

ANÁLISE DE ACIDENTE DE INSERÇÃO DE REATIVIDADE EM REATORES DE PESQUISA DO TIPO PISCINA

- *• Antonio Carlos Iglésias Rodrigues
- * Antonio Teixeira e Silva
- * Eduardo Lobo Lustosa Cabral
- * Roberto Navarro de Mesquita
- * Mitsuo Yamaguchi
- ** Mauricio Genta Maragni

* Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares-IPEN/CNEN
Diretoria de Reatores
Travessa R, 400 - Cidade Universitária
05508-900 - São Paulo - SP
• e.mail: acirodri@net.ipen.br

** Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo
Av. Prof. Lineu Prestes, 2242
05508-900 - São Paulo - SP

RESUMO

Neste trabalho são analisados dois acidentes postulados de inserção de reatividade, considerados nesta categoria os mais limitantes para o reator tipo piscina IEA-R1 do IPEN-CNEN/SP operando a 5MW. Os cálculos foram desenvolvidos com o código PARET para os acidentes de "Queda de um Experimento" e "Retirada Incontrolada das Barras de Controle e Segurança. Os resultados obtidos demonstraram que nenhum limite de segurança é ultrapassado para esta categoria de acidente.

INTRODUÇÃO

Está sendo previsto para 1997 o início da operação do reator de pesquisas IEA-R1, situado no IPEN-CNEN/SP, a 5 MW de potência (atualmente ele opera a 2 MW). Para obtenção da licença de operação a 5 MW de potência é necessária a entrega do Relatório de Análise de Segurança (RAS).

O capítulo 16 do RAS trata da Análise dos Acidentes Postulados do IEA-R1. Dentre os acidentes a serem analisados destacam-se os acidentes de inserção de reatividade no núcleo, que requerem uma cuidadosa análise, desde que podem ultrapassar os limites de segurança estabelecidos para este reator.

A análise de acidentes de reatividade em reatores de pesquisa é usualmente feita com o código PARET [1], que tem comprovado através de diversos estudos [2,3], a sua adequabilidade para este tipo de cálculo.

Este trabalho mostra

os resultados obtidos no IPEN-CNEN/SP referentes à análise de acidentes de reatividade no IEA-R1 com o código PARET.

O CÓDIGO PARET

O PARET é capaz de prever o curso e as conseqüências de acidentes de inserção de reatividade e de perda de vazão em reatores não pressurizados, através de uma análise que considera os efeitos acoplados de termo-hidráulica e neutrônica no núcleo e um contínuo efeito de realimentação de reatividade. Ele simula acidentes em reatores com circulação forçada tanto no sentido ascendente como no sentido descendente, bem como acidentes durante o regime de circulação natural.

As equações de cinética são resolvidas através do modelo pontual, que é aplicável em casos de pequena inserção de reatividade e em núcleos pequenos. A condução de calor através do elemento combustível é considerada unidimensional. As condições de contorno nem sempre conseguem acompanhar o comportamento real do transiente e podem levar a resultados não confiáveis em transientes em que ocorre ebulição.

Os cálculos hidrodinâmicos são baseados no Modelo Integral do Momento, no qual as propriedades do fluido não dependem da pressão local. No PARET este modelo foi modificado de forma a fazer com que a

densidade do fluido dependa da pressão. Ainda assim, isto pode limitar a precisão da pressão transiente e da distribuição de escoamento quando se tem grande quantidade de vazios. O modelo para a determinação da fração de vazio tem a restrição de possuir parâmetros que dependem das condições físicas e da situação em que ele é aplicado e que nem sempre podem ser determinados com grande precisão.

O PARET permite simular o transiente de passagem para o regime de convecção natural em reatores de pesquisa com refrigeração forçada no sentido descendente. Esta transição tem início quando a força de empuxo (devido à diferença de densidades) no sentido ascendente sobre o fluido refrigerante for maior que a força exercida no refrigerante (devido à bomba) no sentido descendente.

