

# MEDIDA DO "BUCKLING" NA UNIDADE CRÍTICA IPEN/MB-01 VARIANDO A TEMPERATURA DO MODERADOR

Ulysses d'Utra Bitelli, Adimir dos Santos e Rogério Jerez

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares IPEN/CNEN-SP

Caixa Postal 11049

05499-900, São Paulo, Brasil

e-mail: ubitelli @ ih0.ipen.br

## RESUMO

Este trabalho apresenta a medida da curvatura do fluxo de nêutrons ("Buckling") no núcleo da Unidade Crítica IPEN/MB-01. Para tal, foi medida a distribuição espacial do fluxo de nêutrons rápidos com o moderador aquecido à temperatura de 40°C, ao longo da direção dos três eixos ortogonais do núcleo do reator, utilizando-se detectores de ativação (folhas) de Índio. O valor obtido para o "Buckling" foi de  $90,60 \pm 2,28\text{m}^{-2}$ .

## INTRODUÇÃO

Num núcleo de reator do tipo paralelepípedo retangular, o fluxo de nêutrons no estado estacionário na região assintótica, considerando-se como origem dos eixos o centro do mesmo, pode ser dado pela expressão /1/:

$$\Phi = A \cdot \cos \frac{\pi \cdot x}{a} \cdot \cos \frac{\pi \cdot y}{b} \cdot \cos \frac{\pi \cdot z}{c} \quad (1)$$

O parâmetro A está relacionado com a magnitude do fluxo de nêutrons e esta diretamente relacionado a potência de operação do reator (P), volume do reator ( $v=a.b.c$ ), energia liberada por fissão ( $\gamma$ ) e ( $\Sigma_f$ ) a seção de choque média macroscópica de fissão. Assim, A pode ser dada pela expressão:

$$A = \frac{\pi^3 \cdot P}{8 \cdot V \cdot \gamma \cdot \Sigma_f} \quad (2)$$

O parâmetro relacionado com a distribuição espacial do fluxo de nêutrons é o "Buckling" do sistema ( $B^2$ ) que nos dá uma medida da curvatura do fluxo de nêutrons.

Assim, da primeira equação, obtemos o "Buckling" para um núcleo de reator na forma de um paralelepípedo retangular:

$$B^2 = \left(\frac{\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{\pi}{b}\right)^2 + \left(\frac{\pi}{c}\right)^2 \quad (3)$$

Sendo a e b as dimensões radiais efetivas do núcleo e c a dimensão axial efetiva.

## UNIDADE CRÍTICA IPEN/MB-01

A Unidade Crítica IPEN/MB-01 é uma instalação destinada ao estudo das características neutrônicas de núcleos moderados a água leve, possibilitando a verificação experimental de métodos de cálculo, estruturas celulares e malhas do reator, efetividade das barras de controle e resposta do núcleo a inserções de reatividade. Assim sendo, a unidade crítica foi concebida com a flexibilidade necessária para testar diferentes configurações do núcleo. As características da unidade crítica, estão descritas na referência /2/. Todavia, podemos salientar que as medidas do "Buckling" foram realizadas utilizando a configuração quadrada do núcleo, ou seja um arranjo de 26x26 varetas combustíveis nas direções Leste-Oeste e Norte-Sul do núcleo (Figura 1). Tal configuração foi utilizada, ao invés da 28x26, por ser menos reativa, o que possibilitou minimizar os efeitos de perturbação das barras de controle na obtenção do fluxo de nêutrons assintótico.

Uma das flexibilidades operacionais da instalação Unidade Crítica IPEN/MB-01, está em permitir o aquecimento da temperatura do moderador, pôr intermédio de um aquecedor elétrico, instalado em série na linha de enchimento do tanque moderador, o que é particularmente interessante para se obter parâmetros experimentais como o coeficiente de reatividade de temperatura, Buckling e distribuição de fluxo neutrônico numa faixa de temperatura que vai de 20°C à 80°C.

## PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Antes da criticalização do reator, procedeu-se o aquecimento do moderador até a temperatura nominal de 40°C. Na monitoração da temperatura do moderador foram utilizados 3 termopares posicionados dentro do núcleo do reator, sendo um deles à meia-altura e os demais no início e fim do comprimento ativo do núcleo. Após se atingir a

temperatura desejada, o Reator foi criticalizado à potência de 100 watts com as barras de controle BC1 e BC2 igualmente retiradas. A temperatura foi mantida constante ao longo do tempo de irradiação, através do ajuste manual do aquecedor elétrico TC-211, a partir de leituras de registros de temperatura efetuados de 5 em 5 minutos, perfazendo um total de 108 leituras. Assim, a temperatura média do moderador durante o experimento foi de  $(40,84 \pm 0,18)^\circ\text{C}$ . Neste trabalho nos referiremos sempre a temperatura nominal de  $40^\circ\text{C}$ , mas devemos ter em conta que os parâmetros obtidos se referem à temperatura citada.

Foram realizadas um total de 2 operações da Unidade Crítica IPEN-MB/01 para mapeamento do fluxo de nêutrons rápidos, ao longo das direções radiais x e y, respectivamente as direções Leste-Oeste e Norte-Sul, conforme podemos visualizar na figura 1. A direção axial z foi mapeada no sentido paralelo às varetas combustíveis, ao longo do comprimento ativo do combustível, conforme podemos visualizar na Figura citada. Todos os mapeamentos foram realizados na região central do núcleo, nas respectivas direções x, y e z.

O mapeamento foi feito ao longo das direções, utilizando-se 9 folhas na direção axial, distantes entre si 45 mm e 9 folhas na direção radial distantes entre si 40 mm, procurando com isso, cobrir toda a extensão da região assintótica do núcleo do reator. A extensão da região assintótica foi medida em trabalho anterior [3] e consistiu na medida da razão de Cádmiu ao longo dos três eixos ortogonais centrais do núcleo.

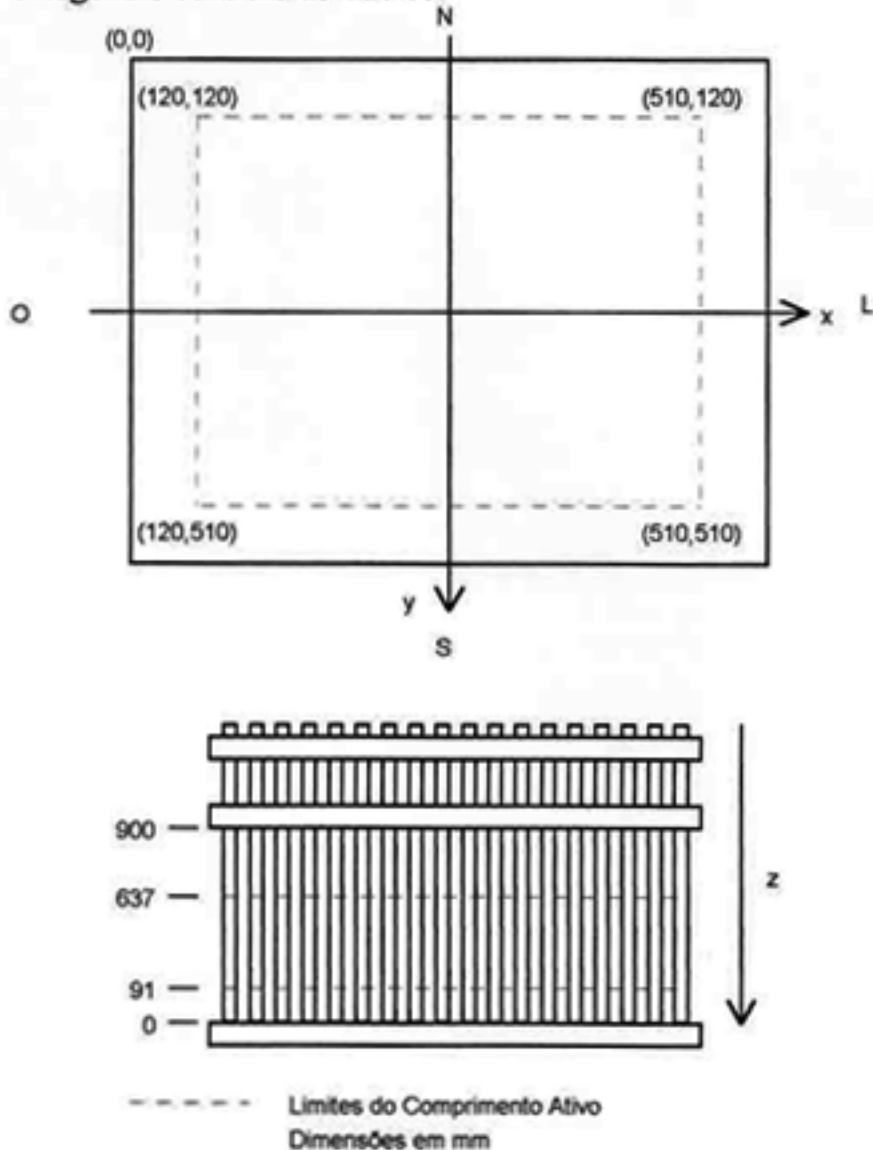


Fig.1- Núcleo do Reator com as direções x, y e z mapeadas pelas Folhas de Índio.

