



SIMULAÇÕES TERMO-HIDRÁULICAS DO NÚCLEO DO REATOR RÁPIDO EXPERIMENTAL

MÁRCIO DA SILVEIRA LUZ
FRANCISCO ANTONIO BRAZ FILHO
EDUARDO MADEIRA BORGES
CTA-IEAV-ENU



SUMÁRIO

O estudo do núcleo e do desempenho do combustível metálico do EFR, sob o ponto de vista termo-hidráulico, foi executado com o código COBRA IV-1. Mostrou-se com isto, a boa segurança deste reator e a viabilidade do uso do combustível metálico para o EFR.

1. INTRODUÇÃO

Com o objetivo de se assegurar o suprimento de combustível nuclear utilizando-se as grandes reservas nacionais de tório, pensa-se em se desenvolver reatores regeneradores rápidos ("fast breeder reactors"), que seriam usados para converter Th-232 em U-233 [1], [2].

Para se adquirir "know-how" neste tipo de reatores, planeja-se a construção de um reator rápido experimental (EFR). Neste estudo são impostas duas condições [3]: seriam usados feixes de combustível e seria perseguido um fluxo máximo de nêutrons na faixa de 10^{15} n/cm².s, ordem de grandeza comumente observada nos reatores rápidos de potência.

Com o propósito de se buscar um projeto mais econômico e seguro, pensa-se na utilização de combustível metálico no EFR. O interesse sobre este tipo de combustível vem aumentando devido ao seu excelente desempenho demonstrado, em particular, no "Experimental Breeder Reactor II" (EBR II) [4].

Neste trabalho propõe-se analisar o comportamento do núcleo e o desempenho do combustível metálico do EFR sob o ponto de vista termo-hidráulico. As simulações, nos regimes estacionário e transitório, são feitas com o uso do código COBRA-IV-1 [5].

2. COMPARAÇÃO DOS COMPORTAMENTOS DOS COMBUSTÍVEIS ÓXIDO E METÁLICO

As propriedades físicas mais desejáveis para os combustíveis dos reatores rápidos são: alto "burnup" e alta potência linear, o que implica numa alta condutibilidade térmica e num alto ponto de fusão.

O combustível sob a forma de óxido pode ser usado em altos "burnups" (da ordem de 100 MWd/kg), tem alto ponto de fusão (~2750°C) e possui um espectro neutrônico mais suave que o metálico.

O combustível metálico é mais vantajoso que o óxido no que diz respeito à razão de conversão, ao tempo de dobramento e à condutibilidade térmica, que são maiores. Entretanto, como para este caso o espectro neutrônico é mais duro que o do óxido, o efeito Doppler é menor, o que é desfavorável para as condições de segurança inerente. Além disto, o metal, na sua forma pura, só pode ser usado para baixos "burnups" devido aos efeitos de inchamento ("swelling").

Pode-se pensar também no uso de combustíveis sob as formas de nitretos e carbetos, que têm propriedades intermediárias às do óxido e metal. Admite-se que tenham um bom potencial para utilização, mas pouco se conhece da sua termo-hidráulica.

O óxido foi o combustível mais indicado para IFRs, até que, com o desenvolvimento de ligas metálicas com Zr, Nb e outros metais, desenvolveu-se materiais com os quais se pode atuar com altos "burnups", da ordem de 100 MWd/kg.

Não se pode fazer uma comparação efetiva entre os comportamentos termo-hidráulicos dos combustíveis óxido e metálico utilizando-se o EFR, pois, sob o ponto de vista neutrônico, este poderia não atingir a criticidade com óxido [3].

Na cadeia do desenvolvimento do Reator Regenerador Binário (BBR) está previsto o projeto do LMR - um pequeno reator refrigerado a sódio cujo combustível é a liga Pu-Th-Zr, cujos objetivos são: (i) gerar combustível para ser utilizado no BBR, (ii) adquirir tecnologia e (iii) demonstrar as boas qualidades de segurança inerente e facilidade de operação do conceito do reator binário [6].

