



**O USO DE "BLANKETS" DE TÓRIO METÁLICO EM REATORES  
RÁPIDOS SUPERCONVERSORES**

*A J. FAYA, S. C. SHU FAYA e W. J. OOSTERKAMP*

**PUBLICAÇÃO IEA N.º**

**352**

Setembro — 1974

**INSTITUTO DE ENERGIA ATÔMICA**  
Caixa Postal 11049 (Pinheiros)  
CIDADE UNIVERSITÁRIA "ARMANDO DE SALLES OLIVEIRA"  
SAO PAULO — BRASIL

# **O USO DE "BLANKETS" DE TÓRIO METÁLICO EM REATORES RÁPIDOS SUPERCONVERSORES**

**A. J. Faya, S. C. Shu Faya e W. J. Oosterkamp**

**Coordenadoria de Engenharia Nuclear  
Instituto de Energia Atômica  
São Paulo - Brasil**

**Publicação IEA Nº 352  
Setembro - 1974**

---

\* Apresentado à Conferência Anual da American Nuclear Society, em 23-27 de junho de 1974, em Filadélfia, E U A.

**Instituto de Energia Atômica**

**Conselho Superior**

Eng<sup>o</sup> Roberto N. Jafet - Presidente  
Prof.Dr.Emilio Mattar - Vice-Presidente  
Prof.Dr.José Augusto Martins  
Prof.Dr.Milton Campos  
Eng<sup>o</sup> Helcio Modesto da Costa

**Superintendente**

Rômulo Ribeiro Pieroni

# O USO DE "BLANKETS" DE TÓRIO METÁLICO EM REATORES RÁPIDOS SUPERCONVERSORES

A. J. Faya, S. C. Shu Faya e W. J. Oosterkamp

## SUMÁRIO

É apresentado um estudo comparativo entre reatores LMFBR e o GCFR com "blankets" de tório metálico e  $UO_2$ . Estão incluídos resultados de distribuição de potência, penalidades impostas pela produção de U-232, e comparação econômica entre os dois tipos de "blanket".

O tório metálico comparado ao  $UO_2$  oferece uma vantagem econômica de U\$ 1.000.000 dólares por ano para uma central de 1.000 MWe.

## INTRODUÇÃO

O objetivo principal do programa de reatores rápidos superconversores é tornar aproveitável a grande fonte de energia existente nas reservas mundiais de urânio e tório. Estimativas recentes indicam que as reservas mundiais de energia nuclear serão duplicadas por reatores rápidos trabalhando no ciclo U-Pu e serão triplicadas se o ciclo Th-U também for levado em conta.

## O TÓRIO NO BLANKET

Os preços de material físsil no futuro serão estabelecidos por seu valor em reatores térmicos enquanto o mercado de reatores é dominado por estes. Segundo estudos de Kasten e Lang<sup>(1)</sup>, o U-233 terá um valor que será entre 50% a 100% mais alto do que aquele do Pu-239, pelo menos para o fim deste século. U-233 possui excelentes propriedades em reatores térmicos; uma alta seção de choque de fissão e um alto  $\eta$  enquanto os mesmos valores para o Pu-239 são substancialmente menores. Portanto, existe uma vantagem econômica em se produzir U-233 em vez de Pu-239 nos primeiros reatores superconversores comerciais.

A Física do "core" do reator é substancialmente alterada quando Th-232 substitue U-238 num reator rápido. O custo de desenvolvimento envolvido será pelo menos da mesma ordem de magnitude da vantagem econômica obtida pela introdução de tório no "core". O "blanket" contudo, é muito menos crítico do que o "core" e, por esta razão, muito pouca pesquisa tem sido realizada sobre o comportamento do "blanket".

Cerca de 30% da produção de material físsil ocorre no "blanket". A substituição de urânio por tório no "blanket" assegurará, portanto, uma considerável produção de U-233 sem incorrer em altos custos de desenvolvimento.

"Blankets" de óxido de tório para LMFBR's tem sido estudados por Wood e Driscoll<sup>(4)</sup>. A General Atomic propõe um "blanket" de óxido de tório para o reator GCFR de demonstração. "Blankets" de óxido de tório, contudo, não usam todo o potencial disponível

para o tório.