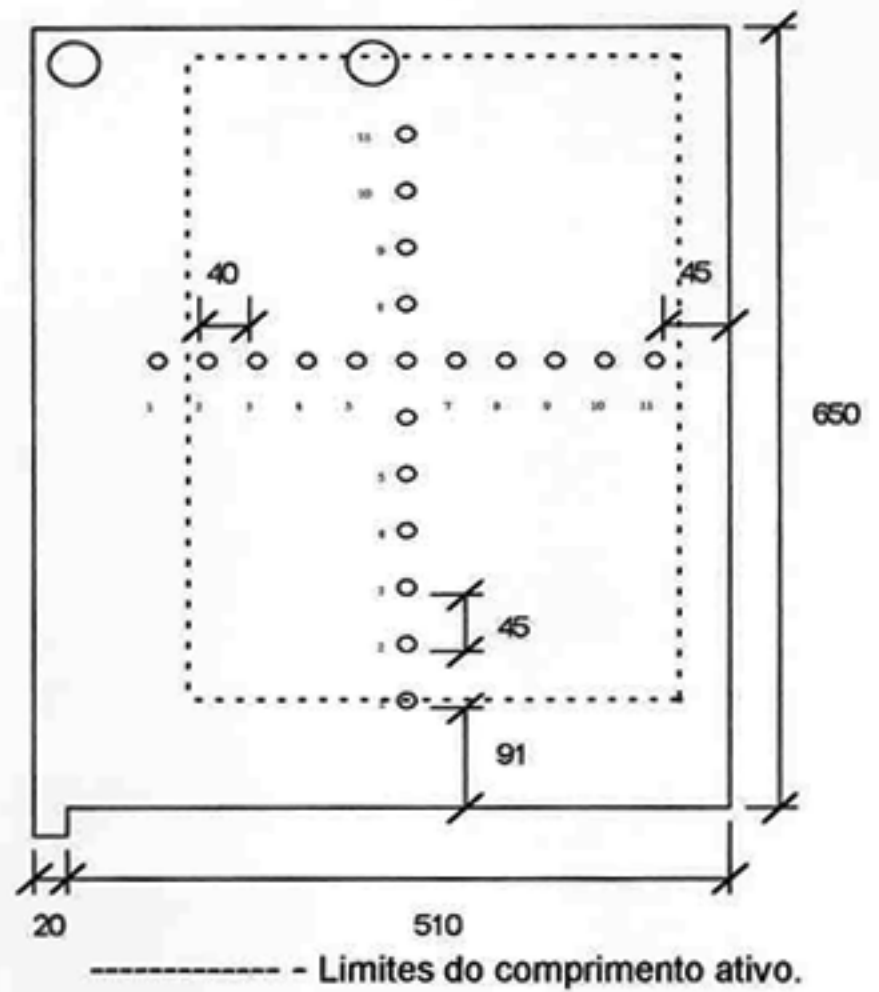


Fig.2-: Suporte das Folhas de Ativação inserido no núcleo do Reator IPEN/MB-01

A espessura das folhas de In utilizadas nas medidas foram de 0,5 mm, com um diâmetro de 8 mm. As massas das folhas foram medidas numa balança Mettler H 20 (precisão de décimo de mg) e tiveram uma pequena variação decorrente da imprecisão de corte das placas de Índio. Assim, as folhas apresentaram massas na faixa de 0,20264 g a 0,20625 g. Após pesagem e limpeza, as folhas foram montadas num suporte apropriado e posteriormente irradiadas.

Uma visualização do dispositivo de lucite (suporte das folhas), utilizado para mapeamento do fluxo de nêutrons, pode ser vista na figura 2.

As irradiações foram realizadas com o reator operando a um nível de potência de 100 watts, por duas horas, com as barras de controle BC1 e BC2, retiradas, o equivalente a 73% do comprimento ativo axial do núcleo do reator.