O reator LMR, que pode ser carregado com combustível na forma de óxido quanto na de liga metálica, foi o usado para as comparações termo-hidráulicas, nas quais foram mantidas as mesmas dimensões geométricas.

Os dados utilizados na simulação do LMR foram: uma potência de 1000 MW_t, feixes com 217 varetas, potência linear de 226 W/cm, temperatura de entrada do sódio 370°C e de saída 537°C, o diâmetro da vareta considerada foi 8 mm e a razão passo/diâmetro: 1,14 [6].

Verifica-se que, apesar do perfil de temperaturas do refrigerante ser praticamente a mesma para ambos os casos, a curva de temperatura na vareta é bem mais suave para o metal, como mostra a figura 1. Deve-se notar também

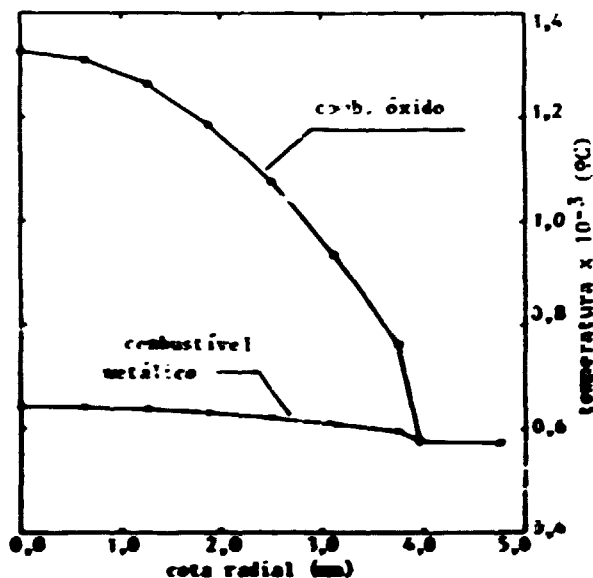


Figura 1. Perfil radial de temperaturas na vareta mais quente do LMR.

que, no que diz respeito à comparação entre as temperaturas máxima de operação e de fusão do material, ter-se-á uma maior margem de segurança utilizando-se óxido. No que diz respeito aos transitórios, a resposta térmica do combustível metálico é melhor, devido à sua maior condutibilidade térmica. Um outro ponto interessante nesta confrontação é que, no caso do combustível metálico, as temperaturas-limite de projeto são as do combustível, ao passo que, no do óxido, são as do encamisamento.

3. MODELAGEM DO NÚCLEO DO EFR

Após a efetuação da comparação dos comportamentos termo-hidráulicos dos combustíveis óxido e metálico, passa-se à efetiva simulação do núcleo do EFR, que, por simplicidade, vai ser admitido no início do seu ciclo de operação, o que desobrigará da análise do envoltório.

Os valores adotados para entrada no COBRA-IV-1, são os listados abaixo [3]:

- Dados geométricos:
 - nº de varetas por feixe: 19
 - diâmetro da vareta: 7,9mm
 - diâmetro do espaçador: 1,4mm
 - altura ativa do núcleo: 254,0mm
- Materiais:
 - combustível: liga Pu(90%) - Zr(10%)
 - refrigerante: sódio
 - encamisamento: aço SAE 316 (inox)
- Dados operacionais:
 - potência: linear, com um valor médio de 225.5W/cm
 - temperatura de entrada: 315°C
 - temperatura de saída: 415°C
 - vazão: 30 kg/s

A figura 2 mostra a disposição do núcleo do EFR e o feixe utilizado é visto na figura 3. Deve ser mencionado também, como uma peculiaridade, do uso de combustível metálico que a folga entre a vareta e o encamisamento (o "gap") é preenchida com sódio, proporcionando um melhor contato térmico.