MODELAGEM DO REATOR IEA-R1

Para a simulação do núcleo do reator IEA-R1 foi considerada a configuração com vinte e cinco elementos combustíveis [4], sendo quatro destes também de controle conforme mostrado na Figura 1. Este arranjo foi dividido em três canais concêntricos (canal frio, canal médio e canal quente) considerados de fora para o centro do núcleo respectivamente.

Cada elemento combustível é constituído por dezoito placas planas combustíveis dispostas paralelamente [5]. Já os elementos combustíveis de controle e segurança possuem doze placas de combustível na região central e duas regiões vazias nas extremidades para receber as barras absorvedoras.

A placa combustível é do tipo dispersão U_3O_8 -Al com 19,9% em peso de enriquecimento em U_{235} , e revestida de alumínio.

Este elemento foi dividido em vinte nós axiais.

Alguns parâmetros do núcleo considerados nas simulações estão apresentados na Tabela 1.

Os principais dados de projeto utilizados nas simulações são:

- **Potência de operação:** 5,5 MW (10% maior que a nominal)
- **Vazão volumétrica:** 3000 GPM \cong 1,416 m³/s
- **Reatividade máxima inserida por um experimento:** -550 pcm (10% maior que a nominal)
- **Taxa de inserção de reatividade por barra:** 35 pcm/s (75% maior que a nominal)

Os demais dados de entrada do código foram obtidos de desenhos de projeto e especificações técnicas do reator, já considerando as modificações a serem realizadas para o aumento de potência do reator.

Da lista dos acidentes de inserção de reatividade, apresentada a seguir, que devem ser analisados para o reator IEA-R1, os limitantes são a queda de um experimento (do item 10) e a retirada incontrolada das barras de controle e segurança (do item 4). Eles devem ser

analisados quantitativamente, sendo para os demais suficiente uma análise qualitativa.

Lista dos acidentes:

1. Criticalidade durante manuseio do combustível
2. Acidente de partida
3. Falha no elemento individual de controle ou no seu mecanismo
4. Falha no mecanismo de acionamento do elemento individual de controle ou no seu sistema
5. Falha de outros dispositivos de controle
6. Posições desbalanceadas dos elementos
7. Falha ou colapso de componentes estruturais
8. Inserção de água fria
9. Mudanças no moderador
10. Influências de experimentos
11. Reatividade de desligamento insuficiente
12. Ejeção inadvertida dos elementos de controle
13. Erros de manutenção com dispositivos de reatividade

Figura 1: Configuração do núcleo do reator IEA-R1 com 25 elementos combustíveis (EC's)

