

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE RESFRIAMENTO POR ASPERSÃO PARA O REATOR IEA-R1 DO IPEN-CNEN/SP

Walmir Maximo Torres* e Benedito Dias Baptista Filho**

*IPEN-CNEN/SP
Caixa Postal 11049
05422-970, São Paulo, Brasil
e-mail: wmtorres@net.ipen.br

**IPEN-CNEN/SP
Caixa Postal 11049
05422-970, São Paulo, Brasil

RESUMO

Este trabalho apresenta a concepção e os experimentos programados para o desenvolvimento de um Sistema de Resfriamento de Emergência para o Reator IEA-R1, quando operando a 5 MW. Os dispositivos experimentais apresentados serão utilizados para medidas de distribuição de vazão por aspersão sobre o núcleo do reator e para definir parâmetros importantes ao projeto, tais como: quantidade e disposição dos aspersores, vazão e sua distribuição sobre o núcleo, além da determinação do máximo fluxo de calor possível de dissipar, com e sem o sistema de aspersão.

INTRODUÇÃO

Dentro de um plano de ampliação da produção nacional de radiofármacos, tanto em variedade quanto em quantidade, foram iniciadas em 1995 as atividades para o aumento da potência do Reator IEA-R1 do IPEN-CNEN/SP de 2 MW para 5 MW, além do aumento no tempo de operação contínua para 100 horas semanais.

Vários reatores de pesquisa existentes no mundo já passaram por reformas desse tipo [1,2], e para isso tiveram que reavaliar suas condições de segurança. Para garantir a integridade do núcleo em condições de acidente de perda de refrigerante, dependendo do projeto do reator, são necessários alguns sistemas de segurança adicionais como sistema de resfriamento de emergência e sistema anti-sifão, ou ambos.

Para o reator IEA-R1 está sendo desenvolvido um Sistema de Resfriamento de Emergência por Aspersão para atuar na eventualidade de um acidente de perda de refrigerante do reator que provoque o descobrimento do núcleo, com possíveis danos às placas combustíveis e consequente liberação de produtos de fissão para o ambiente.

CONCEITUAÇÃO DO SISTEMA

No evento de um acidente de perda de refrigerante do reator, as barras de segurança são acionadas, e o reator é desligado, deixando de gerar energia por fissão. Os produtos de fissão continuam gerando energia através de decaimento radioativo. A Fig. 1 mostra o comportamento genérico percentual, da potência de decaimento como função do tempo após o desligamento de um reator nuclear. Webster [3], baseado em dados experimentais, revela que, reatores tipo piscina de até 3 MW com combustível MTR, não requerem resfriamento de emergência, pois os baixos fluxos de calor devido ao decaimento, podem ser dissipados pelo ar sem elevações inseguras de temperatura. Para potências superiores é recomendada a adoção de medidas de segurança que envolvem a disponibilização de resfriamento por água.

Para um reator de 5 MW com 20 elementos combustíveis (18 placas combustíveis) e 4 elementos de controle (12 placas combustíveis), estima-se um tempo aproximado de 80000 s (~22 horas) após o desligamento, até que o núcleo possa ser resfriado pelo ar. Nesse instante, a potência de decaimento representa 0,7% da potência do reator, conforme mostrado na Fig. 1.

