do núcleo do reator, podem ser devidas às dificuldades de cálculo de fluxo em "streamings" de radiação, o que poderia ser melhor tratado fazendo-se mudanças na quadratura escolhida. Uma dificuldade que o código apresenta está no grande tempo computacional envolvido no problema. Um cálculo com o código DOT 4.2 /7/ deve ser testado visto que esta nova versão permite uma discretização angular diferente, em diferentes regiões, facilitando assim, estudos paramétricos pela considerável diminuição de tempo de máquina que isto acarreta.

Deve-se salientar que este trabalho terá continuidade, com o objetivo de serem realizadas novas medidas com o interesse de aproximar mais os resultados teóricos dos experimentais, possivelmente utilizando, nesta etapa o código DOT 4.2.

REFERÊNCIAS

- /1/ Rhoades, W.A.; Mynatt, F.R., "DOT 3.5 - Two Dimensional Discrete Ordinates Transport Code", CCC-276, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee.
- /2/ Profio, A.E., "Experimental Reactor Physics", J. Wiley, New York, NY, 1976.
- /3/ Mestnik, J.F., "Comunicação Interna, Divisão de Física Nuclear - IPEN/CNEN-SP.
- /4/ Damy, M.A., "Fluxos de Gammas e Nêutrons na saída e entrada do Beam-Hole número 8 do reator IEA-R1", Relatório Interno. IPEN/CNEN-SP.
- /5/ Greene, N.M.; Ford, N.E. III et alii, " A Modular Code System for Generating Coupled Multigroup Neutron-Gamma Libraries from Data in ENDF Format", PSR-63, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee.
- /6/ Haynes, G.C., " The AXMIX Program for Cross Section Mixing and Library Arrangement", PSR-75, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee.
- /7/ Rhoades, W.A. et alii, "DOT 4.2 - Two Dimensional Discrete Ordinates Radiation Transport Code System", CCC-320, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee.

SUMMARY

This paper describes the thermal neutron flux distribution performed along the IEA-R1 reactor beam-hole at 200 kW power operation, using bare and covered gold foils. These measurements are compared with the DOT 3.5 results.