

ESTUDOS NEUTRÔNICOS DE NÚCLEO ACOPLADO ATRAVÉS
DE DUAS METADES PARA UM REATOR DE PESQUISA E
APLICAÇÕES MÉDICAS (REPAM).

P. F. Woiblet Jr. e J. R. Maiorino *

COPESP

* IPEN - CNEN/SP

Este trabalho apresenta uma análise neutrônica de um núcleo de reator conveniente para ser utilizado num reator de pesquisa e aplicações médicas utilizando a técnica de BNCT. O núcleo analisado consiste de dois conjuntos subcríticos acoplados por um tanque de D₂O. Os elementos combustíveis são tipo placa, e a potência nominal de 1 MW. Os resultados encontrados demonstram a viabilidade da utilização deste conceito para a aplicação proposta.

Introdução

Este trabalho dá continuidade ao estudo apresentado no IV CGEN intitulado "Estudos Conceituais de um Reator para Pesquisas e Aplicações Médicas (REPAM)" [1], visando aprofundar os estudos neutrônicos do núcleo do reator a fim de determinar, através de estudos paramétricos, qual ou quais são as configurações mais favoráveis para um reator para aplicações médicas utilizando a técnica de BNCT.

Os estudos paramétricos basearam-se inicialmente na obtenção de curvas do fator efetivo de multiplicação versus espessura do canal interno para os casos do canal contendo H₂O, D₂O e canal vazio. Desta forma é possível determinar qual é a largura mais adequada para o canal de forma a proporcionar a operação segura do reator. Foram também realizados cálculos sobre a influência do refletor no fator de multiplicação utilizando refletores de grafite, H₂O, D₂O.

Estudos Neutrônicos

Conforme proposto em trabalho anterior [1], o núcleo do reator é tipo placa acoplado através de duas metades utilizando elementos combustíveis do tipo do construído no IPEN-CNEN/SP, ou seja, placas combustíveis de U₃O₈-Al com 20 w/o de enriquecimento como ilustrado na tabela 1. A utilização deste tipo de combustível é interessante pela facilidade de obtenção do mesmo, já que pode ser fabricado aqui mesmo no Brasil. A deficiência deste combustível reside em sua baixa densidade, a qual impede um uso do reator até valores percentuais de queima do combustível maiores que 30%.

Tabela 1 - Dados sobre o elemento combustível

Tipo de combustível	U ₃ O ₈ -Al
numero de placas	18
enriquecimento	19,9 % w/o U235
densidade do U ₃ O ₈	58,49 g/placa
densidade do U235	9,84 g/placa
densidade do Al	46,8 g/placa

A Figura 1 ilustra a configuração do núcleo do reator.

Os cálculos celulares foram efetuados utilizando o programa LEOPARD adaptado para cálculos de reatores tipo placa [2] para a célula ilustrada na Figura 2. O resultado encontrado para o fator de multiplicação versus a queima de U235 são ilustrados na Figura 3.

Como pode ser observado, a queima do U235 não poderá ultrapassar valores próximos de 30% durante a operação do reator pois acima deste valor o valor de Keff estará muito próximo de 1, que provocaria o desligamento do reator.

Para os cálculos do núcleo ilustrado utilizou-se o programa de Difusão em duas dimensões TWODB [2] em quatro grupos de energia, sendo que as constantes multigrupo geradas pelo código LEOPARD são fornecidas ao código TWODB através do código LINXS. O número de "meshs" utilizados na direção X foi 17 e na direção Y foi 27. O Buckling axial utilizado foi 1,9038E-03.

Cálculos paramétricos foram realizados variando-se a distância entre as duas metades de 0 a 90 cm e também o material do tanque acoplador (D₂O, H₂O e vazio), de modo a verificar que distâncias os núcleos se desacoplam e se com vazio os núcleos estão desacoplados, i. é. subcrítico.

O resultado do fator de multiplicação do reator versus a espessura do canal acoplador é mostrado na Figura 4, para os casos de D₂O, H₂O e vazio. Destes resultados verifica-se que a água pesada é mais eficiente para acoplar os dois núcleos, pois com água leve os núcleos são desacoplados para uma distância de cerca de 10 cm de espessura. Por outro lado, com a utilização de água pesada verifica-se que para distâncias maiores que ~ 40 cm, o keff é pequeno, sendo que escolheu-se 20 cm como o mais coerente.