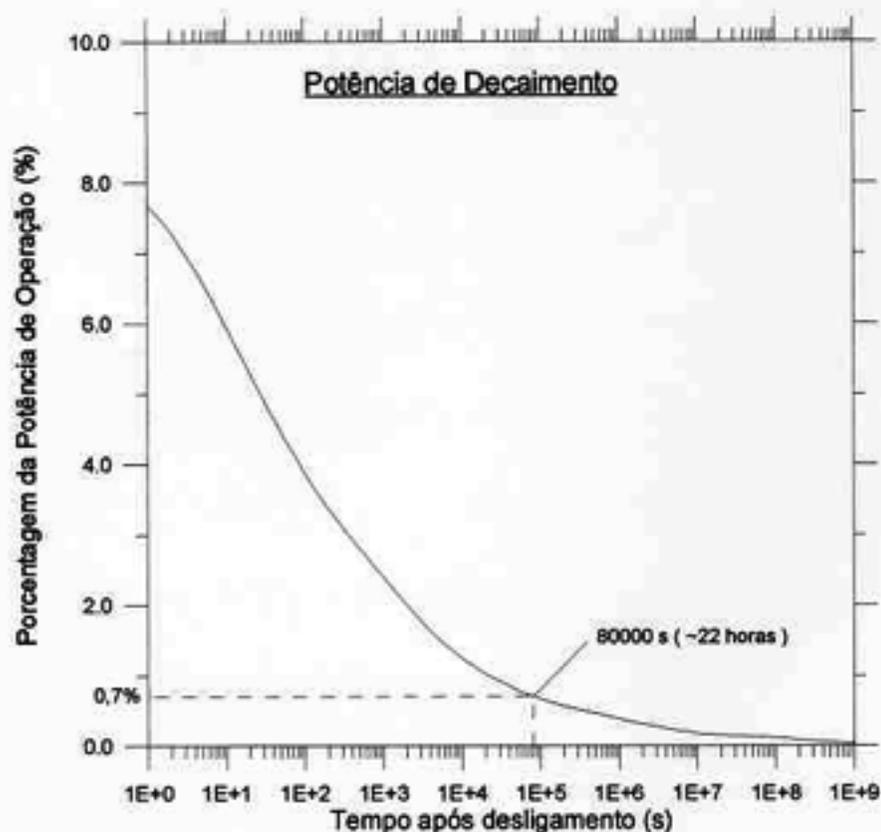


Figura 1. Curva de Potência de Decaimento

A distribuição da potência de decaimento no núcleo não é uniforme, existindo uma distribuição radial e axial. A Fig. 2 mostra, na forma normalizada, o perfil axial médio de potência, o perfil axial de potência no canal quente e a média no núcleo considerado. Esses perfis se mantêm durante o período de decaimento, porém os valores absolutos diminuem conforme a Fig. 1. O sistema de resfriamento de emergência deve ser dimensionado considerando-se os valores limites referentes ao canal quente.

O projeto e dimensionamento de sistemas desse tipo requerem informações sobre parâmetros como: a) a vazão de operação do sistema, decorrente do máximo fluxo de calor possível de remoção por aspersão; b) a distribuição da vazão sobre o núcleo, importante para garantir que todos os elementos combustíveis recebam a quantidade de água suficiente para assegurar a remoção do calor nele gerado; e, c) o tempo mínimo necessário de atuação do sistema, para retirar o calor de decaimento num período inicial do acidente, até níveis de fluxo de calor suficientemente baixos para que a refrigeração possa ocorrer por convecção natural do ar, parâmetro importante para o dimensionamento dos tanques de armazenamento de refrigerante. Normalmente esses sistemas possuem redundância de 100% na sua capacidade de resfriamento, daí a necessidade de mais que um tanque de armazenamento.

Para aumentar a potência do IEA-R1 à 5 MW, foi concebido o sistema mostrado na Fig. 3, que possibilitará o resfriamento do núcleo pela aspersão de água através de um distribuidor em forma de U, dotado de bicos aspersores, por um período mínimo de 22 horas, condição em que o fluxo de calor máximo no núcleo será inferior a $0,3 \text{ W/cm}^2$, suficientemente pequeno para a remoção por convecção do ar ambiente, conforme [4]. Esse sistema foi concebido de modo a dispor de dois ramos redundantes, cada um com 100% de capacidade conforme critérios de projeto.