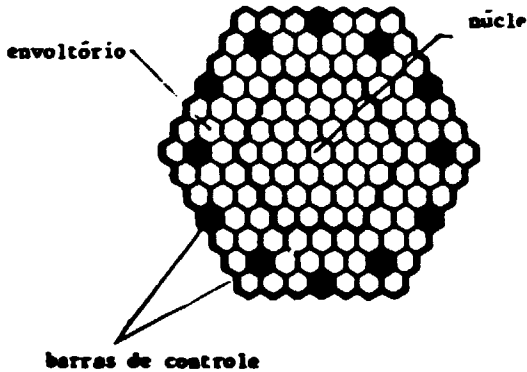


Figura 2. Núcleo do EFR

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Estado Estacionário

Verifica-se que a velocidade média calculada para o sódio foi de 1,3m/s (4 ft/s), bem abaixo dos valores usualmente tolerados, de até 9m/s [7]. Isto implica em que, no caso de uma parada de bomba, quando fica presente unicamente a convecção natural, o reator sofreria o mesmo com a evolução da temperatura decorrente da decréscimo do vazão.

Na figura 4 mostra-se o empastamento das temperaturas de saída do refrigerante em todos os subcanais. Deve-se notar que, como se está trabalhando com uma distribuição média de potência, há uma certa oscilação de

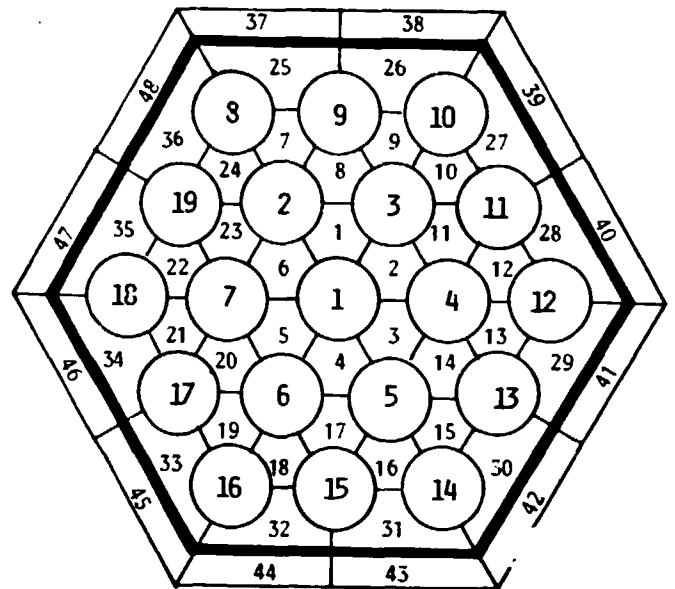


Figura 3. Geometria utilizada pelo COBRA-IV-1

carai quente. Mesmo assim, é fácil ver que a segurança quanto a ebulição do sódio (883°C) é grande.

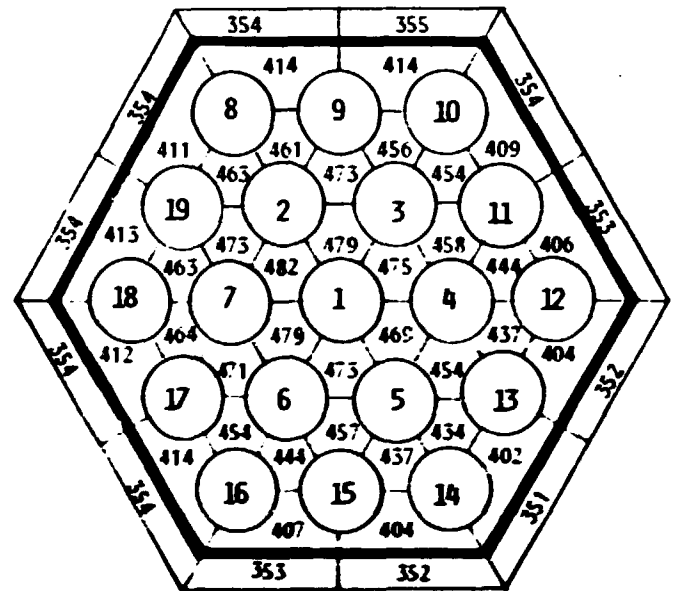


Figura 4. Temperaturas (°C) do refrigerante na saída do feixe.

A figura 5 mostra o perfil radial de temperatura no combustível das barras 1, 2 e 8 da figura 2. Como a temperatura central da barra mais quente é de 560°C, fica-se aqui também, com uma boa segurança, uma vez que a fusão desta liga Pu-Zr se dá a 830°C [8].