Finalmente observa-se que as duas metades do núcleo desacoplam-se facilmente quando é retirada a água pesada do interior do canal pois o fator de multiplicação permanece por volta de 0,8393. Desta forma, o esvaziamento do canal interno proporciona um meio bastante significativo de proteção do reator pois torna-o subcrítico com excelente margem de segurança (~ 19150 pcm).

Figura 1 - Configuração do Reator

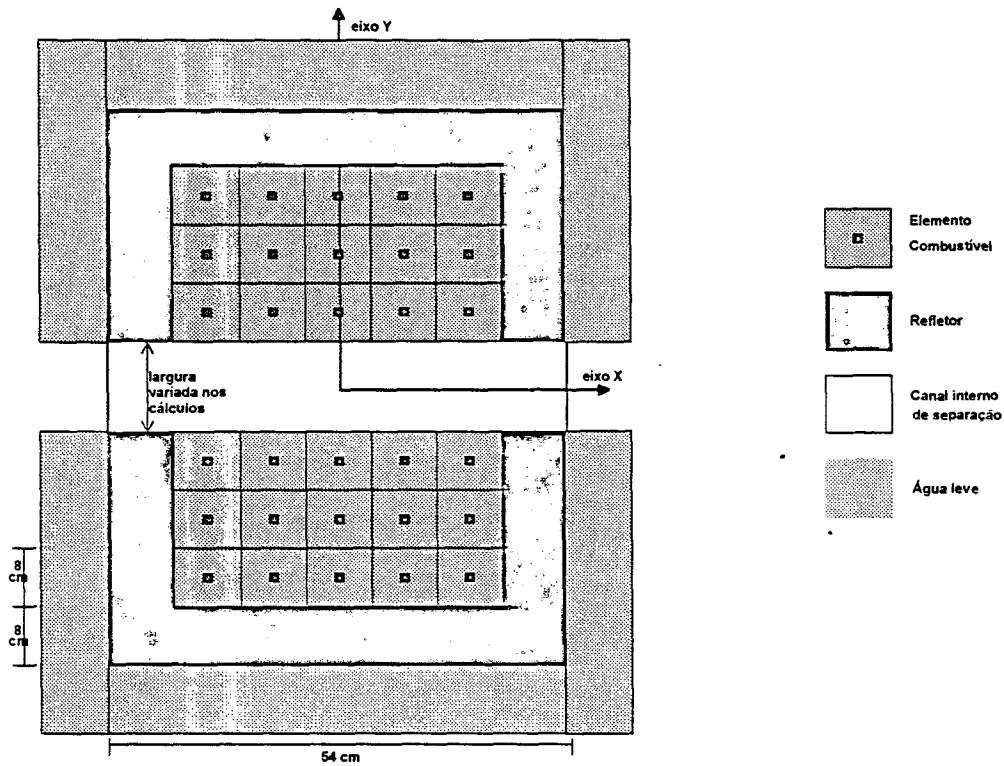
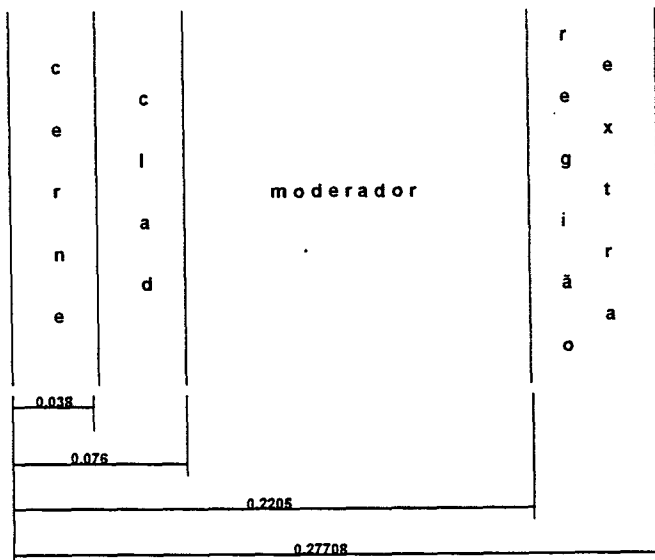


Figura 2 - Célula proposta para o programa LEOPARD



obs: medidas em centímetros.

Figura 3 - Fator de multiplicação para a célula do elemento combustível tipo placa.

