

NOVA PROPOSTA DE CONFIGURAÇÃO PARA O NÚCLEO DO REATOR
IEA-R1 DE 10 MW COM COMBUSTÍVEL DE U₃Si₂ (20 w/o U-235)

L.A.Mai, J.R.Maiorino, L.C.C.B.Fanaro, C.R.Ferreira
e E.Maprelian
COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR - SP
INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES

RESUMO

Com o elemento combustível padrão definido anteriormente, testou-se, por meio de cálculos em computador, vários arranjos para o núcleo de 10 Mw do reator IEA-R1 com combustível de U₃Si₂ (20 w/o U-235). Selecionou-se um arranjo de 20 elementos (figura 2) como o mais adequado aos objetivos e restrições impostas e determinou-se também um esquema de remanejamento dos elementos combustíveis até a obtenção do ciclo de equilíbrio.

INTRODUÇÃO

Em continuidade ao trabalho de pesquisa em desenvolvimento junto a Agência Internacional de Energia Atômica (Br.4661-Projeto ARCAL V - RLA/4/007), apresenta-se neste trabalho estudos paramétricos para definição do núcleo de 10 MW, utilizando-se combustível de U₃Si₂ (20 w/o U-235), a ser utilizado no reator IEA-R1 do IPEN.

Estes estudos tem por base o elemento combustível definido na referência 1. Naquele trabalho, foram mantidas a geometria externa do elemento combustível para não se alterar a atual placa matriz do reator e também mantida a composição dos materiais que compõem o elemento combustível. O material combustível foi determinado através de pesquisa bibliográfica de projetos similares /2/ e consta de U₃Si₂ com densidade de urânio 3.0 gU/cm³. Os parâmetros geométricos definidos na referência 1 foram:

.N _p (n.de placas/elem. comb.)	=18
.t _c (espessura do encamisamento)	=0.34 mm
.t _m (espessura do cerne)	=0.9725 mm
.t _{m20} (espessura do moderador)	=2.79 mm

No presente trabalho, apresenta-se também uma proposta de administração do combustível para essa nova configuração ao longo de toda a vida útil do reator e estudos termoidrâulicos para verificar as margens de segurança para diferentes condições de vazão e temperatura de entrada do fluido refrigerante.

Todos os cálculos em computador foram executados pelos códigos HAMMERTech/3/ (célula), CITATION/4/ (reator) e COBRA/RERTR/5/ (termoidrâulica).

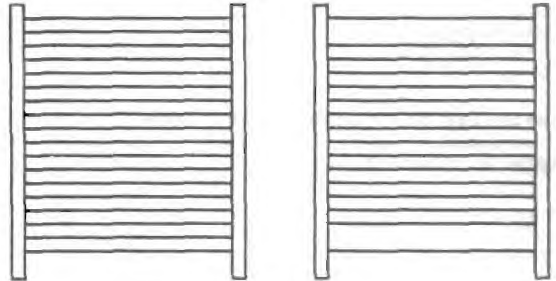
ELEMENTO COMBUSTÍVEL DE 10 MW

A figura 1 ilustra o elemento combustível definido na referência 1 e também o elemento combustível de controle. Esses elementos foram definidos através de uma composição paramétrica entre as grandezas N_p, t_c, e t_m.

A geometria externa do elemento combustível e a composição dos materiais foram mantidas fixas. Os critérios para a seleção do conjunto de parâmetros ótimos foi estabelecido da seguinte maneira:

- .extensão do ciclo em termos de queima
- .boa reserva de reatividade no fim do ciclo
- .curva de queima que facilite o controle

Esses critérios podem ser resumidos em um só, bastando para isso exigir-se que a curva de queima tenha um mínimo de perda de reatividade.



ELEMENTO COMB. PADRÃO	ELEMENTO COMB. CONTROLE
DADOS	DADOS
núm. de placas =18	.núm. de placas =12
enriq. =20w/o	.enriq. =20w/o
cerne =0.9725 mm	.placas absorv. = 2
encamisam. =0.34mm	.placas alum. = 4
moderador =2.79mm	

Fig. 1: Elementos Combustíveis Definidos Para o Projeto de 10 MW do reator IEA-R1.

