

O USO DE BORO COMO VENENO QUEIMÁVEL
NA FORMA ANULAR.

Luiz Antonio Mai
Luiz Roberto Sannazzaro
Divisão de Física de Reatores
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares
São Paulo-SP

SUMÁRIO

Para um arranjo de varetas de combustível e de veneno queimável (^{10}B) é feito um estudo concentrando-se o absorvedor na forma anular. Pelos resultados verifica-se que existe uma espessura ótima do anel, com a qual é alcançada uma maior efetividade na compensação de reatividade pelo veneno queimável.

A apresentação do veneno queimável na forma anular possibilita mais um grau de flexibilidade no dimensionamento do mesmo.

1. Introdução

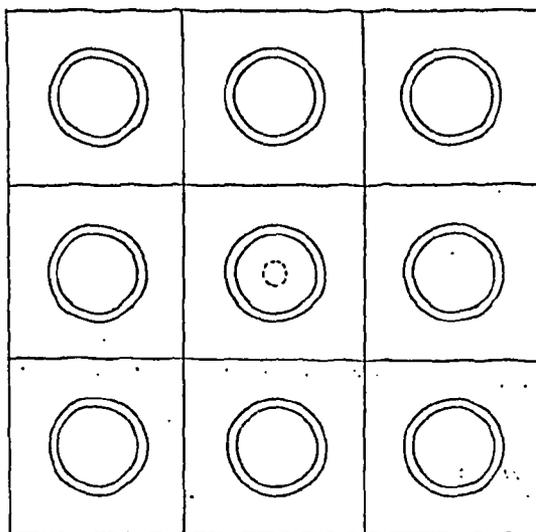
Veneno queimável, em PWRs comerciais, vem sendo bastante utilizado no primeiro núcleo para garantir um coeficiente moderador negativo no início do ciclo e ao mesmo tempo otimizar a distribuição de densidade de potência no caroço. Como veneno queimável, para esse tipo de reator, tem sido normalmente usado o boro e mais recentemente vem se cogitando o uso de gadolínio. Enquanto que esse último encontra-se na forma de Gd_2O_3 misturado homogeneamente com o combustível, o boro é apresentado isoladamente inserido em tubos guia de barra de controle vazios na forma de silicato de boro, ou ocupando a posição de varetas de combustível na forma de B_4C (em matriz de Al_2O_3).

Em cada caso o dimensionamento do veneno queimável (concentração e número de varetas) bem como o posicionamento dos mesmos é feito seguindo vários critérios de tal maneira que uma desejada compensação de reatividade inicial seja conseguida, uma otimização da distribuição de densidade de potência seja alcançada, bem como as normas de segurança sejam respeitadas [1].

A concentração inicial de absorvedor é selecionada de modo a minimizar a concentração residual do mesmo no final do ciclo projetado. Uma vez determinada essa concentração, a compensação inicial requerida é satisfeita com a escolha do número de varetas de veneno [2]. Já a otimização da distribuição da densidade de potência é conseguida pelo posicionamento dessas varetas no núcleo.

O presente trabalho tem por objetivo verificar se a apresentação do absorvedor na forma anular pode fornecer mais um grau de flexibilidade no dimensionamento do veneno queimável.

Para esse estudo, foi considerado como absorvedor o boro na forma de $B_4C+Al_2O_3$, com as varetas de veneno queimável ocupando posições das de combustível, guardando inclusive as mesmas dimensões deste. Para a análise é considerado um arranjo de combustível (3x3) constituído de uma vareta de veneno queimável tendo como circunvizinhança 8 varetas de combustível conforme mostrado na figura 1. Sobre esse arranjo foram realizados cálculos celulares tendo como parâmetro o raio interno do absorvedor.



Célula de Combustível

Célula de Veneno
Queimável

Figura 1: Arranjo de 8 Varetas de Combustível e 1 Vareta de Veneno Queimável Central.

Os cálculos celulares foram feitos unidimensionais, utilizando-se o programa HAMMER considerando uma super-célula cilindrizada característica do arranjo proposto conforme é mostrado na figura 2.

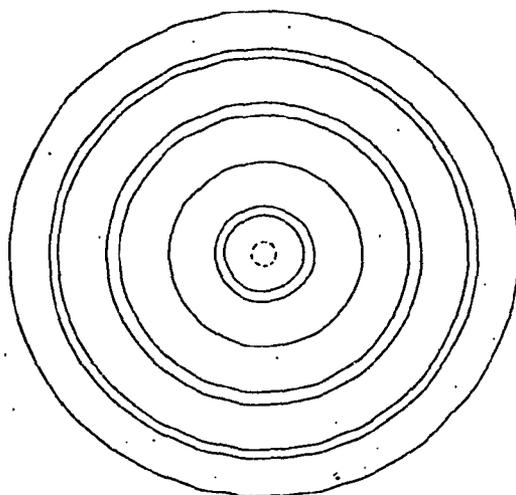


Figura 2: Super-Célula representativa do arranjo de combustível.