As propriedades mais significativas do tório estão resumidas na Tabela 1.

A alta condutividade térmica do tório possibilita o uso de elementos de "blanket" em blocos, com canais para o refrigerante a distâncias apropriadas. Frações de volume maiores do que 80% são possíveis. Como a densidade do tório metálico é maior do que a do óxido, consegue-se uma densidade atômica média duas vezes maior do que no caso do óxido.

TABELA I

Propriedades do Tório Metálico

Densidade .....	11,7 g/cm <sup>3</sup>
Condutividade térmica .....	0,1 cal/cm.seg.°C
Temperatura de fusão .....	1 700°C
Temperatura de transição de fase .....	1 400°C
"Burnup" já alcançado .....	20 000 MWD/t

CÁLCULOS PARA O REATOR DE 1000 MWe

Para estudar o comportamento de "blankets" de tório metálico em detalhe, um reator de referência de 1000 MWe foi escolhido. Tomaram-se as mesmas dimensões e frações de volume para um LMFBR e um GCFR (Figuras 1 e 2). Isto foi feito para permitir uma comparação direta entre os dois. Os valores escolhidos refletem as atuais especificações em projetos de "core" de reatores rápidos. As secções de choque foram geradas pelo programa ETOX-III usando o ENDF-III e incluindo-se o conceito de "self shielding factor". As secções de choque em 30 grupos de energia foram condensadas para 4 grupos, usando-se o espectro assintótico da zona central. Este método tem sido verificado para cálculos em GCFR's.

Começou-se por um "core" limpo que era 2% supercrítico por variação do enriquecimento. Depois de cada ciclo de 300 dias (a plena carga), um terço do "core" foi removido e substituído por material novo com o enriquecimento inicial. Não foi executado qualquer tipo de "shuffling". Dez ciclos foram calculados. Os resultados para LMFBR e GCFR são bastante semelhantes com diferença da ordem de 10%.

A produção de U-233 obtida é aproximadamente uma função linear do tempo (Figura 3). A produção de calor alcança 400 W/cm<sup>3</sup> (Figura 4). Este calor pode ser removido pelo refrigerante atravessando canais com 1 cm de diâmetro e 2 cm de distância entre os centros de 2 canais consecutivos. Após os 10 primeiros centímetros do bloco de tório, a distância entre os canais pode ser aumentada para 4 cm. A máxima temperatura alcança 1200°C para o LMFBR; para o GCFR a temperatura é 100°C mais alta devido ao coeficiente de filme. O máximo "burnup" alcança 40 000 MWD/t. Um estudo da Battele<sup>(3)</sup> indica que "burnups" de até 50 000 MWD/t são possíveis.

A produção de U-232 é inerente ao ciclo de tório. Seus "filhos" Bi-212 e Tl-208 decaem com raios  $\gamma$  altamente penetrantes. U-232 é produzido por duas maneiras distintas: uma pela reação (n,2n) do Th-232 e outra pela reação (n,2n) do U-233 (Figura 5). A destruição do U-232 no "core" pode ser desprezada (menos de 10%). Portanto, a produção de U-232 é praticamente