A densidade de urânio inicialmente escolhida para esse projeto foi de 4.8 gU/cm³ correspondendo ao máximo encontrado na literatura até então. Posteriormente reduziu-se a densidade para 3.0 gU/cm³ para ter-se um excesso de reatividade conveniente ao longo de toda a queima, pois, neste projeto manteve-se fixa a potência gerada pelo reator. No entanto pode-se pensar de maneira inversa, ou seja, manter fixa a densidade de urânio em 4.8 gU/cm³ e diminuir a potência gerada pelo reator. A viabilidade desta opção deverá ser investigada.

Na tabela 1, apresenta-se os parâmetros do elemento combustível a ser usado no presente trabalho/6/.

Tabela 1: Parâmetros do Elemento Combustível P/ Projeto de 10 MW do Reator IEA-R1.

material do cerne	U ₃ Si ₂ -Al ₃
densidade de urânio(20w/o)	3.0 gU/cm ³
espessura do cerne (t _m)	0.972 mm
material do encamisamento	Al
espessura do encamisamento (t _c)	0.34 mm
espessura do canal refrigerante (t _{H2O})	2.79 mm
número de placas/elemento	18
dimensões externas do elemento	761x80x714 mm
dimensões das placas	1.65x71x625 mm
comprimento ativo	600 mm

CONFIGURAÇÃO DO NÚCLEO DE 10 MW

Uma vez definido o elemento combustível a ser utilizado, o próximo passo será definir a melhor configuração para o reator. Para isso algumas restrições são impostas:

i. manter a placa matriz original do reator IEA-R1

ii. manter as posições das barras de controle com relação à placa matriz

iii. existência de um dispositivo de irradiação central com fluxo de nêutrons térmico da ordem de 10¹⁴ n/cm²s

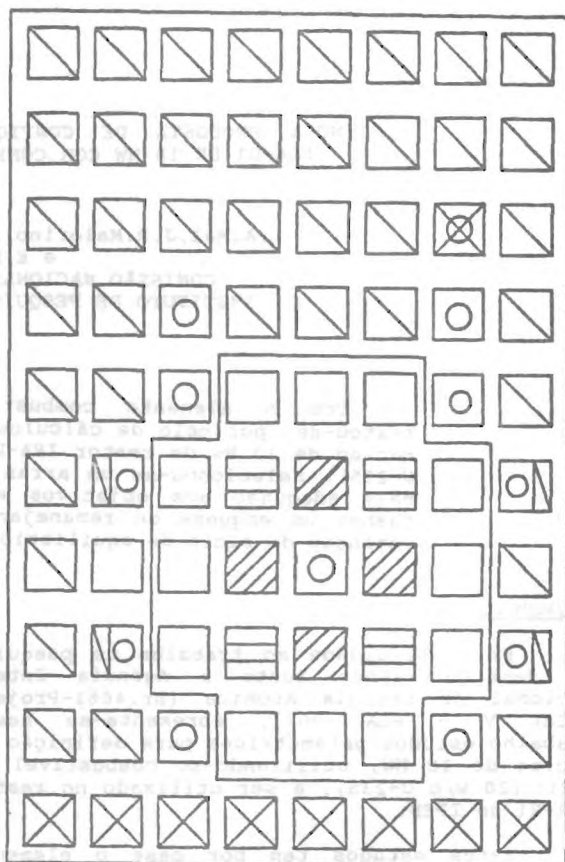
iv. maximizar os fluxos de nêutrons térmicos e rápidos nas outras posições de irradiação (laterais)

v. excesso de reatividade inicial e final convenientes

vi. minimizar fator de pico radial (<1.3)

Mantendo-se as restrições acima, testou-se várias configurações possíveis de núcleo, separando-se as mais convenientes e, em seguida, procedeu-se às manipulações dessas configurações básicas selecionadas para aproximarem-se o tanto quanto possível da configuração desejada. Essas manipulações foram feitas basicamente com a introdução, dentro do núcleo, de material absorvedor e a introdução, nas periferias do núcleo, de materiais refletores variados.

Desses estudos comparativos, chegou-se a seguinte configuração inicial, de 20 elementos combustíveis, mostrada na figura 2.



- combustível
- refletor (BeO)
- disp. irrad.
- refletor (grafita)
- fonte
- barra de controle
- veneno queimável

Fig. 2: Configuração Inicial de 10 MW do Reator IEA-R1

As características principais do núcleo de 10 MW proposto são apresentadas na tabela 2.