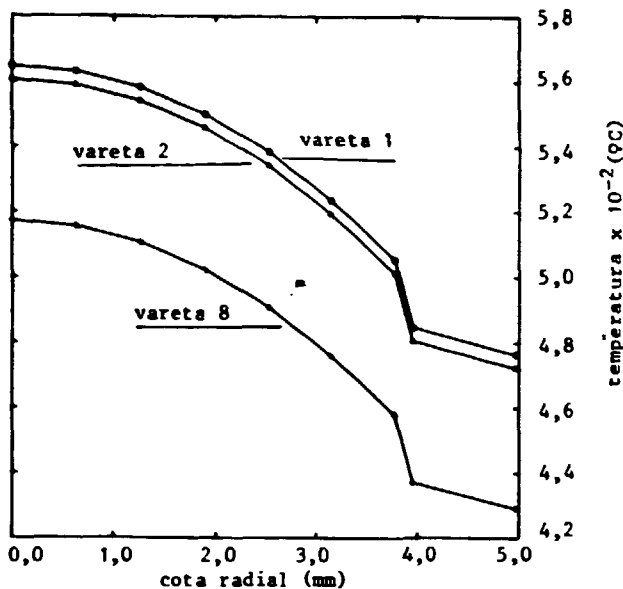


Figura 5. Perfil radial de temperaturas nas varetas do EFR.

Transitórios

Vão ser simulados nesta primeira fase de estudos unicamente os transitórios protegidos de sobrepotência e sub-resfriamento.

Num trabalho anterior, [9], modelou-se estes acidentes simulando-se o comportamento do primário com o uso do código NALAP. Agora, com o uso do COBRA-IV-1 vai-se analisar, em detalhe, o comportamento do núcleo do EFR sob as mesmas condições já trabalhadas na referência [9].

Transitórios de Sobrepotência

Na modelagem destes transitórios foram adotadas rampas de potência, retiradas da referência [9] e idas na figura 6, denominadas:

- rampa A: aquela em que a potência dobra em 0,25 s.
- rampa B: aquela em que a potência quadruplica em 0,50 s.

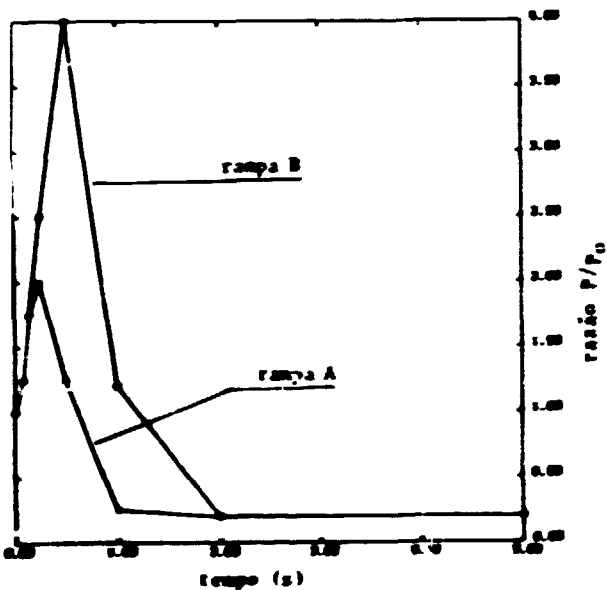


Figura 6. Curvas adimensionais da potência no transiente de sobrepotência.

No acidente de rampa A, a temperatura da linha central da barra mais quente chega ao seu valor máximo, 6149C, aos 0,48 s, como se vê na figura 7, atestando a rápida resposta do combustível ao transitório. O combustível também resistiu à rampa B, quando sua temperatura máxima se manteve abaixo da de fusão (8309C).

A temperatura máxima alcançada pelo refrigerante nos dois transitórios foi de 6559C, como é exibido pela figura 7. Como este valor é bem menor que a temperatura de ebulição do sódio (8839C), verifica-se que o comportamento do refrigerante não é limitante neste tipo de transitório.