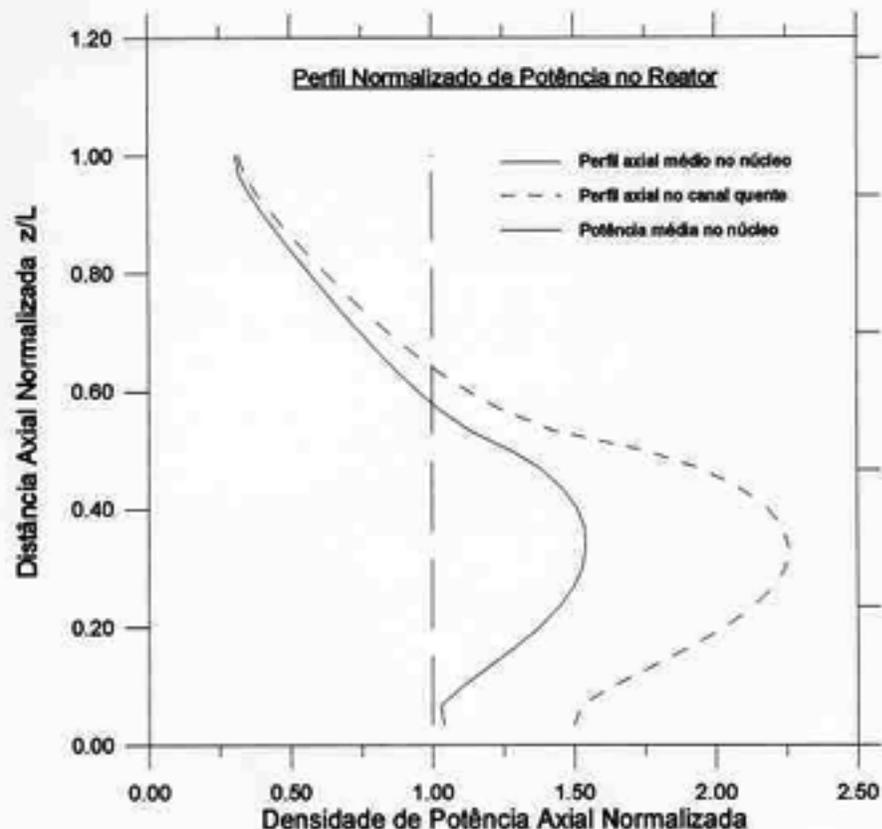


Figura 2. Perfil Axial de Potência no Reator

O sistema conta com 2 reservatórios de 75 m^3 sendo cada um suficiente para manter uma vazão de $1,5 \text{ m}^3/\text{h}$ por 50 horas, conforme critérios baseados em cálculos obtidos à partir da curva de calor de decaimento e das condições no canal quente. A confirmação da adequação desses reservatórios será obtida experimentalmente conforme descrito no item seguinte. Está previsto no projeto do sistema um dispositivo para testes, com características semelhantes ao distribuidor que será utilizado dentro da piscina, conforme mostra a Fig. 3, para ajustes na vazão, testes periódicos e renovação da água dos reservatórios.

Com o objetivo de otimizar a capacidade dos reservatórios que alimentam o sistema, este foi projetado e dimensionado de forma a operar com duas vazões distintas, ou seja, uma vazão maior durante um período inicial após o acidente. Essas vazões são dimensionadas de maneira que a água lançada sobre o núcleo não seja aquecida até a temperatura de saturação, com conseqüente geração de vapor no saguão do reator. Cálculos preliminares e conservativos, considerando as perdas na distribuição, indicam uma vazão da ordem de $3,0 \text{ m}^3/\text{h}$ durante as duas primeiras horas e $1,5 \text{ m}^3/\text{h}$ no restante do tempo até completar as 22 horas necessárias. Esses valores de vazão e tempo determinam a capacidade mínima de 36 m^3 , que deve ter cada reservatório, para atender ao sistema. Esses valores deverão ser confirmados experimentalmente.

EXPERIMENTOS

Visando obter suporte experimental para consolidar os dados de projeto do sistema, estão sendo projetados e montados dois experimentos denominados: Experimento à Frio e Experimento à Quente.