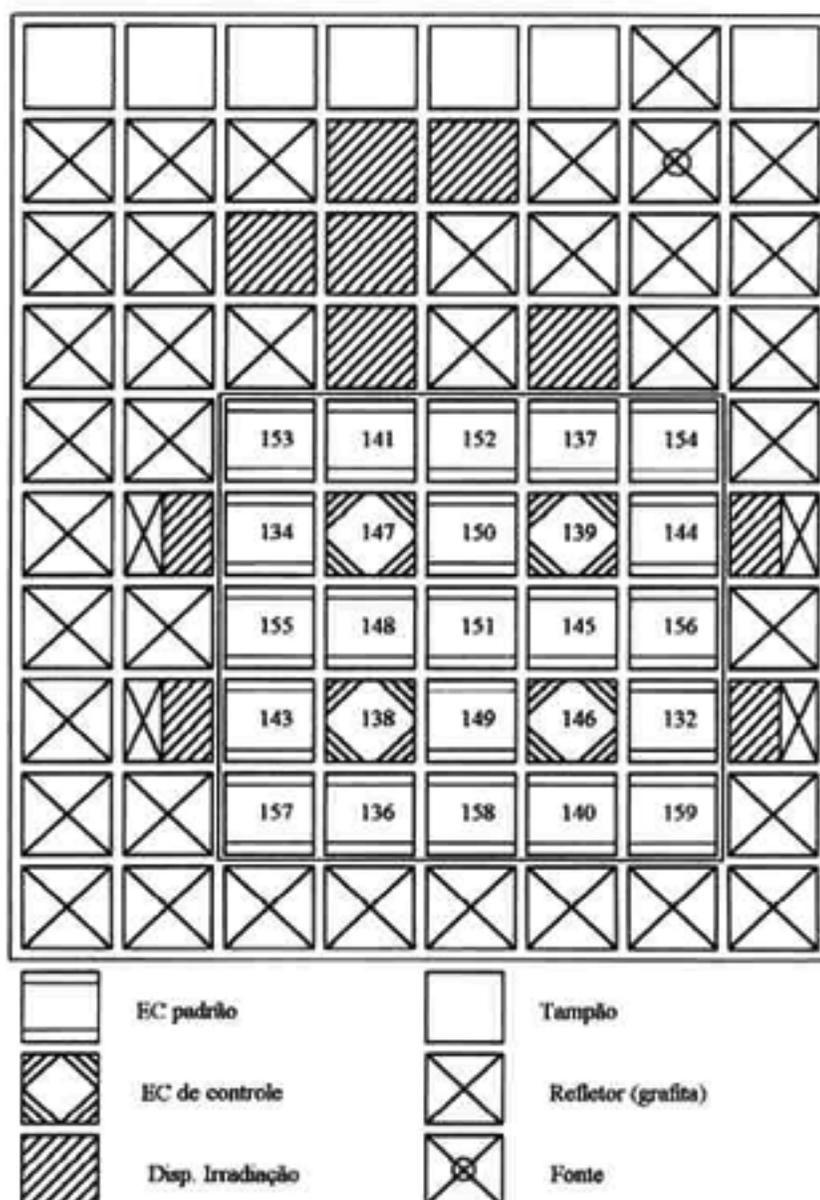


Tabela 1: Coeficientes de Reatividade e Parâmetros Cinéticos do núcleo de 25 elementos

β_{ef}	$\Lambda(\mu s)$	Doppler (pcm/°C)	Vazio (pcm/%vazio)	Temperatura do Moderador (pcm/°C)	Densidade do Moderador (pcm/°C)
0,00763	57,90	-1,93	-235,09	-13,18	-12,29

SIMULAÇÃO DOS TRANSIENTES

Estes acidentes de inserção de reatividade são assumidos ocorrer com o reator crítico a uma potência de 5,5 MW (cálculo conservativo). Para os dois acidentes simulados foi considerado um estado estacionário de 10s, com a finalidade de se obter a estabilidade numérica das variáveis.

- **Queda de um experimento:**

Na simulação deste acidente a inserção de reatividade ocorre a uma taxa de 550 pcm/0,5s ou 0,7216\$/0,5s. Este valor é 10% maior que o limite máximo admissível para o reator.

O desligamento do reator ocorre quando a potência atinge 110% do valor inicial (em estado estacionário), ou seja, 6,05 MW e com tempo de atraso de 200ms.

A Tabela 2 apresenta os principais resultados obtidos.

- **Retirada incontrolada das barras de controle e segurança:**

Nesta simulação foi assumida a condição mais crítica possível para este tipo de acidente, que seria a falha nos mecanismos de acionamento das três barras de segurança e da barra de controle, retirando-as simultaneamente.

Foi considerado que cada barra insere 35 pcm/s durante a retirada. Portanto, para as quatro barras é inserido 140 pcm durante o primeiro segundo.

Também foi obtido, através de cálculos preliminares, que esta inserção deve ser considerada três segundos após o início do acidente, no máximo. Isso porque este é o tempo suficiente para que o reator tenha sua potência elevada atingindo o limite de 6,05 MW e desencadeie o seu desligamento após 200ms de atraso.

Os principais resultados obtidos para esta simulação são apresentados na Tabela 3.

As Figuras de 2 a 7 apresentam os resultados computacionais obtidos na simulação da queda de um experimento, enquanto as Figuras de 8 a 13 os resultados da simulação da retirada das barras de controle e segurança.

