

CURVAS DE REATIVIDADE DAS BARRAS DE CONTROLE E DE SEGURANÇA DA UNIDADE CRÍTICA IPEN/MB-01

Carlos Roberto Ferreira, Adimir dos Santos
Rogério Jerez e Anselmo Ferreira Miranda *

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN/CNEN-SP
Caixa Postal 11049, CEP 05422-970, São Paulo, Brasil
* Coordenadoria Para Projetos Especiais, COPESP-SP
Caixa Postal 66113, CEP 05389-970, São Paulo-SP

RESUMO

No presente trabalho determina-se as curvas de reatividade das barras de controle de Ag-In-Cd e de segurança de B_4C do reator IPEN/MB-01 e compara-se com os resultados experimentais. A calibração experimental das barras de controle (segurança) do reator foi obtida utilizando-se a técnica do período estável, sendo as medidas efetuadas com uma câmara de ionização compensada, cujo sinal é processado diretamente num micro-computador, onde o software inclui a equação inhour, a qual dá a reatividade devido à movimentação das barras. Os cálculos neutrônicos foram efetuados com os sistemas acoplados NJOY/AMPX-II/HAMMER-TECHNION/CITATION. Nota-se, em geral, que as reatividades calculadas apresentam-se subestimadas em comparação com os valores medidos.

INTRODUÇÃO

A simulação computacional para obter parâmetros neutrônicos medidos em núcleos de reatores nucleares é prática usual atualmente e é de grande importância no projeto, operação e desempenho de núcleos de reatores. Parâmetros tais como: fatores de multiplicação de nêutrons, taxas de reação, inserção de reatividade de barras de controle e de segurança, etc são obtidos experimentalmente e, em seguida calculados com vários métodos computacionais e comparados entre si, esperando-se encontrar concordância satisfatória. Reciprocamente, o processo inverso também é válido: tendo-se disponíveis códigos nucleares confiáveis, pode-se obter parâmetros neutrônicos de um dado reator primeiramente e, então, realizar os experimentos propriamente ditos. Aliás, a reprodução confiável de parâmetros medidos em unidades críticas e reatores experimentais serve como teste para a verificação e validação de códigos e dados nucleares, os quais por sua vez, servirão para a concepção e projeto de outros reatores nucleares.

Neste trabalho são calculadas as curvas de reatividade das barras de controle (Ag-In-Cd) e de segurança (B_4C) do 1º núcleo da unidade crítica IPEN/MB-01. Os cálculos das seções de choque representativas das várias células do reator foram elaborados com a metodologia descrita na Referência [1], envolvendo os sistemas acoplados NJOY/AMPX-II/HAMMER-TECHNION, sendo as seções de choque colapsadas no final em 4 grupos de energia. Os cálculos de criticalidade do reator, para as várias configurações críticas de barras de controle e de segurança, foram feitos com o código de difusão de nêutrons CITATION [2]. As curvas diferenciais e integrais de reatividade obtidas são comparadas com as medidas.

O REATOR IPEN/MB-01

A Figura 1, abaixo, mostra um corte plano do 1º núcleo do reator IPEN/MB-01, onde são destacados os dois bancos de barras de controle de Ag-In-Cd (BC1 e BC2) e os dois bancos de barras de segurança de B_4C (BS1 e BS2). Cada banco, individualmente, é composto por doze varetas absorvedoras de nêutrons. O núcleo, como um todo, é formado por um arranjo retangular de 28x26 varetas de pastilhas de UO₂ revestidas de aço inoxidável, excetuando-se as 48 varetas absorvedoras de nêutrons.