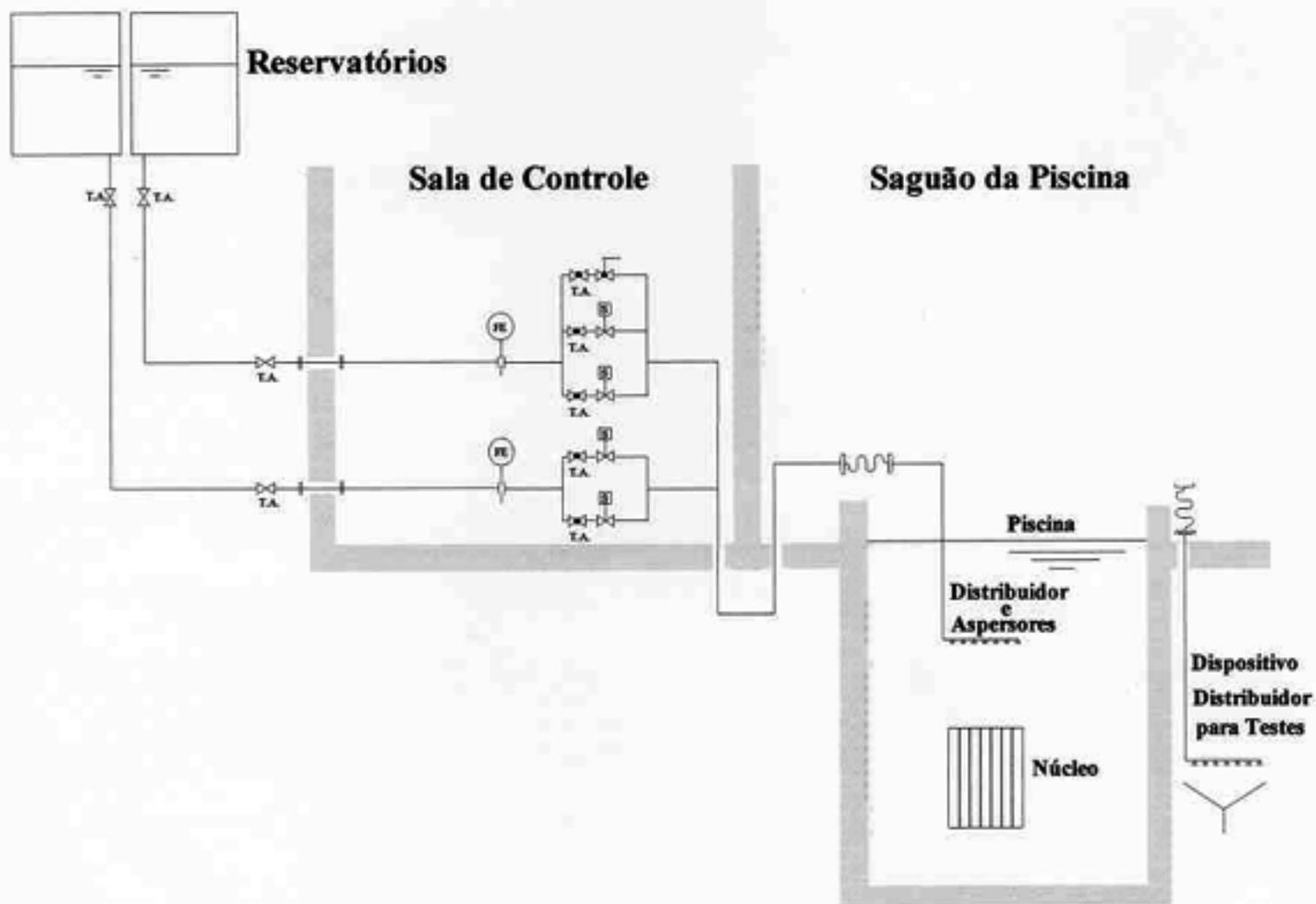


Figura 3. Fluxograma Esquemático do Sistema de Resfriamento de Emergência.

EXPERIMENTO À FRIO

Esse experimento tem como principais objetivos: a) estudar a distribuição de vazão sobre o núcleo do reator; e, b) definir o tipo, quantidade e posicionamento relativo ao núcleo dos bicos aspersores. Para isso está sendo montado um dispositivo experimental que consiste basicamente de uma seção de testes para representar o núcleo e um distribuidor de vazão em forma de "U" onde estarão colocados os bicos aspersores. Uma razão importante para este experimento se deve ao fato que, os elementos de controle se projetam acima dos elementos combustíveis provocando um efeito de sombreamento e dificultando a distribuição de refrigerante entre os elementos. Além disso, é necessário refrigerar os elementos de controle, que possuem placas combustíveis em seu interior, e têm o agravante de serem tampados no topo. A refrigeração dos elementos de controle deverá ser através das entradas laterais de água, conforme Fig. 4, dimensionadas para operação normal com circulação forçada através de bombas.