Tabela 2: Simulação da Queda de um Experimento

	CANAL FRIO	CANAL MÉDIO	CANAL QUENTE
Potência máxima (MW)	6,81	6,81	6,81
Temperatura máxima no combustível (°C)	62,3	70,9	74,7
Temperatura máxima no revestimento (°C)	59,2	66,5	69,7
Temperatura máxima no refrigerante (°C)	45,8	47,6	48,8

Tabela 3: Simulação da Retirada Incontrolada das Barras

	CANAL FRIO	CANAL MÉDIO	CANAL QUENTE
Potência máxima (MW)	6,29	6,29	6,29
Temperatura máxima no combustível (°C)	60,7	68,8	72,2
Temperatura máxima no revestimento (°C)	57,9	64,7	67,7
Temperatura máxima no refrigerante (°C)	45,4	47,0	48,2

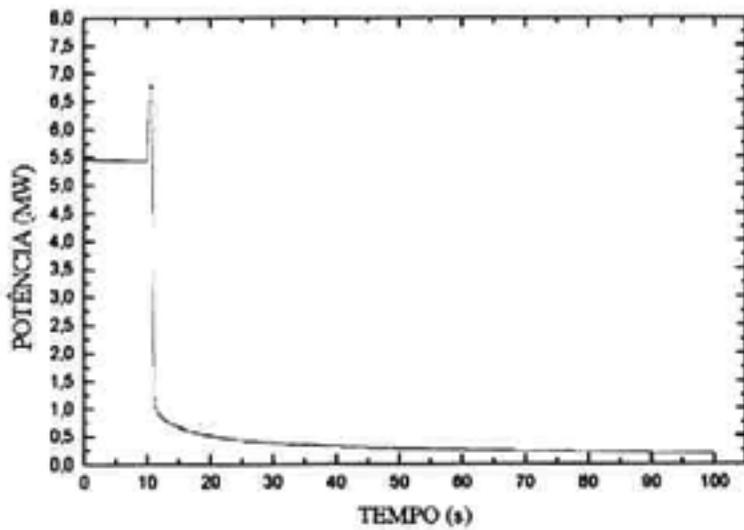


Figura 2: Variação temporal da potência.

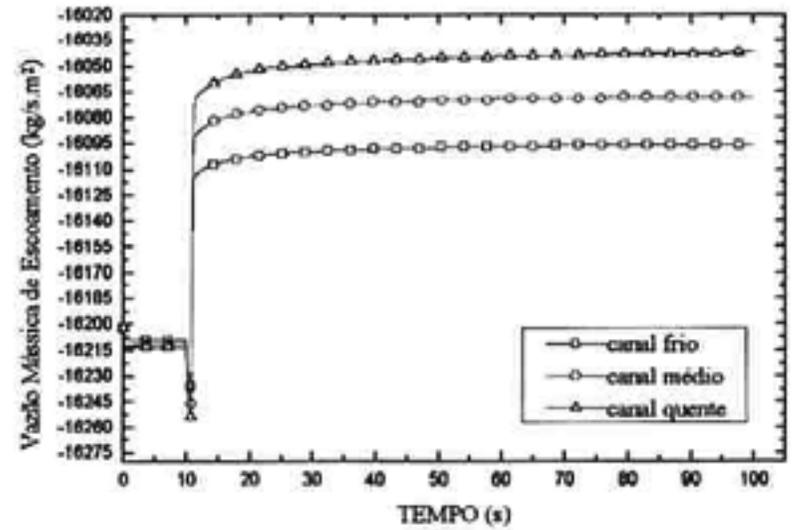


Figura 4: Variação temporal da vazão mássica.

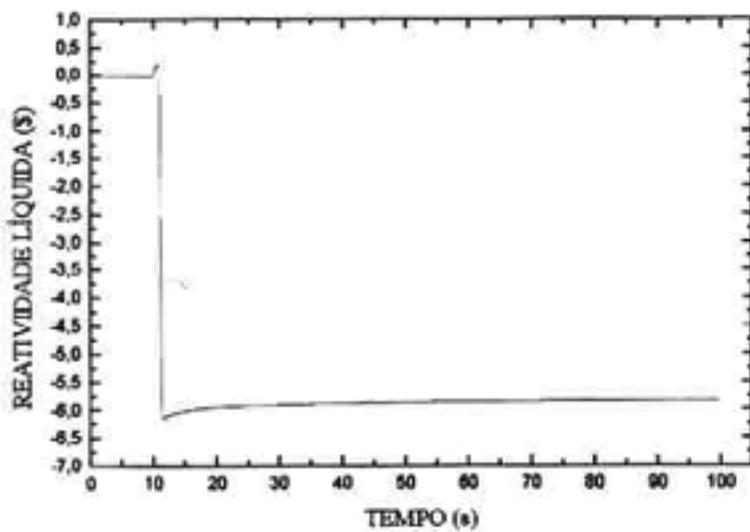


Figura 3: Variação temporal da reatividade.