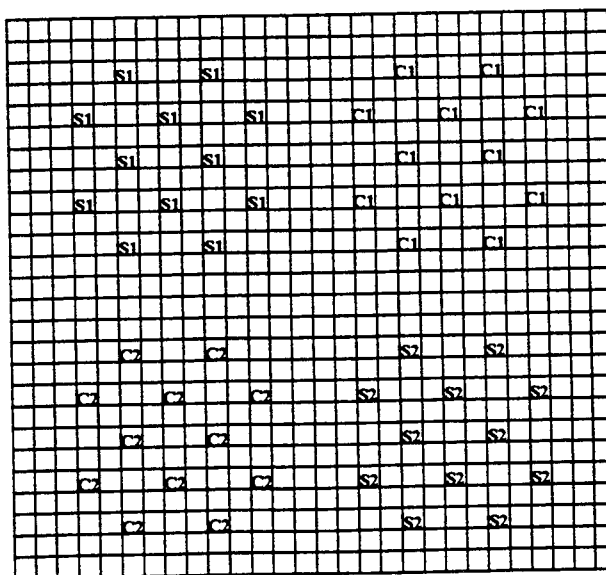


Figura 1. Corte Plano do Reator IPEN/MB-01.

CALIBRAÇÃO EXPERIMENTAL

A calibração experimental das barras de controle de Ag-In-Cd e das barras de segurança de B₄C da unidade crítica IPEN/MB-01, foram obtidas na Referência [3], utilizando-se a técnica do período estável. Esta técnica consiste em provocar pequenos transientes de potência pela retirada da barra (ou conjunto de barras) a ser calibrada e medir o "tempo de dobramento da potência", do qual obtém-se o "período T" do reator. A reatividade ρ correspondente ao deslocamento do banco de controle é dada pela equação inhour (Eq. (1)),

$$\rho = \frac{l^*}{k_{ef}T} + \sum_{i=1}^6 \frac{\beta_i}{1 + \lambda_i T} \quad (1)$$

onde os demais parâmetros são, o fator de multiplicação efetivo do sistema (k_{ef}), o tempo médio de vida dos nêutrons prontos (l^*), a fração de nêutrons atrasados referentes à i -ésima família de precursores de nêutrons atrasados (β_i) e a constante de decaimento correspondente (λ_i).

As medidas foram obtidas com uma câmara de fissão compensada, cujo sinal processado é fornecido diretamente a um micro-computador com software que fornece a reatividade devido à movimentação das barras.

Os resultados reportados na Referência [3] são as curvas diferenciais e as curvas integrais de reatividade, o excesso de reatividade do núcleo e a margem de desligamento.

Cabe observar aqui, que a obtenção de reatividades de barras absorvedoras de nêutrons por este processo não é unicamente experimental, uma vez que a equação inhour inclui alguns parâmetros calculados e/ou provenientes da literatura, quais sejam: o tempo médio de vida dos nêutrons prontos de fissão (l^*), a fração de nêutrons atrasados β_i referentes à i -ésima família de nêutrons atrasados e a constante de decaimento característica da i -ésima família (fictícia) de nêutrons atrasados λ_i . Note que todos estes parâmetros levam um erro embutido; por exemplo, o β_i é um parâmetro calculado que depende do espectro do reator considerado e, conseqüentemente, dos dados nucleares básicos e da metodologia de cálculo empregada na sua obtenção. Conforme a literatura, os valores obtidos para o β_i devem incluir incertezas da ordem de 5% a 10%.

SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

As configurações críticas do 1º núcleo do reator IPEN/MB-01, diferenciadas pelo posicionamento das barras absorvedoras de nêutrons (controle ou segurança) no experimento de calibração, foram modeladas em geometria XYZ (pino-a-pino) no código de difusão de nêutrons CITATION, onde os valores de reatividade correspondentes foram calculados. As seções de choque

macroscópicas representativas das várias células do reator, calculadas anteriormente, com a metodologia da Referência [1], foram obtidas na Referência [4]. As curvas de reatividades diferenciais e integrais e o excesso de reatividade do núcleo calculados são apresentados na Seção abaixo, em comparação com os resultados experimentais. As seguintes definições foram usadas:

$$\Delta\rho = \frac{k_2 - k_1}{k_1 k_2} \quad (2)$$

$$\rho(z) = \sum_i \Delta\rho_i \quad (3)$$

onde, k_1 refere ao sistema crítico, k_2 ao sistema perturbado (barras de controle deslocadas Δz (cm)).