FIG. 1 DIMENSÕES DO REATOR PADRÃO DE 1000 MWE

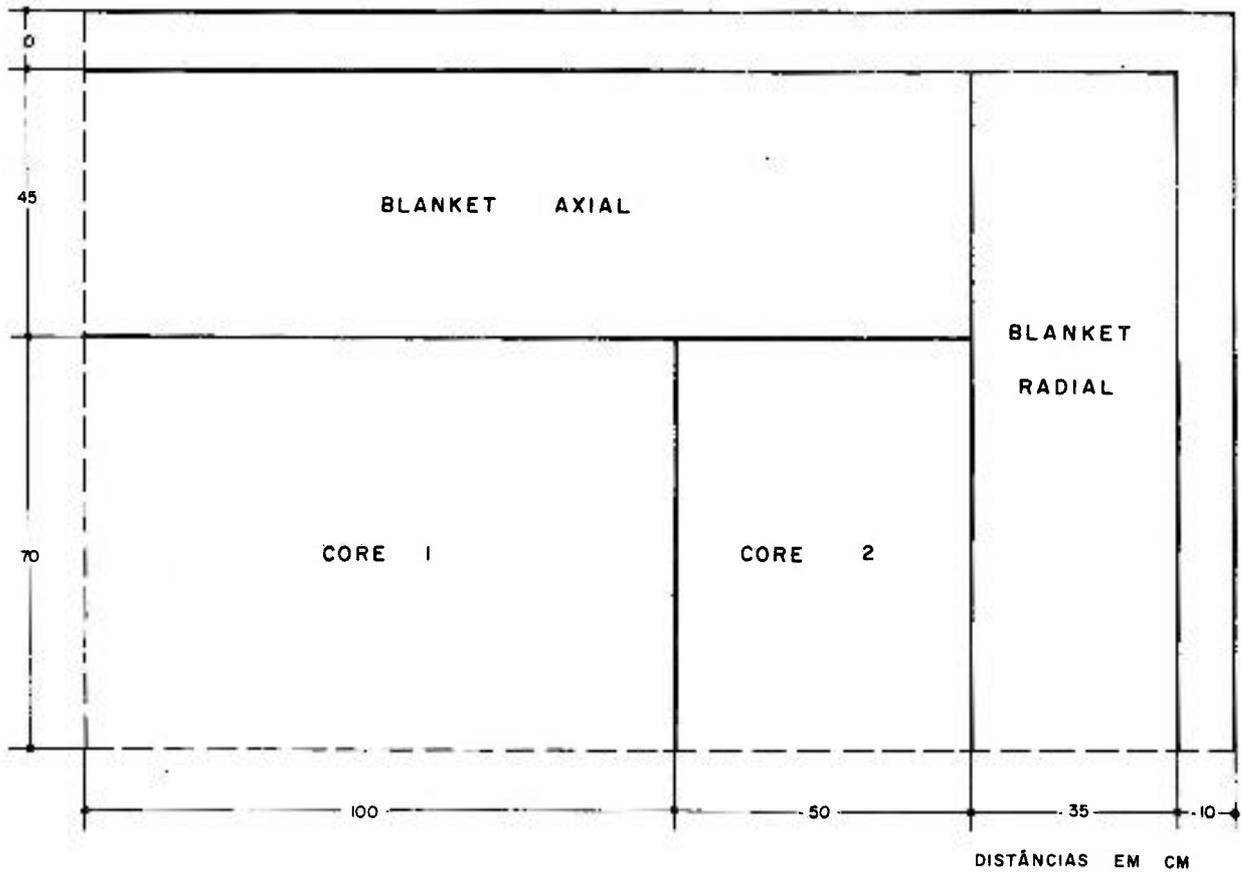