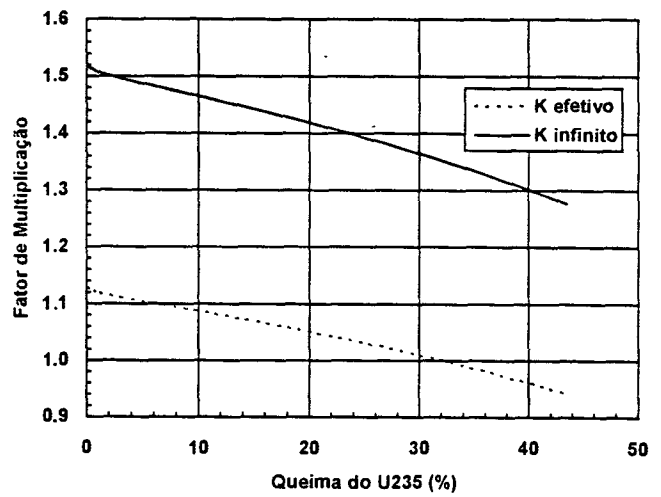
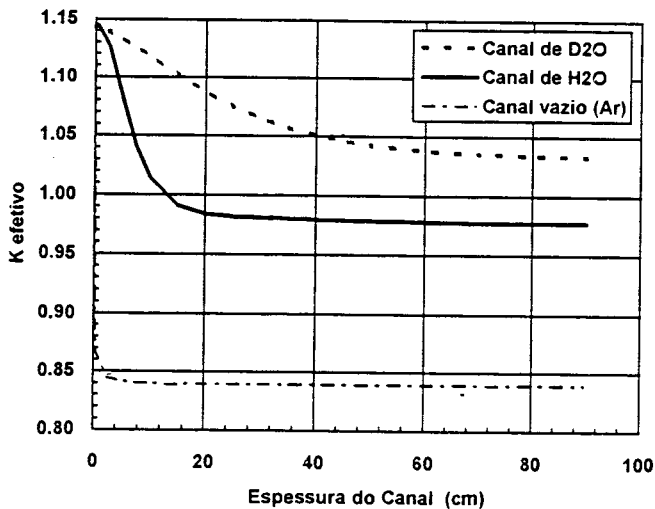


Figura 4 - Fator de multiplicação do reator



A importância do material utilizado como refletor, pode ser observada variando-se o material utilizado. Para este estudo, foram efetuados cálculos supondo grafite, água leve e água pesada como refletores, para o canal interno contendo água pesada com largura de 20 cm. Os resultados obtidos são ilustrados na tabela 2.

Tabela 2 - Variação de K_{eff} com o refletor utilizado

	Material do refletor		
	Grafite	H ₂ O	D ₂ O
K_{efetivo}	1,087431	0,99874	1,08570

Desta forma, observa-se a importância da utilização de materiais específicos para os refletores tais como grafite ou água pesada pois a água leve como refletor é inviável já que torna o reator subcrítico.

Foram calculadas as distribuições de fluxos ao longo do tanque de D₂O ($Y=0$), e ao longo do eixo Y ($X=0$) para a configuração escolhida (espessura do acoplador = 20cm, acoplador = D₂O e refletor de grafite). Estes resultados são ilustrados nas Figuras 5 e 6.

Verifica-se que no tanque de D₂O as distribuições de fluxo são convenientes para a aplicação proposta (REPAM) pois o fluxo térmico e epitérmico são significativamente maiores que o fluxo rápido (~ uma década). As fugas laterais de nêutrons no tanque acoplador foram estimadas ($J_{1+} = 1,27467E+11$, $J_{2+} = 1,37579E+11$, $J_{3+} = 1,88317E+11$, $J_{4+} = 3,07957E+11$) para estudos de penetração destes nas colunas de irradiação do reator proposto na referência [1], e fornecidas para o estudo apresentado neste encontro [3].