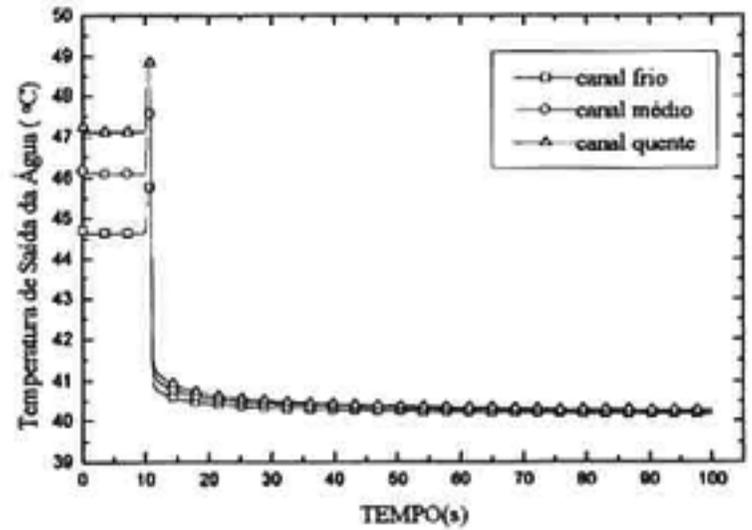


Figura 5: Variação temporal da temperatura de saída da água.

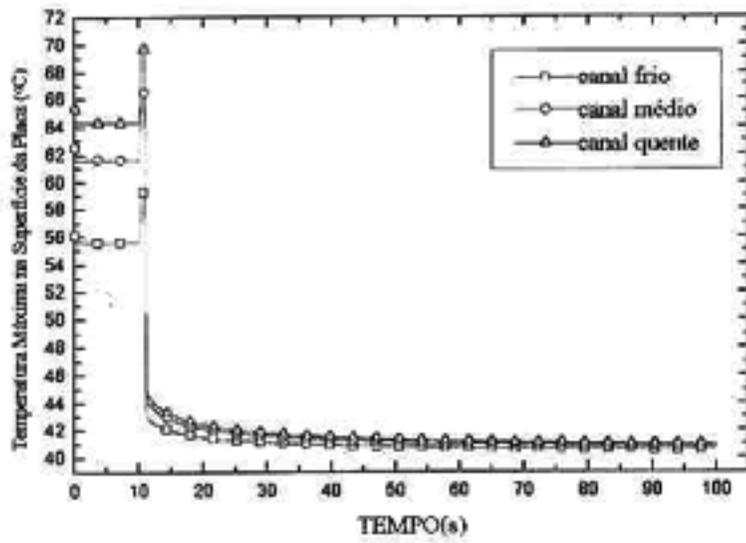


Figura 6: Variação temporal da temperatura na superfície da placa.