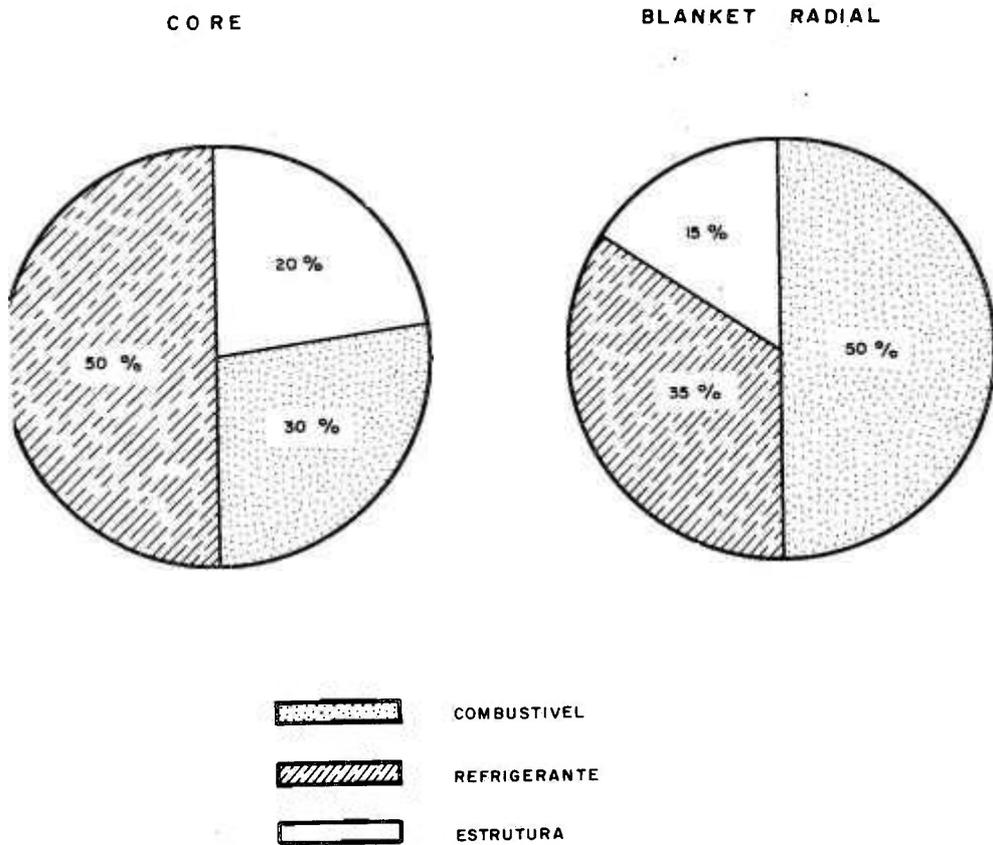
FIG. 2 FRAÇÕES DE VOLUME

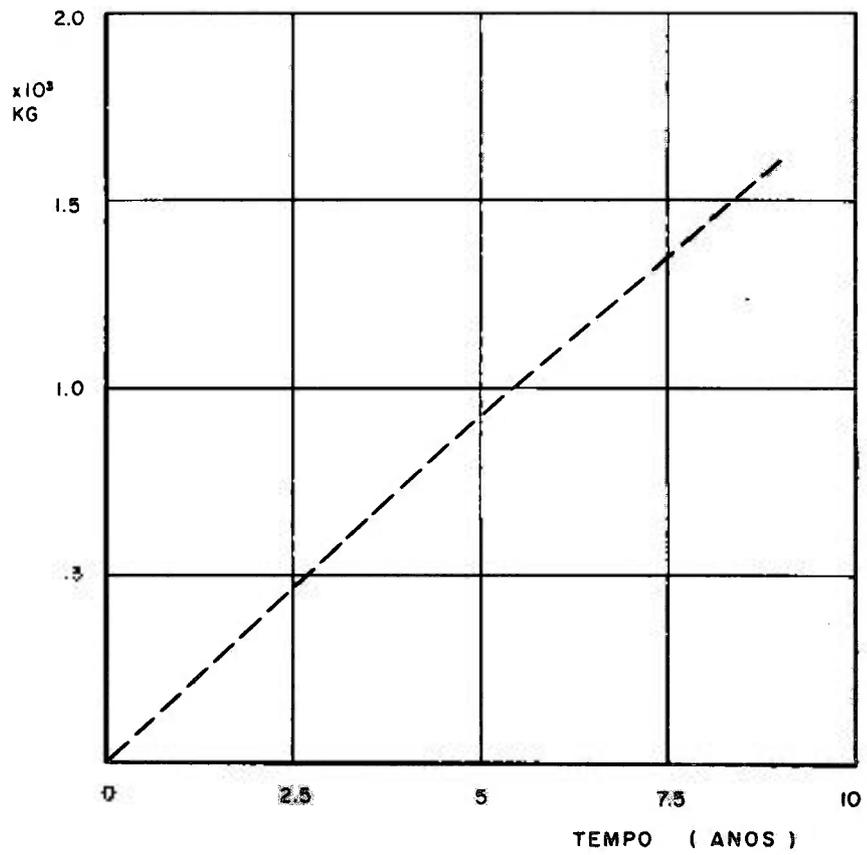