Tabela 2: Características do núcleo de 10 MW do Reator IEA-R1

densidade de urânio	3.0 gU/cm ³
material absorvedor	B ₄ C-Al ₂ O ₃
Φ _{th} (central)	1.6x10 ¹⁴ n/cm ² s
k _{ef} ("fresh")	1.10550
fator de pico radial	1.2

Na figura 3 apresenta-se a distribuição de fluxo térmico na condição BOL para cada elemento combustível e na posição central de irradiação.

	0.47	0.41	0.46	
0.45		0.43		0.45
0.40	0.43	1.62	0.43	0.40
0.43		0.43		0.44
	0.40	0.34	0.40	

Fig.3 Distribuição de Fluxo Térmico nos elementos combustíveis (10^{14} n/cm²s)

Os limites de segurança termoidráulicos foram calculados pelo código COBRA/RETR /5/ para 3 casos distintos:

.caso 1	Q = 4800 gpm (1090 m ³ /hr) T _{in} = 39 °C G = 4277 Kg/sm ²
.caso 2	Q = 6000 gpm (1363 m ³ /hr) T _{in} = 38.6 °C G = 5335 Kg/sm ²
.caso 3	Q = 7000 gpm (1590 m ³ /hr) T _{in} = 37.8 °C G = 6245 Kg/sm ²

Os principais resultados obtidos são apresentados na tabela 3. Nota-se que a vazão do caso 1 é a máxima do reator IEA-R1. A tabela mostra também que algumas modificações serão necessárias para a configuração de 10 Mw.

Tabela 3 : Principais resultados termoidráulicos para a configuração de 10 MW do reator IEA-R1

	caso 1	caso 2	caso 3
veloc. (m/s)	4.3	5.4	6.3
t _{max} (ref.) (°C)	51.5	49.5	46.5
t _{max} (enc.) (°C)	89.0	80.5	75.0
t _{max} (com.) (°C)	94.5	86.0	80.5
frac.vazio (%)	10.1	10.7	11.1
inst.de fluxo	14.2	17.9	21.1
ONB	1.78	-	-
MDNBR	5.7	6.3	6.7

(*)- t_{max} (ref., enc, com) referem-se às temperaturas máximas do refrigerante, encamisamento e do combustível respectivamente.

- ONB- início da ebulição nucleada
- MDNBR- menor valor da razão de desvio da ebulição nucleada

Os elementos combustíveis envenenados estão dispostos na proporção de 3 placas de combustível para 1 placa de B₄C-Al₂O₃. Esses elementos combustíveis envenenados só permanecem no núcleo durante os 10 primeiros ciclos, e sua finalidade é diminuir o fator de pico radial e a reatividade inicial. Durante esses ciclos, o núcleo não é alterado. A partir deste ponto as posições dos elementos combustíveis envenenados serão ocupadas por combustíveis com certo grau de queima. O item a seguir trata mais detalhadamente o assunto.

REMANEJAMENTO DO COMBUSTÍVEL

Tendo como objetivo um ciclo de 14 dias de operação contínua, propõe-se neste trabalho que o esquema de remanejamento dos elementos combustíveis seja o seguinte :

.dez ciclos contínuos (140 dias) sem remanejamento

.segue-se o primeiro remanejamento com substituição dos elementos envenenados e mais cinco ciclos de de operação contínua

.no segundo remanejamento, substitui-se os elementos combustíveis de controle, seguindo-se 2 ciclos de operação contínua

.o terceiro remanejamento reconstitui aproximadamente a situação inicial

A figura 4 ilustra mais detalhadamente esses passos. Os números dentro dos elementos combustíveis representam, aproximadamente, a queima em porcentagem de consumo de U-235 inicial. A queima de descarga dos elementos combustíveis padrão está em torno de 41% de U-235. A figura 5 mostra a curva de queima ao longo dos ciclos com os remanejamentos até o equilíbrio. O ciclo de equilíbrio é atingido após 17 ciclos de 14 dias (operação contínua). Assumindo uma vida útil do reator de 30 anos, a previsão de reposição de elementos combustíveis é a seguinte:

.elementos combustíveis padrão	736
.elementos combustíveis de controle	368
.elementos combustíveis envenenados	4

CONCLUSÕES

A configuração proposta de 20 elementos combustíveis para o núcleo de 10 MW para o reator IEA-R1, mostrado na figura 2, demonstrou um bom desempenho tanto do ponto de vista neutrônico, quanto termoidráulico.