A seção de testes para o experimento à frio consiste de um conjunto de elementos simuladores desenvolvidos para representar os componentes do reator IEA-R1 (elementos combustíveis, elementos de controle, refletores de grafite, refletores de água e câmaras de irradiação). Esses elementos foram fabricados em perfil quadrado de alumínio de 3" (76,2 mm) e 2 mm de parede, que são as dimensões laterais aproximadas dos componentes do núcleo. O comprimento dos elementos simuladores varia

de acordo com o componente do núcleo que está representando e não estão em escala 1:1 com os mesmos, por exemplo, o elemento simulador do elemento combustível tem 535 mm, e assim por diante para os demais componentes da seção de testes. Somente as alturas relativas foram mantidas para observar justamente o efeito de sombreamento. Todos eles serão colocados em um arranjo retangular de 9x8 (72 posições) semelhante ao núcleo, conforme Fig. 4. Os elementos simuladores do elemento combustível possuem a extremidade superior aberta e a outra extremidade fechada, na qual existe uma conexão tipo Poly-flo com mangueira tipo cristal de 6mm, que será utilizada para medir a vazão recebida por estes elementos. Os simuladores dos elementos de controle possuem a extremidade superior fechada e 2 entradas laterais quadradas de 40x80mm, posicionadas a 5 mm da extremidade superior dos simuladores dos elementos combustíveis.

Os testes serão realizados no circuito experimental BAV - Bancada de Aferição de Vazão, onde está sendo montado um dispositivo distribuidor em forma de U, no qual serão colocados 7 bicos aspersores direcionados para a região central, onde está a seção de testes representando o núcleo do reator. Esse dispositivo distribuidor possibilitará a variação angular dos bicos aspersores, de forma a otimizar a distribuição da vazão, diminuindo as perdas. A Fig. 5 mostra esquematicamente a montagem da seção de testes no circuito experimental.

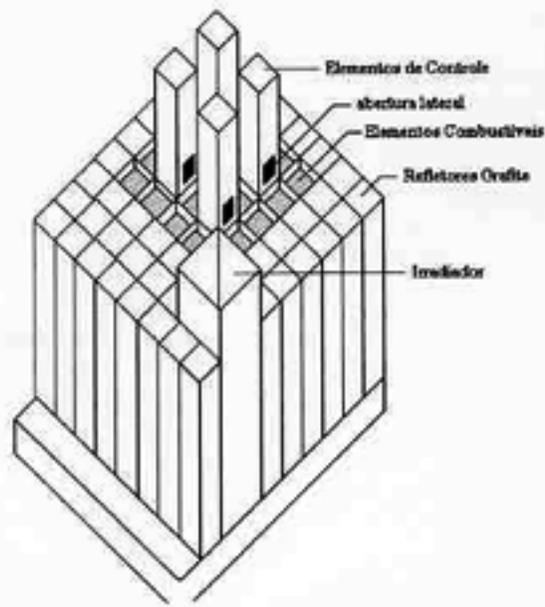


Figura 4. Desenho Esquemático da Seção de Testes

aspersão de um reator de 10 MW com combustível de placas do tipo MTR, semelhante ao utilizado no reator IEA-R1.