FIG. 3 PRODUÇÃO DE U-233

FIG. 4  
DISTRIBUIÇÃO RADIAL DE POTÊNCIA  
NO PLANO MÉDIO

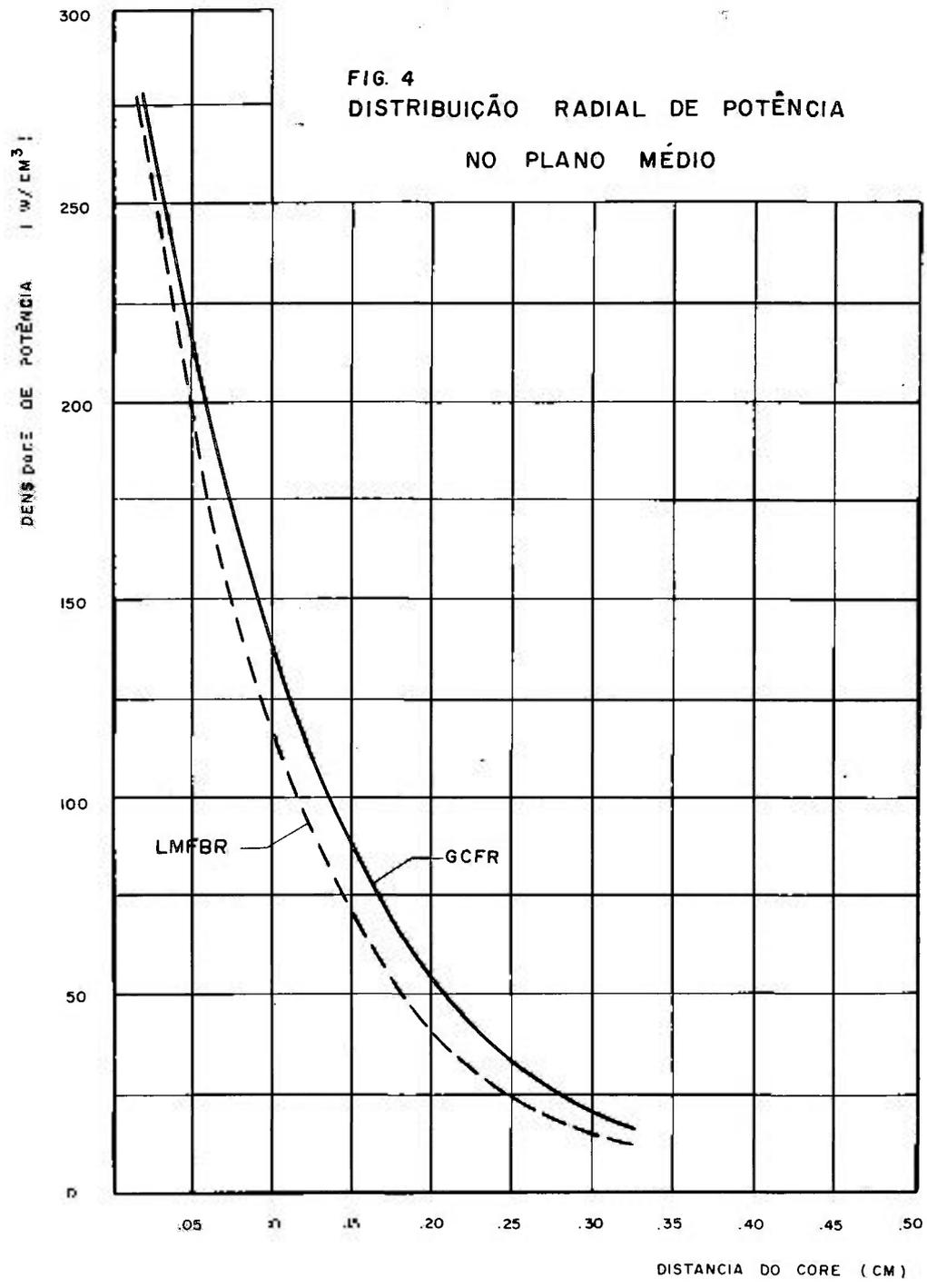
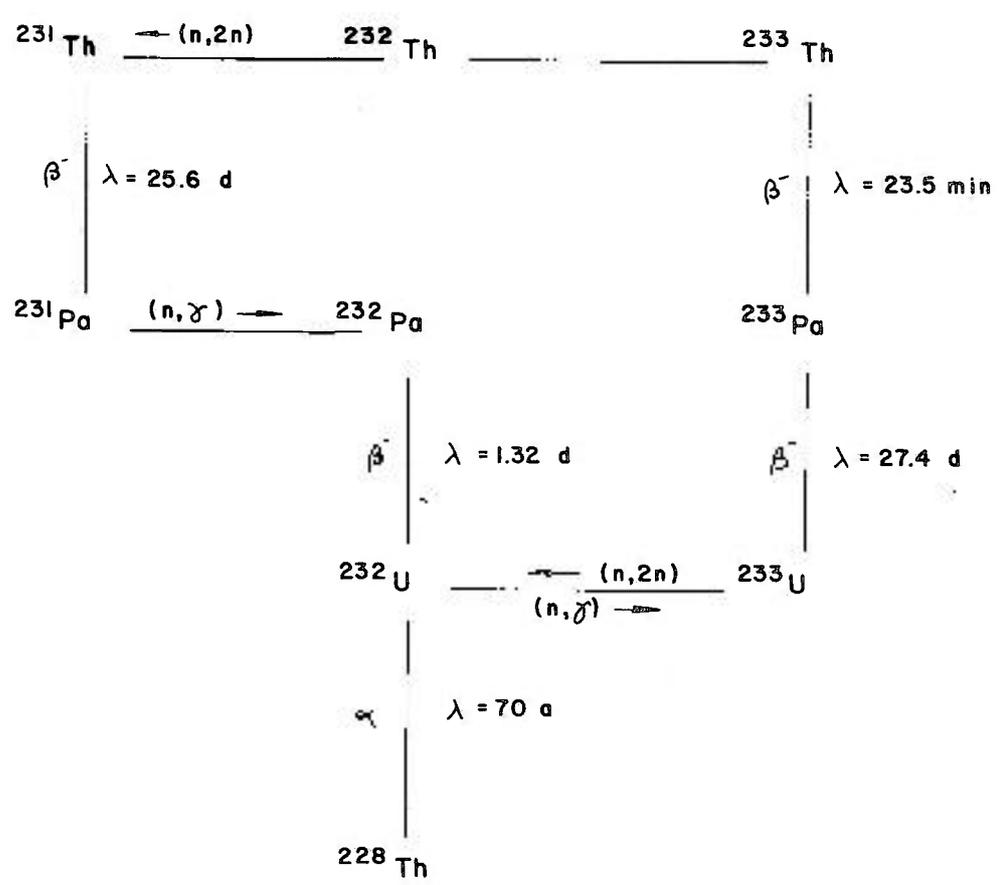