Após a irradiação, as folhas foram levadas ao laboratório, onde foram contadas numa bancada calibrada de Germânio Hiper-puro (HPGe). Basicamente, a reação monitorada na bancada HPGe, é proveniente de espalhamento inelástico  $(n,n')$ , mais precisamente a reação  $^{115}\text{In}(n,n')^{115\text{m}}\text{In}$ , com um limiar de energia para nêutrons rápidos com energia superior a 0,3 Mev.

## RESULTADOS OBTIDOS

A condição de fluxo de nêutrons assintótico é atingida a partir da determinação experimental da razão de Cádmiu ( $R_{\text{cd}}$ ) ao longo do comprimento ativo do reator. Se a razão de Cádmiu se mantém constante (Razão entre as atividades das folhas nuas e cobertas com Cádmiu),

significa que o espectro de energia dos nêutrons se mantém constante, não sofrendo a influência das barras de controle, bem como da mudança de meio na interface nucleo-refletor e nesse caso, está caracterizada a região ao longo do qual o fluxo de nêutrons mantém a sua condição assintótica [3]. Nesse caso, a distribuição do fluxo de nêutrons assintótico deverá assumir a forma de um seno, se considerarmos como origem das coordenadas do núcleo, cuja forma geométrica é de um paralelepípedo, um de seus vértices.

A Razão de Cádmiio ( $R_{cd}$ ) medida através da irradiação de folhas de ouro nuas e cobertas com Cádmiio, se manteve constante ao longo das coordenadas correspondentes à posição (cota) ocupada entre as folhas 3 e 11, conforme podemos visualizar na Figura 2. O valor obtido, para a configuração do núcleo quadrada (26x26 varetas) foi de:

$$R_{cd} = 1,70 \pm 0,20$$

Os valores de fluxo de nêutrons normalizados em relação ao seu valor máximo, podem ser visualizados nas figuras 3 a 5, respectivamente nas direção axial do núcleo z e nas direções radiais x e y, usando como ajuste por mínimos quadrados uma função senoidal do tipo:

$$y = P_1 \cdot \text{Sin}(\pi(x - P_3) / P_2) \quad (4)$$

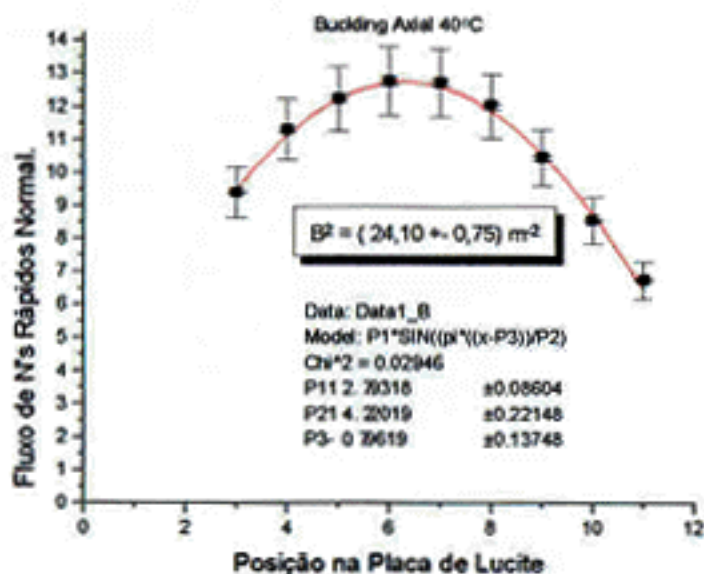


Fig.3:- Curvatura do Fluxo de Nêutrons - Direção Axial - Moderador a 40°C.

O valor do "Buckling" ( $B^2$ ) é obtido quando o fluxo de nêutrons se anula, ou seja para o valor de  $y=0$ . Isto é obtido quando  $x = P_2 + P_3$  e  $x = P_3$ , ou seja, o coeficientes  $P_2$ , obtido do ajuste por mínimos quadrados, nos fornece a distância para o qual o fluxo de nêutrons se curva até atingir o zero, ou seja o próprio valor do Buckling ( $B^2$ ), uma vez que o mesmo é dado por uma simples fórmula matemática do tipo:

$$B^2 = (\pi / P_2)^2 \quad (5)$$

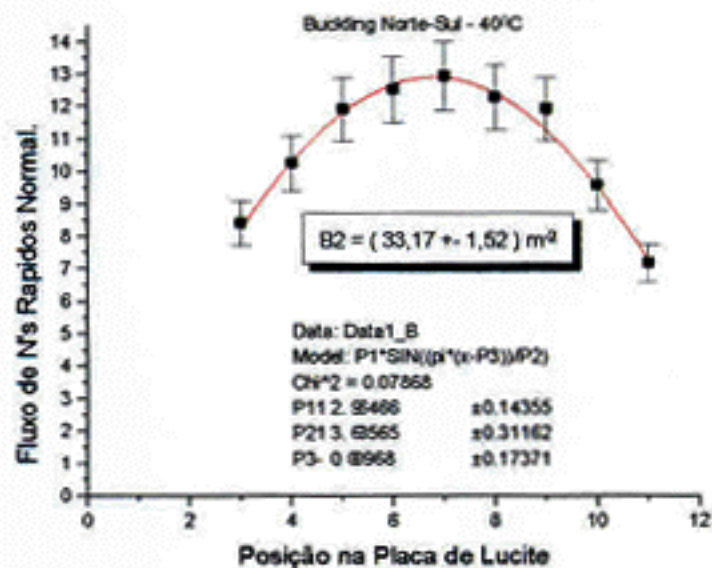


Fig.4:- Curvatura do Fluxo de Nêutrons - Direção Radial NS - Moderador a 40°C.

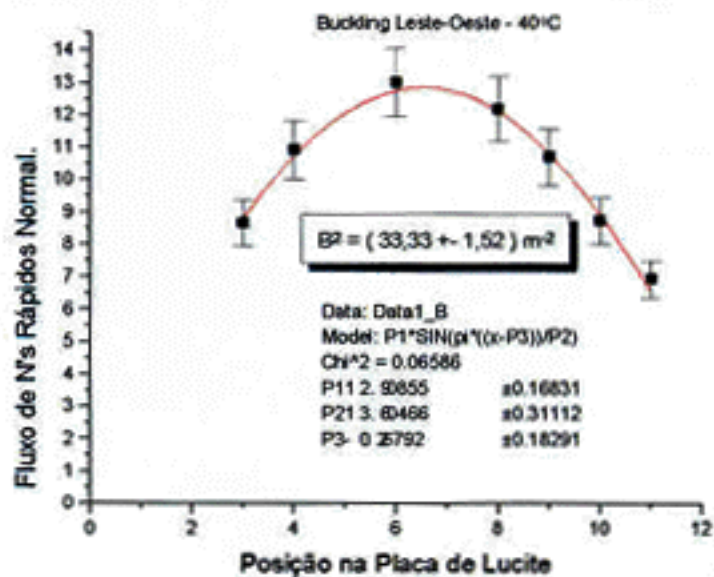


Fig.5:- Curvatura do Fluxo de Nêutrons - Direção Radial LO - Moderador a 40°C.

A expressão (5) é característica de uma dada direção x,y ou z de um reator do tipo paralelepípedo retangular. Assim, representando graficamente, todos os valores de fluxo ao longo das respectivas direções (valores normalizados) é possível se obter para cada um dos ajustes da função senoidal (fluxo de nêutrons assintótico) os valores de  $P_1$ ,  $P_2$  e  $P_3$ , por mínimos quadrados. O valor de  $P_1$  está relacionado a magnitude do fluxo de nêutrons e no nosso caso específico, não nos interessa, O valor de  $P_3$ ,

[2] SANTOS, A. & MENEZES, A. **Tema Especial de Física de Reatores e Termo-Hidráulica-IX** ENFIR, 1-4, (25-29/10/93), Caxambú, M.G.

[3] BITELLI, U. ET ALLI. **Medida do "Buckling" da Unidade Crítica IPEN/MB-1** X Encontro Nacional de Física de Reatores e Termo-Hidráulica-X ENFIR, Águas de Lindóia, SP, Brasil, 1995.

[4] MIYOSHI, YOSHINORI ET ALLI. **A Geometric Buckling Expression for Regular Polygons: Measurements in Low-Enriched UO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O Lattices.** Nuclear Technology, Vol. 103, Setembro de 1993.

#### **ABSTRACT**

This work presents the methodology to obtain the Material Buckling of the Critical Facility IPEN/MB-01 with the moderator at 40°C. The shape of the neutron flux in the asymptotic region was measured by means of Indium foils irradiations. There has been a good consistency and the final result for the Buckling is  $(90,60 \pm 2,28) \text{ m}^{-2}$ .