Figura 5 - Fluxo no eixo X

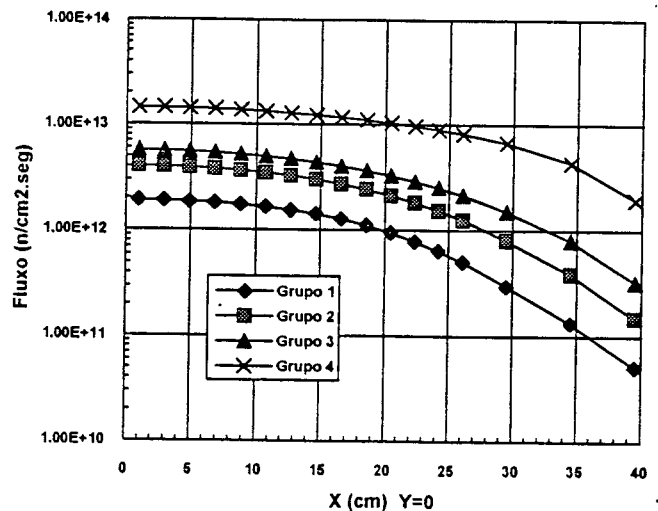
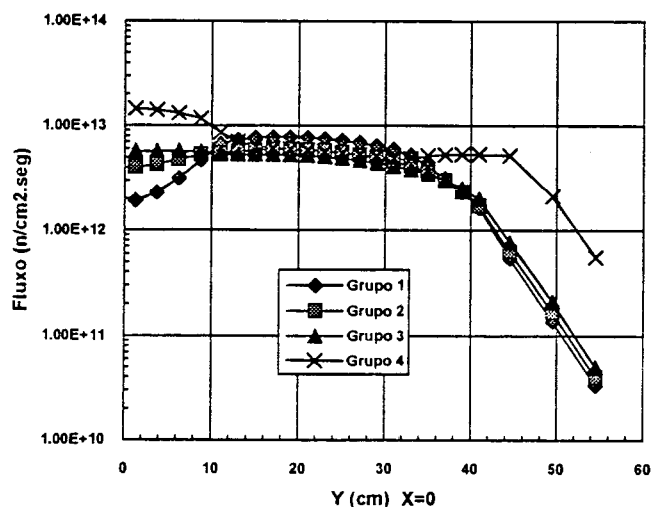


Figura 6 - Fluxo no eixo Y



CONCLUSÃO

Segundo os resultados obtidos, a configuração ideal para o REPAM é um núcleo com canal interno contendo água pesada, largura de ~ 20 cm ($K_{\text{eff}} \sim 1,08$) e refletor de grafite. Estes resultados indicam a viabilidade da utilização do conceito de núcleos acoplados para a aplicação do REPAM pois:

i) como cada metade do núcleo é subcrítica e o núcleo como um todo somente é crítico com a presença do moderador entre eles, o reator possuirá três sistemas de desligamento independentes e também dois com princípios de projeto totalmente diversos pois se em uma metade do núcleo forem inseridas barras de controle/segurança, o reator como um todo desligará, e também se for retirado o moderador o acoplamento terminará e o reator desligará;

ii) Na região do acoplador existirá uma armadilha de nêutrons ("flux-trap") que aumentará os níveis de fluxo térmico nessa região, de forma a torna-la conveniente para a irradiação de amostras;

iii) Com a escolha de D₂O, a fuga de nêutrons nas laterais do acoplador favorecerão a componente térmica-epitérmica em detrimento da componente rápida que é um critério de projeto para a aplicação médica. Além disso, existindo um controle de temperatura no D₂O poder-se-ia variar o espectro de fuga, o que é conveniente para a aplicação.

Para finalizar os estudos nêutronicos, ainda é necessário considerar nos cálculos os elementos de controle, canais de irradiação, estudos sobre a estabilidade cinética dos núcleos acoplados. Mesmo assim estes estudos preliminares indicam claramente a possibilidade do núcleo proposto.

REFERÊNCIAS

- [1] J.R. Maiorino; J. A. Perrota; B.D. Batista; A. J. Soares; M.M.Silva. "Estudos Conceituais de um Reator para Pesquisas e Aplicações Médicas", IV CGEN, vol. 2, p. 689. Rio de Janeiro - RJ, Brasil, 5 a 9 de Julho de 1992.
- [2] LEOPARD - 2DBUM PROGRAM MANUAL
- [3] M.M.Silva; J.R. MAIORINO "Cálculos de Transporte para Definição da Configuração dos Tubos de Irradiação para um Reator de Pesquisa e Aplicações Médicas" trabalho submetido ao IX ENFIR.

ABSTRACT

This work shows a neutronic analysis of a reactor core suitable to be used in a Medical Reactor applying BNCT technical and Research Reactor. The core consists of two subcritical sets, coupled by a D₂O tank. The fuel elements are plate type, and nominal power is 1 MW. The results show the feasibility of this concept for the proposed application.