FIG. 5 PRODUÇÃO DE U-232 e U-233



B

FIG. 6 CONCENTRAÇÃO DE U-232

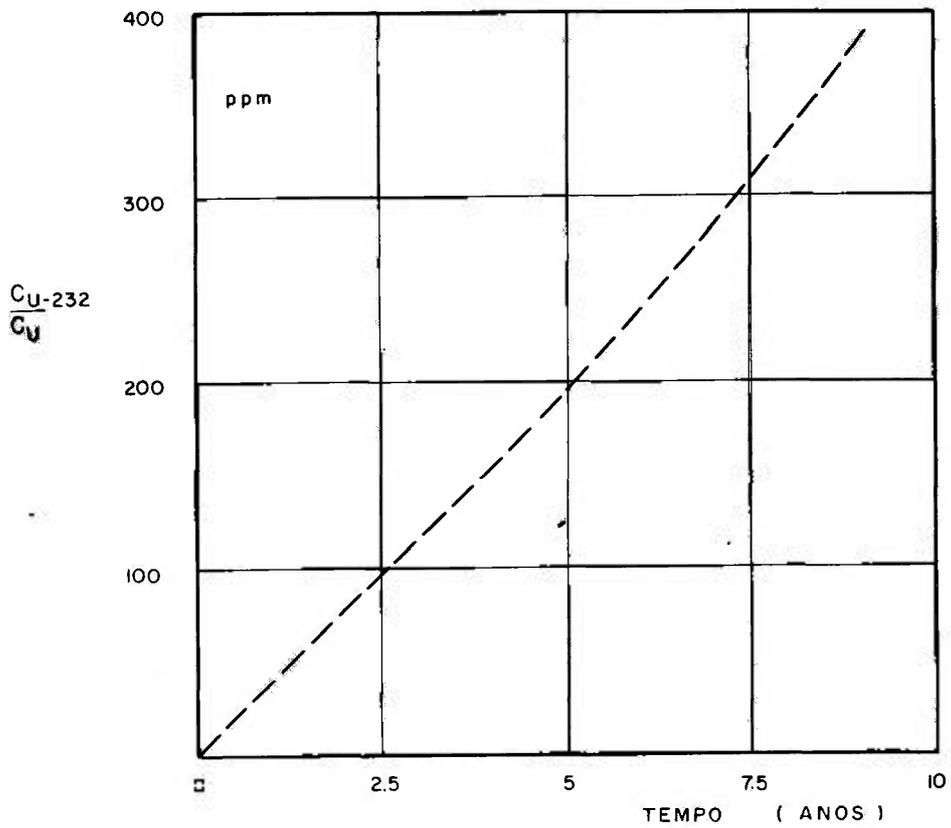
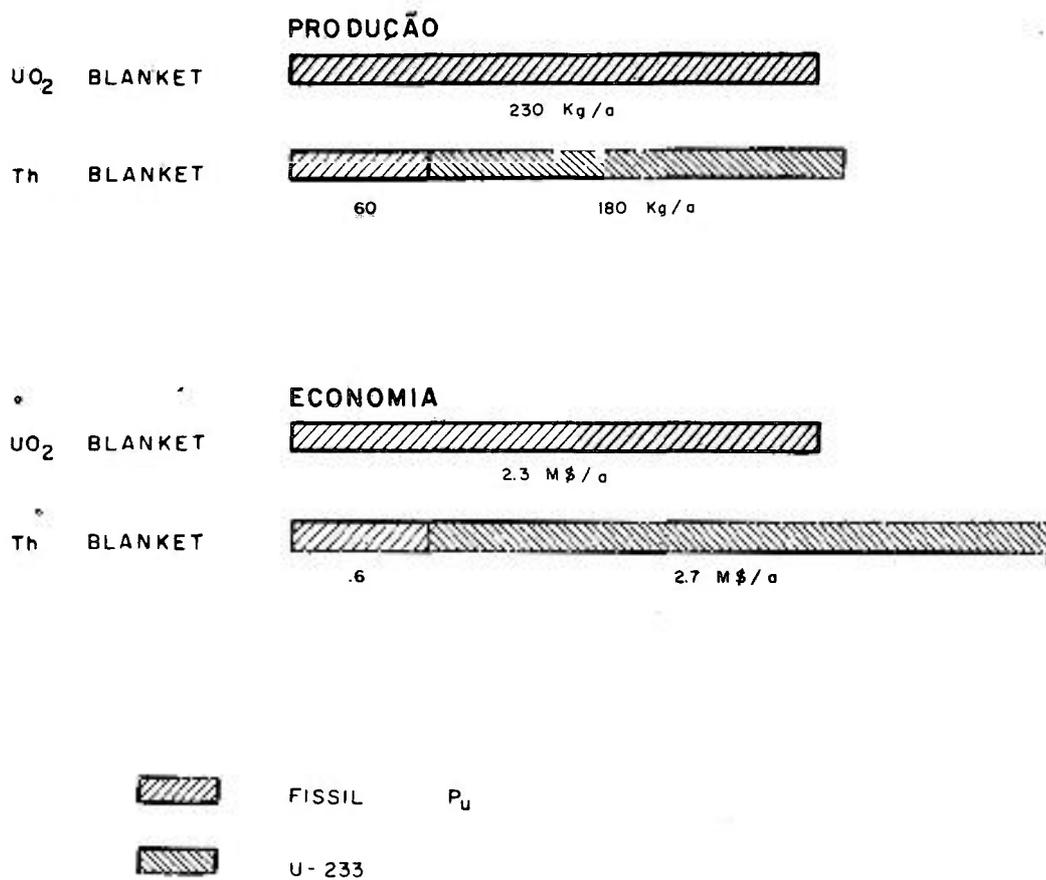


FIG. 7 COMPARAÇÃO ECONÔMICA



uma função linear do tempo (Figura 6) e a concentração de 400 ppm, atingida após 9 ciclos, é ligeiramente maior do que aquela obtida em HTGR's. A penalidade econômica em que se incorre pela produção de U-232, usando-se os valores da USAEC, é de U\$ 1,70/g.