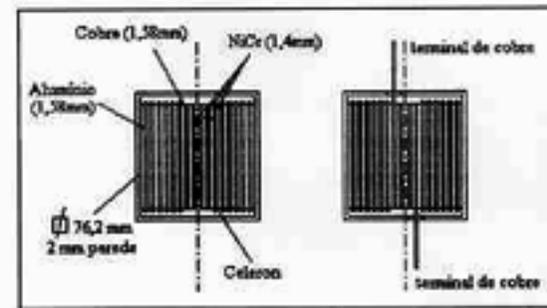


Figura 6. Seção de Testes para Experimento à Quente

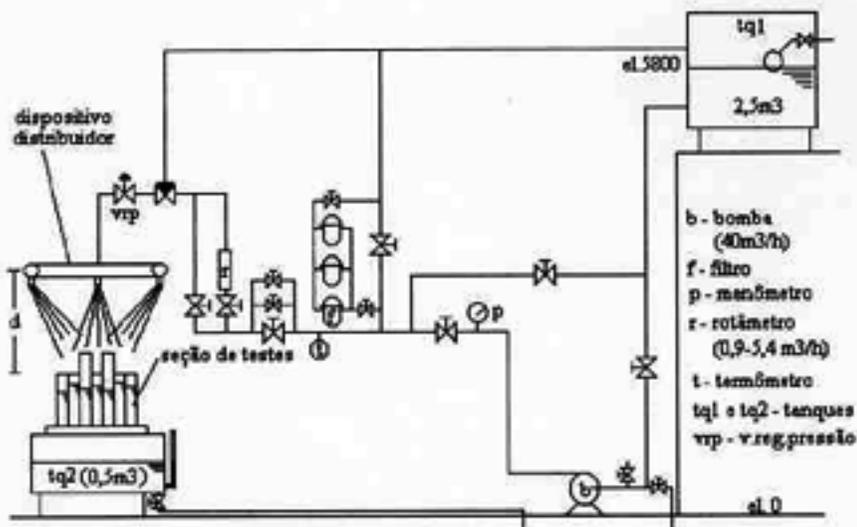
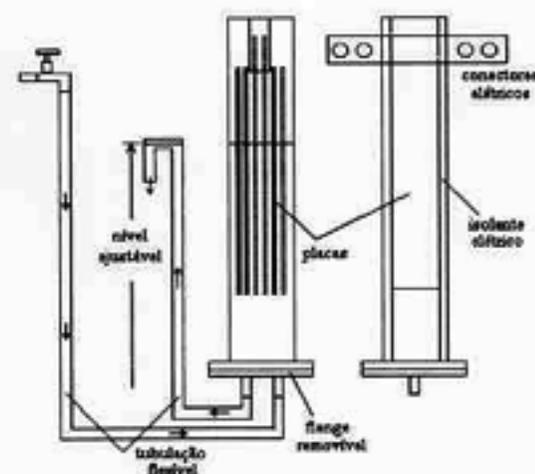


Figura 5. Circuito Experimental e Seção de Testes



EXPERIMENTO À QUENTE

Esse experimento tem como objetivo estudar a capacidade de resfriamento de um elemento combustível sujeito a variadas condições de transferência de calor. Para isso, está sendo projetada uma seção de testes com 3 placas aquecidas eletricamente, que simulam as placas combustíveis e os canais entre elas, e da qual pretende-se obter dados experimentais de temperatura nas placas em função do fluxo de calor. A Fig. 6 mostra, de forma esquemática, essa seção de testes, que poderá ser ensaiada isoladamente ou substituindo um dos simuladores de elemento combustível na seção de testes mostrada na Fig. 5.

Parkanski mostra em [4], um estudo realizado em placas aquecidas eletricamente e com fluxo de calor uniforme, onde obteve dados experimentais de temperatura máxima nas placas como função do fluxo de calor, para diversas condições. A Fig. 7 mostra as curvas montadas a partir desses dados. É interessante observar destas curvas, que é possível, com sistemas de aspersão e vazões de aspersão entre 30 e 45 cm³/min/placa, atingir fluxos de calor da ordem de 4,5 W/cm², sem que a temperatura da placa suba acima de 108 °C. Esses estudos foram realizados com o objetivo de obter informações para o dimensionamento de um sistema de resfriamento por