Nove zonas compõem essa supercélula:

- zona 1 : vazio
- zona 2 : anel de veneno queimável ($B_4+Al_2O_3$)
- zona 3 : revestimento de SS-304 (Fe)
- zona 4 : moderador (H_2O) + inonel (Fe)
- zona 5 : moderador (H_2O) + inonel (Fe)
- zona 6 : revestimento de SS-304 (Fe)
- zona 7 : combustível (UO_2)
- zona 8 : revestimento de SS-304 (Fe)
- zona 9 : moderador (H_2O) + inonel (Fe)

O raio interno r_i do absorvedor variou de 0,0 a 4,0 cm e as concentrações calculadas conforme:

$$N_i = \frac{R^2}{R^2 - r_i^2} N_o \quad (1)$$

onde R é o raio externo do absorvedor (constante) e N_o é a concentração de ^{10}B para $r_i=0$. Dessa maneira é mantida sempre a mesma massa de boro por vareta em cada caso.

O raio interno r_i do absorvedor, bem como a correspondente concentração i inicial de ^{10}B para cada caso são apresentados na tabela 1.

| r_i (cm) | N_i (mg/cm^{-3}) |
|------------|------------------------|
| 0,0 | 5 |
| 0,10 | 5,29 |
| 0,20 | 6,42 |
| 0,25 | 7,63 |
| 0,30 | 9,93 |
| 0,35 | 15,43 |
| 0,40 | 42,70 |

Tabela 1 : Raio interno e concentração de ^{10}B .

2. Resultados

Para cada raio interno r_i com a respectiva concentração N_i de ^{10}B foi então realizado um cálculo celular que repetiu-se em cada caso para diversas etapas de queima. O fator de multiplicação infinito determinado é apresentado, em função do raio interno r_i , na figura 3 para 0; 2,54 e 5,08 MWd/KgU. Na figura, R é o raio externo da pastilha de B_4C .

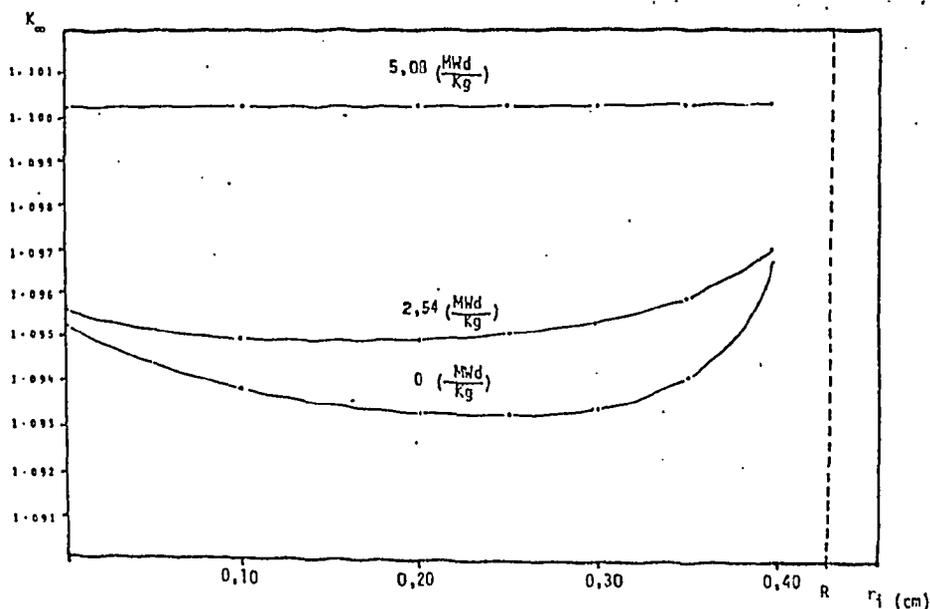


Figura.3 : Fator de multiplicação em função do raio interno do anel.

Para o início do ciclo (0MWd/Kg) nota-se uma dependência significativa do fator de multiplicação com a espessura do anel. Pela curva pode-se verificar que ao se concentrar a mesma quantidade de absorvedor em anéis mais estreitos (maior r_i), a compensação de reatividade pelo veneno queimável torna-se mais efetiva, diminuindo o fator de multiplicação. Essa tendência torna-se cada vez menos acentuada até que após uma determinada espessura do anel (no caso $r_i = 0,30$ cm) ela é invertida, ou seja, com a diminuição da espessura do anel ocorre um aumento no fator de multiplicação indicando uma menor compensação da reatividade pelo veneno queimável.