RESULTADOS OBTIDOS

As curvas de reatividade medidas e calculadas para as barras de controle de Ag-In-Cd e de segurança de B₄C do 1º núcleo da unidade crítica IPEN/MB-01 encontram-se nos gráficos das Figuras 2 a 5. As curvas diferenciais de reatividade aparecem nas Figuras 2 e 3, respectivamente, para as barras de controle (BC1) e de segurança (BS1). As Figuras 4 e 5 apresentam as curvas integrais correspondentes. A Figura 6 apresenta a flutuação do fator crítico de multiplicação de nêutrons em função das configurações críticas dos bancos de controle. A Tabela 1 mostra os excessos de reatividade do núcleo e os valores totais de inserção de reatividade dos bancos de controle, enquanto que, a Tabela 2 apresenta os valores similares para os bancos de segurança. A análise destes resultados é elaborada na Seção abaixo.

TABELA 1. Excessos de Reatividade do Núcleo e Valores de Reatividades Integrais de BC1.

Reatividade (pcm)	Medido	Calculado	Desvio (%)
Excesso do Núcleo	2415,20	2249,76	-6,85
Valor de BC1	3377,60	2973,43	-11,97
Valor de BC1 + BC2	—	7012,83	—

TABELA 2. Valores de Reatividades Integrais de BS1.

Reatividade (pcm)	Medido	Calculado	Desvio (%)
Valor de BS1	3782,40	3276,27	-13,38
Valor de BS1 + BS2	—	7971,83	—

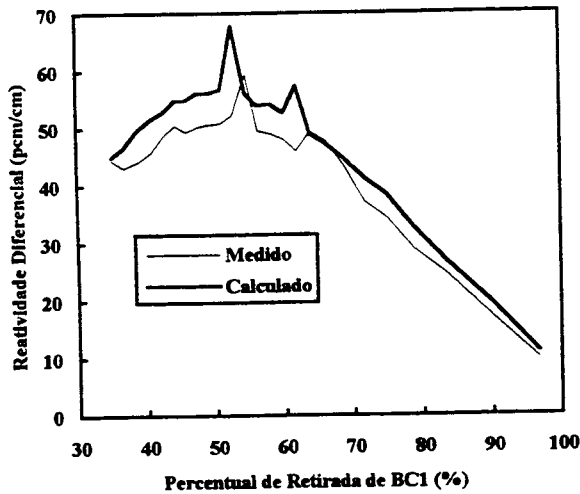


Figura 2. Curvas de Reatividade Diferencial de BC1.

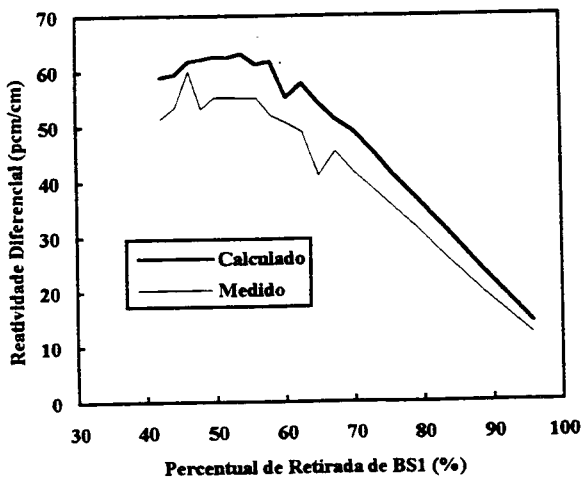


Figura 3. Curvas de Reatividade Diferencial de BS1.

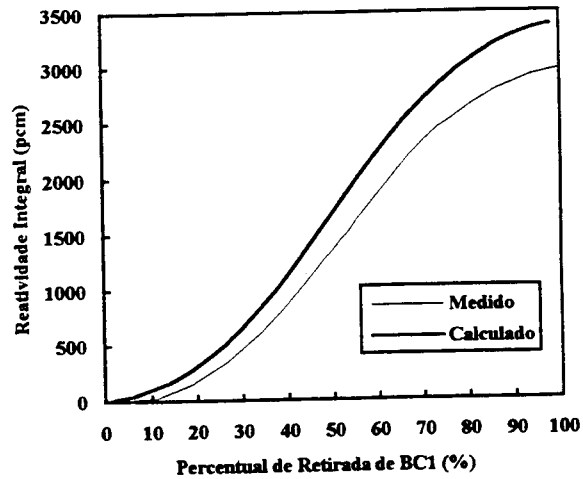


Figura 4. Curvas de Reatividade Integral de BC1.