A figura 7 apresenta uma comparação econômica entre o uso de "blankets" de tório metálico e de  $UO_2$ . É uma aproximação física para a economia do combustível. Esta comparação foi baseada na diferença de preços entre o plutônio físsil, U\$ 10/g e U-233, U\$ 16,7/g. A penalidade imposta pelo U-232 descontada. Resulta uma economia de U\$ 1 000 000 por ano ou U\$ 0,015/KWh para uma central de 1 000 MWe.

Atualmente existem programas sofisticados para estudos econômicos, porém não incluem a inflação no preço do combustível e utilizam taxas de juros de 12% a 15% para a situação vigente nos EUA. A taxa de juros líquidos será da ordem de 3%. A diferença de preço entre o U-233 e o Pu-239 depende, contudo, da introdução em larga escala de reatores rápidos tendo plutônio como combustível. Então, o Pu-239 terá uma vantagem sobre o U-233. É portanto provável que a diferença tornar-se-á menor com o passar do tempo. O tempo ótimo de residência no reator será assim menor do que o calculado neste trabalho (9 anos) - talvez da ordem de 5 anos.

Uma redução da espessura do "blanket" de tório metálico pode ser tolerada pois a fuga do mesmo é duas vezes menor do que ocorre em "blanket" de óxido de tório, no começo da vida do "core". A fuga do "blanket" metálico aumenta devido a formação de U-233. Ao final do ciclo 9 atinge o mesmo valor que no caso de "blanket" de óxido de urânio.

Está fora dos objetivos deste trabalho chegar a uma completa otimização para "blankets" de tório metálico, pois o projeto detalhado e o critério de custos do fabricante do reator precisam ser conhecidos. Entretanto, de acordo com os cálculos apresentados, pode-se concluir que "blankets" de tório metálico oferecem incentivos econômicos os interessantes, da ordem de U\$ 1.000.000 de dólares por ano para cada reator de 1 000 MWe, entre a introdução de reatores rápidos superconversores no mercado e o fim deste milênio.

## ABSTRACT

A comparative study of L M F B R and G C F R with blankets of metal thorium and  $UO_2$  has been performed. It has been investigated the power distribution, U-232 production penalty and an economic comparison between these two types of blankets.

Metal thorium offers an economic advantage of U\$ 1.000.000 dollars per year for a 1 000 MWe plant as compared to  $UO_2$ .

## RESUMÉ

On présente ici une étude comparée des réacteurs L M F B R et G C F R avec couverture de thorium métallique et  $UO_2$ . Sont inclus aussi les résultats de la distribution de puissance, les pénalités imposées pour la production de  $^{232}U$  et la comparaison économique des 2 types de couverture.

Le thorium métallique on comparé avec  $UO_2$  permet un bénéfice économique de U\$ 1.000.000 de dollars par an pour une Centrale de 1 000 MWe.

## BIBLIOGRAFIA

- (1) Kästen, P. N., L. L. Bennet and W.E. Tomas, "An Evaluation of plutonium Use in High Temperature Gas Cooled Reactors", ORNL-TM-3525 (Oct. 1971).
- (2) Lang, L. W., "Power Cost Reduction by Crossed - Progeny Fueling of Thermal and Fast Reactors", Nuclear Applications, 5, 302-310 (Nov. 1968).
- (3) Leghet, R. D. and N. S. Kemper, "Status of Thorium Technology", BNWL-861 (1968).
- (4) Wood, P. J. and M. J. Driscoll, "Assessment of Thorium Blankets for Fast Breeder Reactors", COO-2250-2; MITNE-148 (July 1973).