Com a maior ou menor efetividade do veneno queimável na absorção dos nêutrons, dependendo da espessura do anel, ocorre uma queima diferenciada do ^{10}B em função de r_i , determinando as curvas para outras etapas de queima, como

mostradas na figura 3. No final do ciclo (5,08 MWd/KgU), no caso estudado, o fator de multiplicação é praticamente o mesmo para todas as espessuras do anel consideradas, indicando igual absorção residual para cada raio interno r_i .

Para entender o comportamento da curva de início de vida (0 MWd/Kg U) da figura 3, basta notar que o fator de multiplicação infinito K_∞ , quando resguardadas todas as outras características do combustível, é uma função decrescente da taxa de reação T_R no veneno queimável.

$$T_R = N_B V_B \sigma_B \phi_B \quad (2)$$

onde:

N_B : concentração de boro

V_B : volume da região do veneno

σ_B : secção de choque microscópica de absorção

ϕ_B : fluxo no veneno queimável

Definindo fator de autoblindagem,

$$f_S = \frac{\phi_B}{\bar{\phi}} \quad (3)$$

com $\bar{\phi}$ sendo o fluxo médio na célula, tem-se:

$$T_R = N_B V_B f_S \sigma_B \bar{\phi} \quad (4)$$

e notando ainda, conforme equação 1, que $N_B V_B$ é constante, conclui-se que K_∞ é uma função decrescente do produto $f_S \sigma_B$. Essa função é mostrada na figura 4.

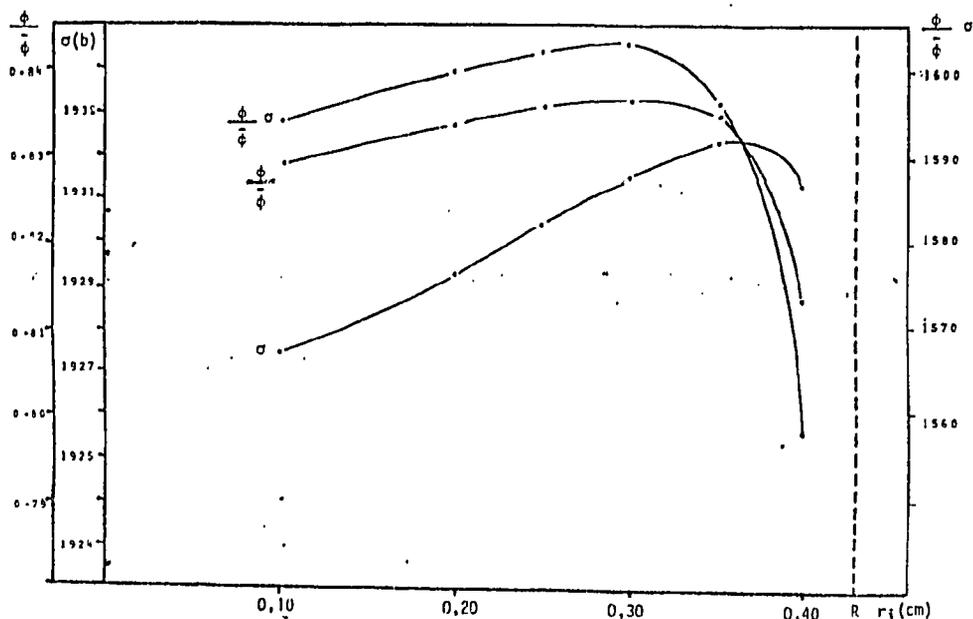


Figura 4 : Seção de choque microscópica efetiva do ^{10}B e fator de auto blindagem como função do raio r_i .

3. Conclusão

Pelos resultados do estudo realizado, concluiu-se que, a apresentação do veneno queimável na fórmula anular pode fornecer mais um grau de flexibilidade no dimensionamento do mesmo.

Existe uma espessura ótima do anel, onde a compensação de reatividade é mais efetiva para a mesma quantidade de absorvedor. Essa compensação ótima é determinada essencialmente pela seção de choque efetiva do absorvedor e pela autoblindagem.

A absorção residual do veneno queimável, no final do ciclo é praticamente independente da espessura do anel.

Referências Bibliográficas

/1/ Stehle, H.; Bohns, W.; Holzer, R. Neuere Entwicklungen

auf dem Gebiet der Brennelement und der Kernausslegung
von Leichtwasserreaktoren DAtF-80 Bonn (1980).

- /2/ Strasser, A.A.; Sheppard, K.D. Light water reactor
reactivity control Nuclear Energy, 23 n° 3 1984.