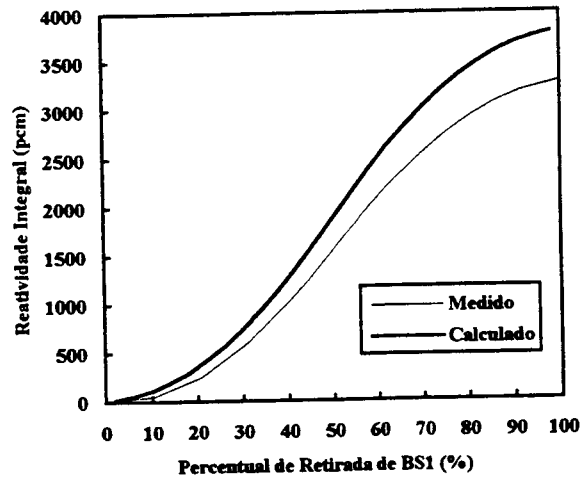


Figura 5. Curvas de Reatividade Integral de BS1.

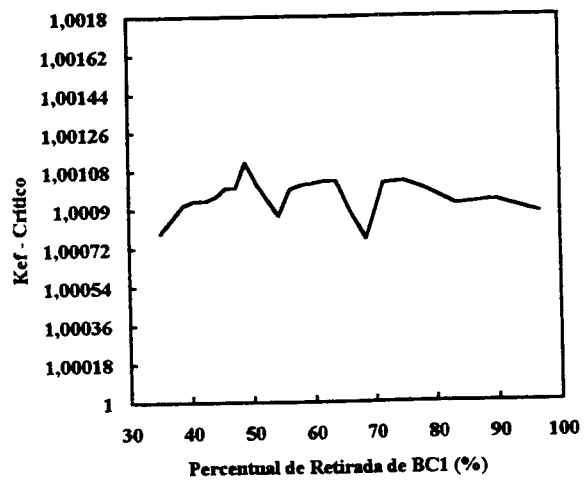


Figura 6. Fatores de Multiplicação nas Configurações Críticas dos Bancos de Controle.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados apresentados acima nos gráficos e tabelas mostram claramente que as reatividades calculadas para o 1º núcleo da unidade crítica IPEN/MB-01, apresentaram-se subestimadas quando comparadas com os valores medidos correspondentes, tanto para os bancos de controle de Ag-In-Cd, quanto para os bancos de segurança de B₄C. Esta tendência de subestimação dos valores calculados em relação aos experimentais é observada nas curvas diferenciais de reatividades das Figuras 2 e 3 e, em consequência, nas curvas integrais, das Figuras 4 e 5. Para a reatividade diferencial do banco de controle de Ag-In-Cd (BC1), a Figura 2 mostra um desvio médio aproximado de cerca de 5% entre os valores calculados e experimentais. No caso da reatividade diferencial do banco de segurança de B₄C (BS1), a Figura 3 indica um desvio médio de cerca de 10% entre os valores calculados e medidos. A Figura 6 mostra que os fatores críticos de multiplicação de nêutrons, calculados com o código CITATION para as diversas configurações críticas das barras de controle, flutuam numa faixa de 40 pcm e são superestimados de 72 a 112 pcm.

Quanto à inserção total de reatividades dos bancos de controle (BC1) e de segurança (BC2), a Tabela 1 mostra que o valor total de reatividade de BC1 calculado é 11,97% menor que o medido e a Tabela 2 indica que, para o banco de segurança (BS1), o valor calculado é 13,38% menor do que o medido.