O esquema de remanejamento dos elementos combustíveis é simples, exigindo apenas 4 elementos combustíveis diferenciados (com veneno queimável) ao longo de toda a vida útil do reator.

A conclusão deste projeto depende, no entanto, ainda de cálculos de parâmetros cinéticos, coeficientes de reatividade, cálculos de barras de controle, análise de transientes, etc.

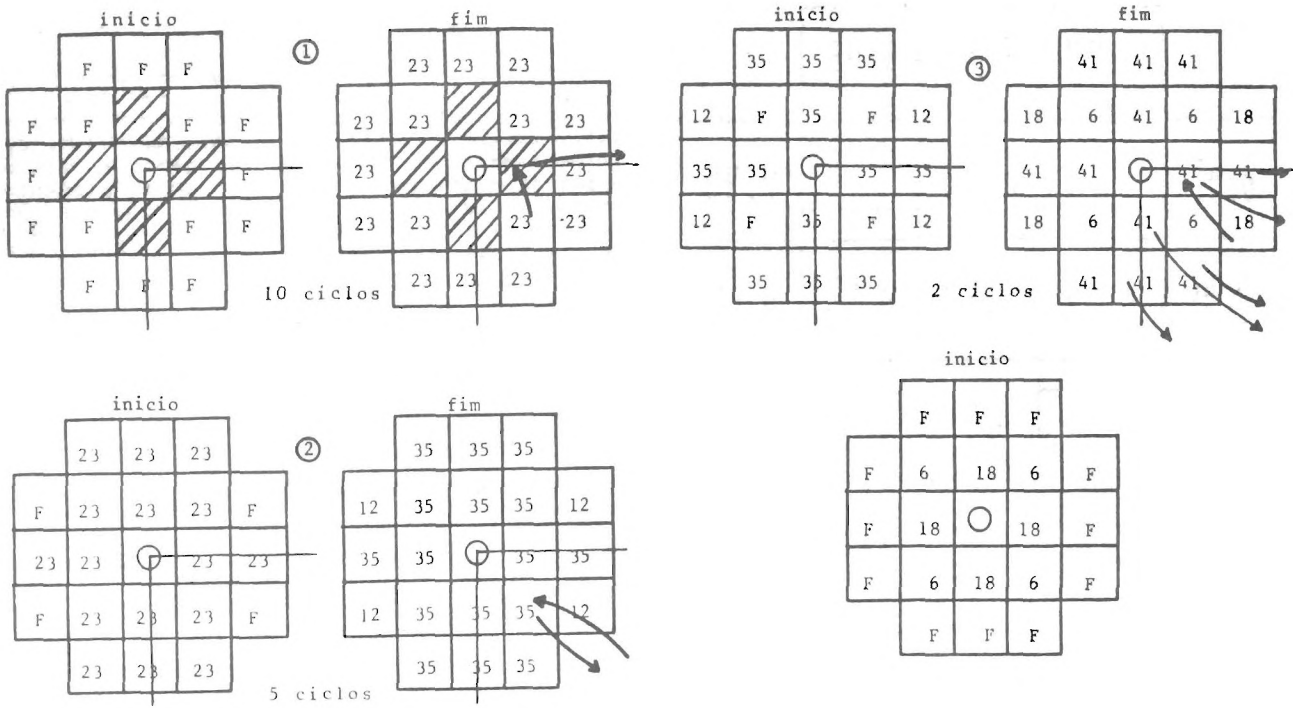
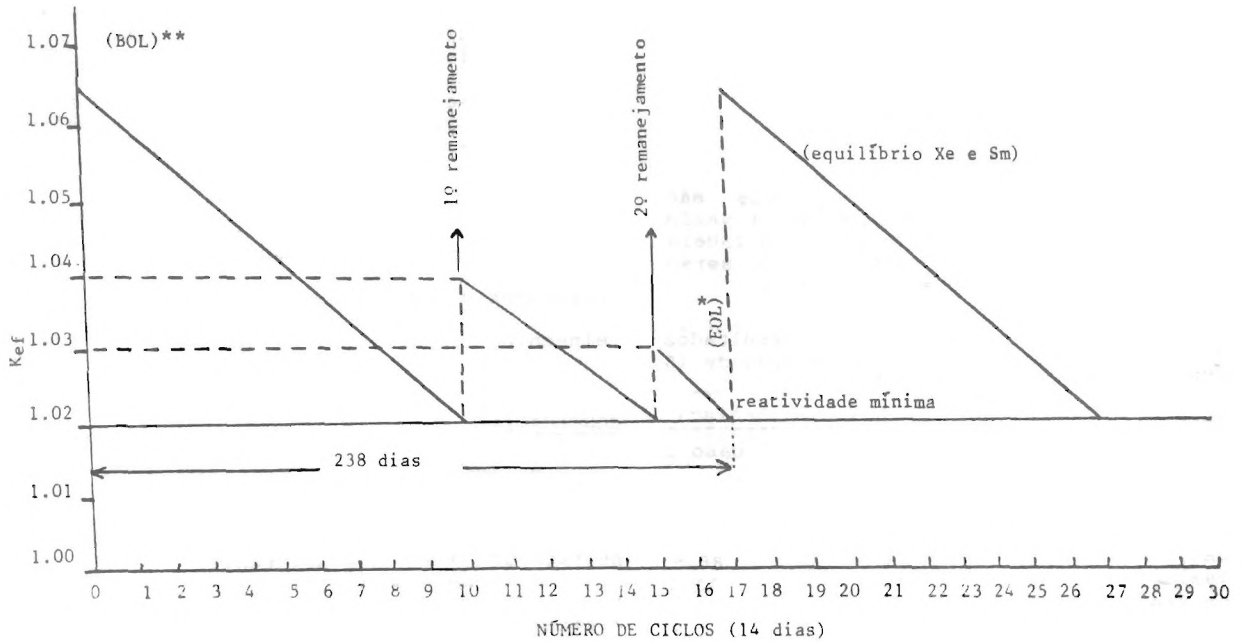