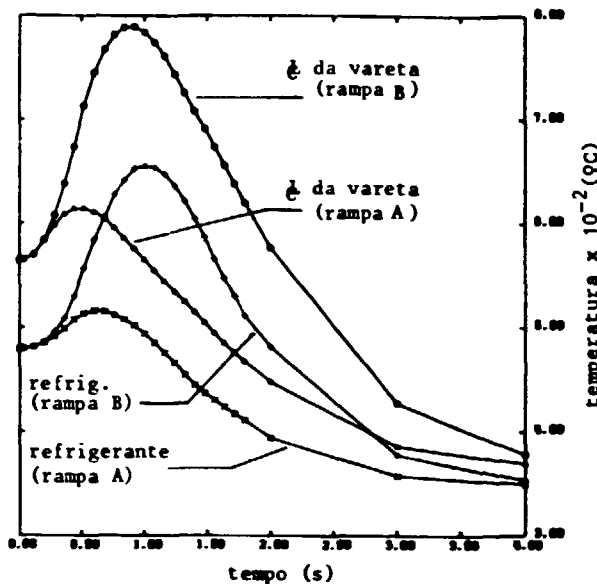


Figura 7. Curvas de temperaturas na saída do núcleo (trans. de sobrepotência)

Transitório de Sub-resfriamento

Dentre as possibilidades de transitórios de perda de refrigeração, escolheu-se um acidente de parada de bomba com um atraso de 0,9 s para a inserção das barras de controle, pois é um dos transientes protegidos mais críticos no caso de um reator do tipo piscina, como o EFR, [7].

A figura 8 mostra as curvas de potência e vazão que foram obtidas da referência [9].

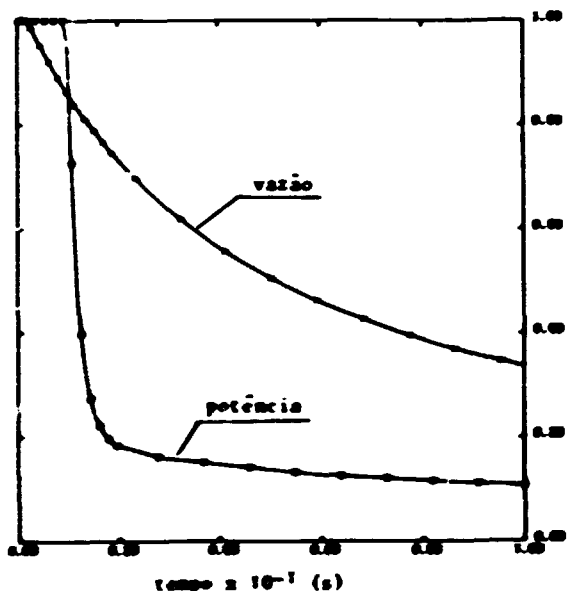


Figura 8. Curvas adimensionais no transitório de sub-resfriamento (ref. 9).

Como se vê da figura 9, o acidente representado a apresentou baixas elevações de temperatura tanto na vareta quanto no refrigerante. Notar-se-á que, em se tratando do elemento quente, as varetas encontrar-se-ão a temperaturas mais altas, mas, mesmo assim, é fácil ver que o núcleo pode trabalhar bem mais quente.

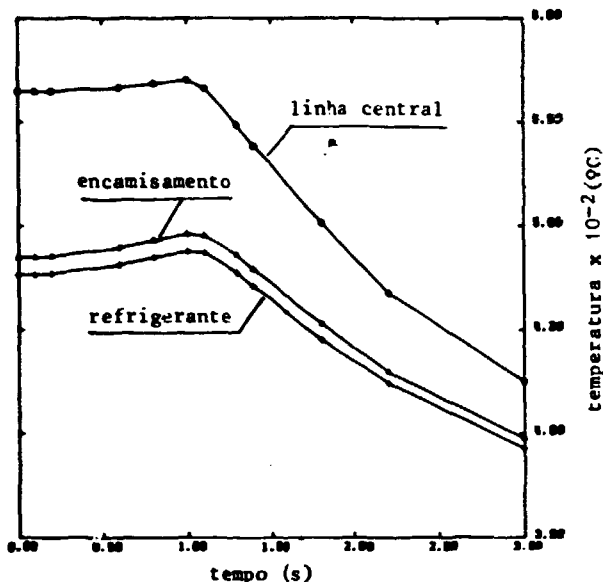


Figura 9. Temperaturas na vareta mais quente (transitório de sub-resfriamento).