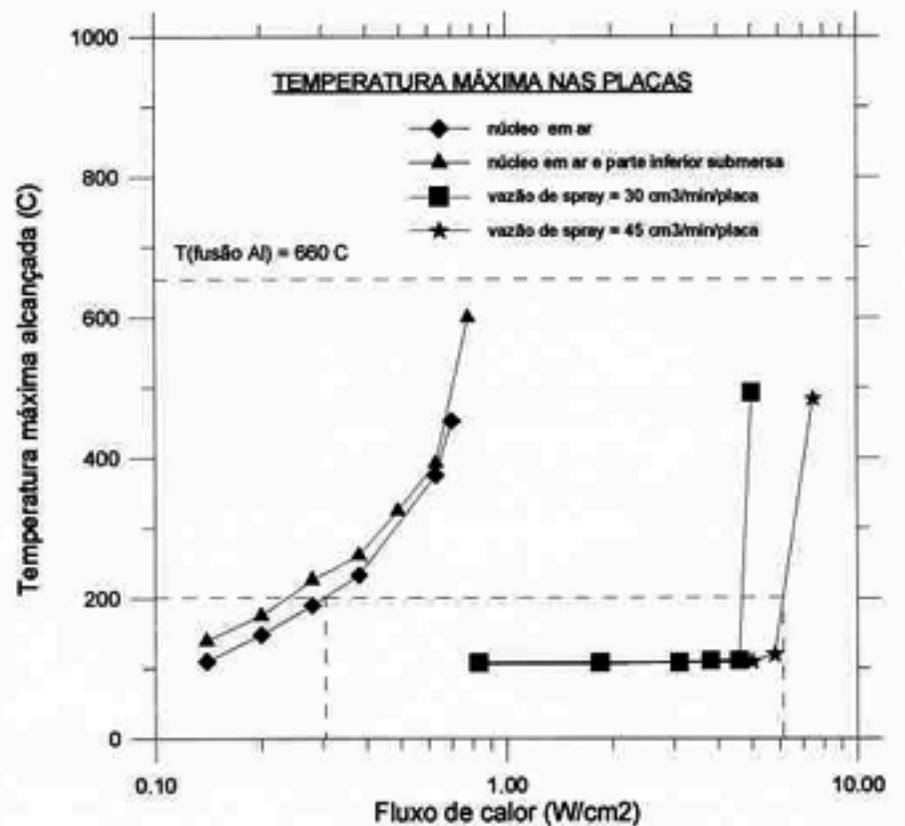


Figura 7. Temperatura nas Placas função do Fluxo de Calor

CONCLUSÃO

As informações obtidas à partir desses experimentos têm grande importância para o projeto e licenciamento do Sistema de Resfriamento de Emergência do Reator IEA-R1 para operação em 5MW. Esses experimentos também contribuirão para o conhecimento do comportamento dos elementos combustíveis em condições de acidente, quanto aos aspectos de níveis de temperatura e fluxos de calor possíveis de serem atingidos; informações importantes na escolha dos materiais e no projeto desses elementos. Essas informações podem ainda ser úteis na validação de modelos matemáticos utilizados em códigos ou programas computacionais que tratam de análise de acidentes em reatores de pesquisa tipo piscina com combustíveis MTR.

REFERÊNCIAS

[1]Williams, H.T., Stopinski,O.W., Yarnell,J.L.,Lyle,A.R., Warner,C.L., Maine,H.L., **Status Report on Omega West Reactor , with Revised Safety Analysis**, LA-4192, 1969

[2]Gehre ,G., Hieronymus ,W., Kampf ,T., Ringel ,V., Roßbander ,W., **The Modification of Rossendorf Research Reactor - Technical Performance and Responsibility of Control and Licence Authorities**, Proceedings of International Symposium on Research Reactor Safety Operations and Modifications, vol.3, 1989, Ontario-Canada

[3]Webster, C.C., **Water-loss Testes in Water-Cooled and -Moderated Research Reactors**, Nuclear Safety, vol.8, no.6, p 590-596, Dec.1967

[4]Parkanski, D., **Sistema de Refrigeração por Rociado de um Reator Tipo Piscina**, Proceedings of IV-CGEN-Congresso Geral de Energia Nuclear, vol.1, 1992

ABSTRACT

This paper presents the system design and experimental support planned to the development of an Emergency Core Cooling System for IEA-R1 reactor at 5MW. Experimental test sections designed to support this development will be used to optimize the flow distribution over the core and to define relevant parameters such as: number and arrangement of spray nozzles; flow and distribution; maximum heat flux allowable, with and without spraying system.