Fig.4: Remanejamento do Núcleo de 10 MW do Reator IEA-R1



(**) Begin Of Life

(*) End Of Life

Fig.5: Ciclo de Equilíbrio do Reator IEA-R1

AGRADECIMENTOS

Este trabalho contou com o apoio da Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA), (Br.4661-Projeto ARCAL V - RLA/4/007), a quem os autores expressam seus agradecimentos.

REFERÊNCIAS

- /1/ Mai, L.A.; Maiorino, J.R.; Gouvêa, A. "Otimização das Características Neutrônicas de Elementos Combustíveis de U_3Si_2 Com Baixo Enriquecimento Para um Novo Projeto do Núcleo do Reator IEA-R1", VII Encontro Nacional de Física de Reatores e Termohidráulica, 26-28 de abril de 1989 - Recife, PE - vol. 1, pp 261-271
- /2/ Mai, L.A. "Estudo de elementos Combustíveis Tipo Placa do Ponto de Vista Neutrônico/Termohidráulico" - Relatório interno da Divisão de Física de Reatores do IPEN - 1987.
- /3/ Suich, J.E. & Honeck, H.C. "The HAMMER System: Heterogeneous Analysis of Multigroup Methods of Exponential and Reactor" Aiken, S.C., DuPont de Nemours, Savannah Rives Laboratory, 1967 (DP-1064).
- /4/ Fowler, T.B.; Vondy, D.R. & Cunningham, G.W. "Nuclear Reactor Core Analysis Code: CITATION", Oak Ridge, Tenn, Oak Ridge National Laboratory, Jul. (ORNL-TM-2496, Rev.2), 1971.
- /5/ Chao, J. "COBRA-3C/RERTR A Thermal-Hidraulic Subchannel Code With Low Pressure Capabilities" Argonne National Laboratory - Illinois, Dec. 1980.
- /6/ Maiorino, J.R.; Fanaro, L.C.C.B.; Mai, L.A.; Kosaka, N.; Yamaguchi, M. "The Brazilian Research Reactor IEA-R1. Its Past, present and future status" - Primer Taller Sobre Reactores Nucleares de Investigación en América Latina - Santiago - Chile, 21-25 Jan. 1991.

SUMMARY

This paper presents a study of several possible configurations for the IEA-R1 research reactor with an upgrade of power to 10 MW, using low enriched U_3Si_2 fuel element defined in a previous study. The basic neutronics and thermo-hydraulics parameters calculated for the selected configuration are presented in order to demonstrate that it attends the design goals.

Also a study of a possible "in core" fuel management is presented.