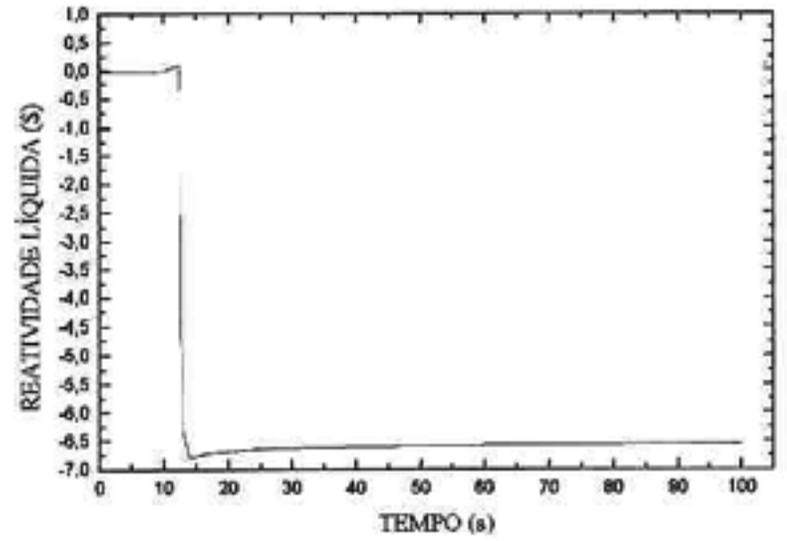


Figura 9: Variação temporal da reatividade.

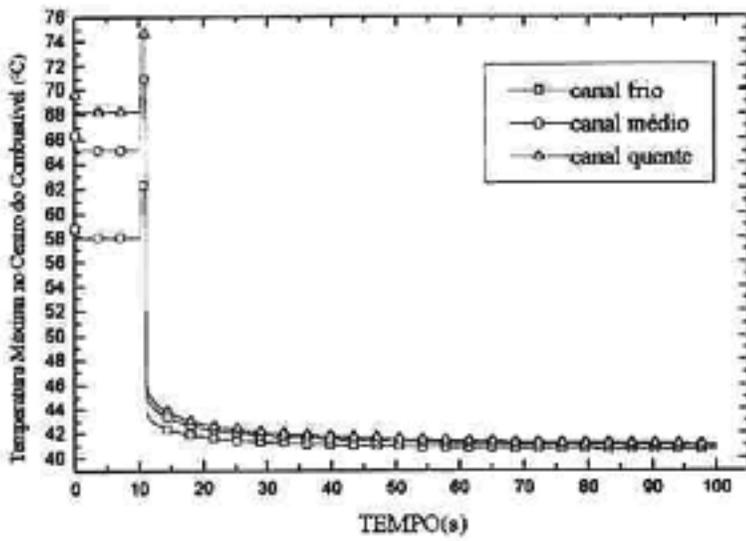


Figura 7: Variação temporal da temperatura máxima no centro do combustível.

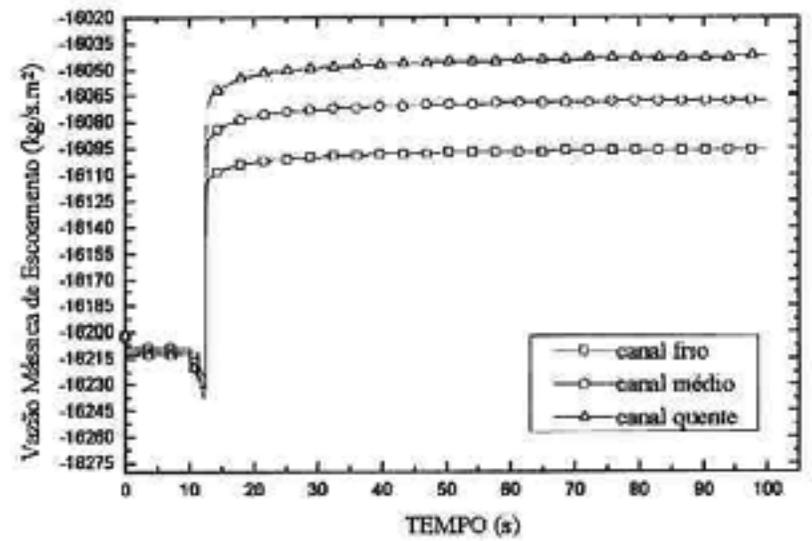


Figura 10: Variação temporal da vazão mássica.