As Tabelas 1 e 2 mostram, também, os valores calculados para as inserções totais de reatividade dos bancos de controle (BC1 + BC2) e dos bancos de segurança (BS1 + BS2). Nota-se que a reatividade total inserida pelos dois bancos de controle (ou, separadamente, pelos dois bancos de segurança) é maior que a soma das reatividades dos bancos individuais. Este resultado é esperado, devendo-se ao efeito da interação dos bancos de absorvedores.

Finalmente, a Tabela 1 mostra que os excessos de reatividades calculado e medido do 1º núcleo da unidade crítica IPEN/MB-01 diferem de 6,85%, sendo o valor calculado menor.

Esta tendência de subestimação dos valores calculados de reatividade em relação aos medidos, pode estar relacionada com os valores das seções de choque efetivas de fissão do combustível e/ou com as seções de choque efetivas de absorção das barras absorvedoras de nêutrons (controle ou segurança), que por sua vez depende de todo, processo de homogeneização celular e metodologia de cálculo, envolvendo no final o HAMMER-TECHNION. A modelagem global do reator no código CITATION, o qual utiliza a teoria de difusão de nêutrons em multigrupo de energia, expressa em diferenças finitas, também pode ter influenciado. Estes aspectos devem ser melhor examinados em trabalhos futuros.

Outra fonte de discrepâncias entre os valores calculados e experimentais já foi mencionada anteriormente: são os parâmetros calculados e/ou medidos, ou provenientes da literatura como o β_1 , o λ^* e o λ_1 , referentes aos grupos de precursores de nêutrons atrasados. Como já foi mencionado, estes parâmetros incluem erros que podem chegar a 10%.

Observa-se, ainda, nas curvas diferenciais de reatividades das Figuras 2 e 3, dois picos de reatividade. Isto ocorre tanto na curva experimental, como na calculada. Este fenômeno ocorre quando as extremidades das barras de controle do banco BC1 (ou BS1), em movimento de retirada, passa pelo mesmo plano horizontal que está sendo atravessado pelas extremidades das barras de controle do banco BC2 (ou BS2), em movimento de inserção. Este "efeito de interação de extremidades" parece acrescentar uma perturbação adicional nos fluxos de nêutrons locais e, conseqüentemente, nas taxas de reações, provocando um acréscimo brusco na reatividade diferencial.

Outro aspecto a ser observado nas curvas diferenciais de reatividades calculadas é que estas apresentam algumas irregularidades (mais acentuadas do que nas curvas experimentais correspondentes). Essas oscilações podem estar relacionadas a problemas de instabilidades numéricas (problemas de convergência numérica) no código CITATION. Este problema também merece maior atenção em trabalhos futuros.

REFERÊNCIAS

- [1] Ferreira, C. R. e Yamaguchi, M., *Tema Especial de Física de Reatores e Termo-Hidráulica*, pg 17, Anais do IX Encontro Nacional de Física de Reatores e Termo-Hidráulica, Caxambú, MG-Brasil, Outubro de 1993.
- [2] Fowler, T. B., Vondy, D. R., Cunningham, G. W., *Nuclear Reactor Core Analysis Code: CITATION*, Oak Ridge National Laboratory, ORNL-TM-2496-Rev. 2, 1971.
- [3] Jerez, R. e Miranda, A. F., *Calibração de Barras de Controle*, R65000030001652, IPEN/CNEN/SP, 1991.
- [4] Ferreira, C. R., Santos, A., *Seções de Choque para Determinação do Coeficiente Isotérmico da UCRL*, R410500044415, IPEN/CNEN-SP, 31/10/89.

ABSTRACT

In this work, reactivity worths are obtained for control (Ag-In-Cd) and safety (B₄C) rods for the IPEN/MB-01 reactor, and compared to the experimental results. The experimental calibration of control (safety) rods was obtained by utilization of stable period technique, where the measurements were made with a compensated ionization chamber, and the signals processed on micro-computer. The software included the inhour equation, which gives the reactivity with the rod movements. The neutronic calculations were made with the coupled NJOY/AMPX-II/ HAMMER-TECHNION/CITATION systems. It was observed, in general, that the calculated reactivities is showed to be underestimated in comparison with the measured results.