5. CONCLUSÃO

Este é um trabalho preliminar. Um estudo mais detalhado será feito quando se concluir a análise neutrônica e se obtiver dados mais precisos sobre a distribuição de potência no núcleo.

Mesmo tendo em mente a restrição acima, foi plenamente aprovado o uso de combustível metálico sob a forma de liga Pu90-Zr10 no EFR, nas situações investigadas.

Na simulação do transitório de sobrepotência admitiu-se uma inserção de reatividade de 2 \$/s. Na rampa A esta durou 0,25s e na B 0,50s. Deve ser dito que esta reatividade pode ser virtualmente considerada como um limite de projeto [7]. Nos transientes estudados ficou evidenciado a excelente resposta térmica do combustível metálico.

Nos reatores experimentais procura-se simular situações de funcionamento que se aproximem o mais possível das dos reatores de potência. Devido ao pequeno porte do EFR, 5 MW_t, ficou-se com condições de operação eminentemente seguras, com: potência linear, temperatura de saída e velocidade do refrigerante com valo-

res nominais baixos mesmo quando comparados com outros projetos de reatores experimentais [7]. Isto permite que o EFR possa suportar transitórios mais violentos que os aqui investigados.

Como o código COBRA-IV-1 não é indicado para se simular convecção natural, [10], não se pode analisar o comportamento do EFR sob o transitório não protegido de sub-resfriamento, o que completaria esta fase de estudos.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Ishiguro, Y.; Konuk, A.; Gouvêa, A.S. - "Reatores Regeneradores para o Código do Tório" - LEA/NT-002/82.
- [2] Ishiguro, Y. - "Algumas Considerações Básicas sobre o Projeto Nuclear Brasileiro" - ITA eng., 6(3), pp 62 - 5 - 1975.
- [3] Ishiguro, Y. - Comunicação Privada.
- [4] Walters, L.G.; Seidel, B.R.; Kittle, J.H. - "Performance of Metallic Fuels and Blankets in Liquid Metal Fast Breeder Reactor" - Nucl. Tech., 65; 179 - 231 - 1983.
- [5] Wheeler, C.L.; Stewart, C.W.; Cena, R.J.; Rowe, D.S.; Sutey, A.M. - "COBRA-IV-1: An Interim version of COBRA for Thermal-hydraulic Analysis of Rod Bundle Nuclear Fuel Elements and Cores" - BNWL - 1962, UC - 32 - 1976.
- [6] Ishiguro, Y. & Nascimento, J.A. - "On Small Liquid Metal Reactors" - a publicar.
- [7] Tang, Y.S.; Coffield Jr, F.J.; Markley, R.A. - "Thermal Analysis of Liquid - Metal Fast Breeder Reactor" - ANS, 1978.
- [8] Rand, M.H. et al Plutonium: Physics-chemical Properties of its Compounds and Alloys. ATOMIC ENERGY REVIEW 4 (1): 5-712, 1965. June. Special Issue.
- [9] Luz, M.S.; Borjas, E.M.; Braz Filho, F.A. - "Análise de Transitórios em Reator Rápido Experimental com o Uso do Código NALAP". Trabalho submetido ao VIII ODEE.
- [10] George, T.L.; Basore, K.L.; Prather, W.A. - "COBRA-WC Model and Prediction for a Fast Reactor Natural Circulation Transient" - AIChE Symposium Series nº 189, vol. 76 - 1930.

SUMMARY

A study of the core and performance of metallic fuel of the experimental fast reactor, from the thermal-hydraulic point of view, was carried out employing the COBRA-IV-1 code. The safety characteristics of this reactor and the feasibility of using metallic fuel in EFR were demonstrated.