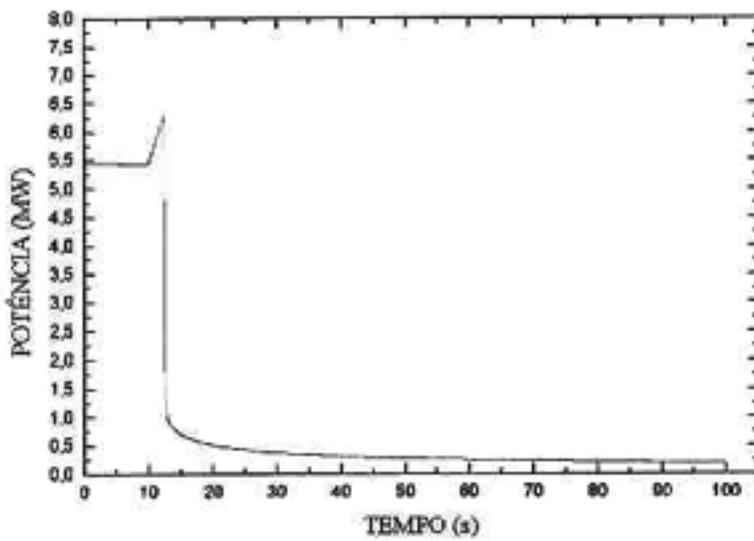


Figura 8: Variação temporal da potência.

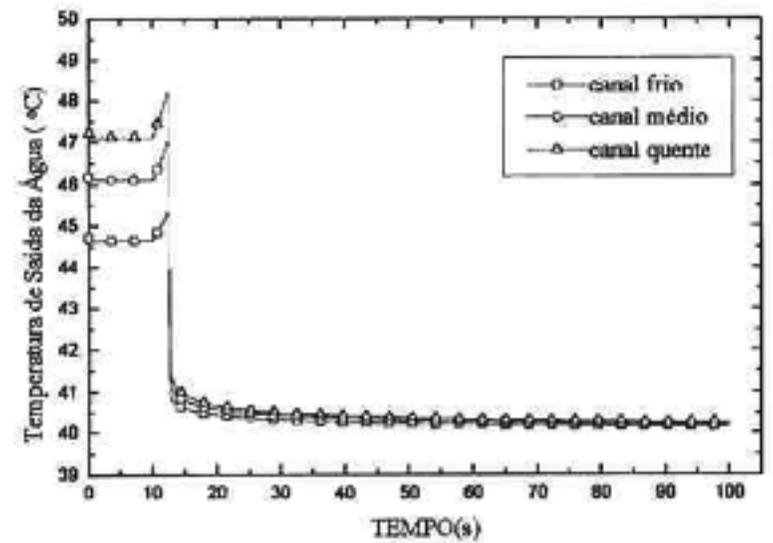


Figura 11: Variação temporal da temperatura de saída da água.

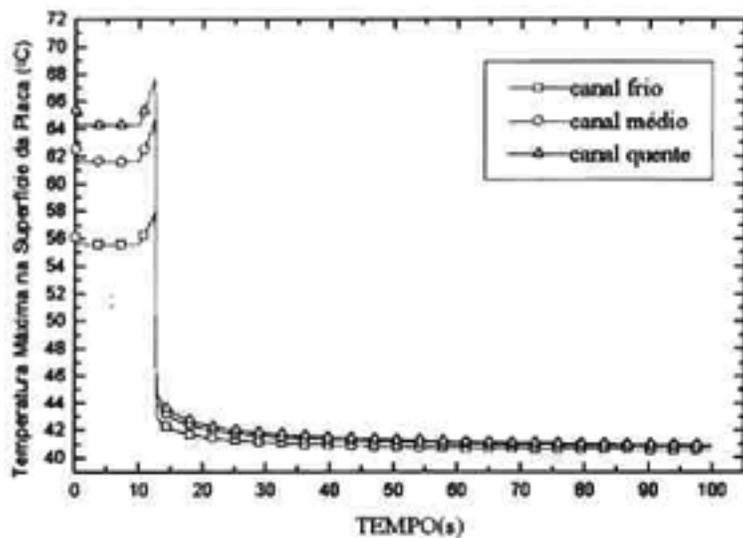


Figura 12: Variação temporal da temperatura na superfície da placa.

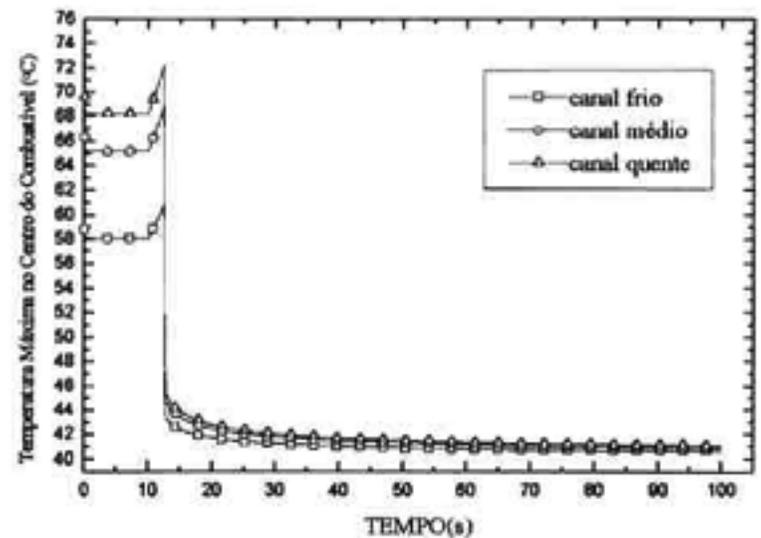


Figura 13: Variação temporal da temperatura máxima no centro do combustível.

DISCUSSÕES DOS RESULTADOS

Para a simulação da queda de um experimento (primeira simulação) a máxima potência atingida pelo núcleo foi 6,81 MW, pouco maior que a obtida na simulação da retirada incontrolada das barras (segunda simulação), de 6,29 MW. As temperaturas da primeira simulação (Tabela 2) também foram sensivelmente maiores que a da segunda simulação (Tabela 3), respectivamente para cada canal. Este fato é devido unicamente à taxa de inserção de reatividade do primeiro acidente simulado ter sido maior que a do segundo.

Nestes dois acidentes simulados não ocorreu mudança de fase no refrigerante, pois a máxima temperatura foi menor que a temperatura de ebulição do refrigerante (por volta de 110°C). Também foi mantida a integridade física dos elementos combustíveis graças às baixas temperaturas alcançadas.

CONCLUSÕES

A modelagem do núcleo do reator IEA-R1 foi, na medida do possível, elaborada de forma a representar fielmente o que ocorreria com o núcleo durante os acidentes considerados. Também, levando-se em conta que as simulações foram executadas com os principais dados de entrada superestimados (como potência de operação do reator e reatividade inserida), podemos considerar os resultados conservativos e válidos para o processo de licenciamento do aumento de potência do reator IEA-R1.

REFERÊNCIAS

[1] Obenchain, C.F. **PARET - A Program for the Analysis of Reactor Transients.** Idaho Operations Office, 1969. (IDO-17282).

[2] **Research Reactor Core Conversion Guidebook.** Volume 3: Analytical Verification, 1992. (IAEA-TECDOC-643).

[3] Maragni, M.G. e Silva, A.T. **Verificação de Códigos Termo-Hidráulicos para Análise de Acidentes de Reatores de Pesquisa** IN: IX Brazilian Meeting on Reactor Physics and Thermal-Hydraulics (Caxambú, M.G., Brazil, October 25-29, 1993), Minas Gerais, CDTN-CNEN/MG, 1993, p.393-7.

[4]. Yamaguchi, M. **Análise Neutrônica do Núcleo do Reator IEA-R1 para 5MW** Relatório n° de Projeto: PSI.REN.IEAR1.002 e n° do Documento: RELT.002.R00, 05/1996.

[5] Maiorino, J.R., Perrotta, J.R., Kosaka, N. e Silva, A.T. **Atualização dos Cálculos da Configuração do Reator IEA-R1, Dados Padronizados** Relatório n° R410160021411-01-01, 01/1989.

ABSTRACT

The present paper describes the calculations for the two more limiting reactivity initiated accidents of the IPEN - CNEN / SP research reactor IEA-R1 operating at 5 MW. The simulation was made with the computer code PARET for the postulated accidents "Influence by Experiments" and "Control Drive or System Failure". The results have showed that no safety limit will be violated for this accident category