



# I Congresso Geral de Energia Nuclear

Rio de Janeiro, 17 e 20 de Março de 1986

## ANAIS - PROCEEDINGS

### IMPLEMENTAÇÃO DE QUEIMANO PROGRAMA NODAL FERM

Hélio Yoriyaz  
Horácio Nakata

Divisão de Física de Reatores  
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - CNEN-SP  
São Paulo

#### SUMÁRIO

Foi implementado um esquema de realimentação para cálculo de queima utilizando o programa nodal FERM <sup>(2)</sup> ("Finite Element Response Matrix") e os resultados obtidos (distribuição de potência), foram comparados com os obtidos pelo programa CITATION <sup>(3)</sup>.

Foi observado que os resultados não apresentaram diferenças significativas com uma economia computacional de centenas de vezes oferecida pelo programa FERM, devido o uso de apenas uma malha grossa por elemento combustível.

#### ABSTRACT

A spatial burnup calculation and feedback effects has been developed and implemented into the FERM <sup>(2)</sup> ("Finite Element Response Matrix") nodal code and the results (power distribution) has been compared to those from the conventional finite difference code CITATION <sup>(3)</sup>.

Because the utilization of only- 1 coarse mesh/assembly the processing time in the FERM code has been hundred of times shorter and no significant difference has been observed in the assembly power distributions.

## 1. INTRODUÇÃO

A importância do desenvolvimento de códigos nucleares eficientes, tanto do ponto de vista computacional como do ponto de vista de simulação de performance do núcleo, baseia-se na necessidade de se obter soluções rápidas e precisas de forma não dispendiosa, em projetos de reatores e operação de centrais nucleares.

Métodos alternativos tem sido investigados a partir de meados da década passada e muitos foram desenvolvidos fornecendo resultados bastante precisos e de maneira eficiente. Dentre estes métodos podem-se citar <sup>(1)</sup>: Método de Matriz Resposta, Método Nodal, Método de Fluxo Sintetizado dentre muitos outros. Programas bastante eficientes foram desenvolvidos combinando alguns dos métodos acima e como exemplo tem-se <sup>(1)</sup> o Método de Expansão Nodal, Método de Síntese Nodal e o Método de Elementos Finitos e Matriz Resposta <sup>(2)</sup>.

O programa FERM (Finite Element Response Matrix) utilizado no presente trabalho está baseado neste último método. Em linhas gerais, o método consiste em se dividir o reator em malhas grossas, da ordem do tamanho de um elemento combustível, e construir para cada uma, dois tipos de matrizes respostas aplicando o método de elementos finitos na solução da equação de difusão. A primeira matriz resposta fornece a corrente parcial emergente devido à difusão da corrente incidente, e a segunda matriz resposta fornece a corrente emergente devida a fontes em cada malha.

As matrizes respostas construídas são a seguir projetadas sobre funções bases globais no reator e a solução é obtida por método iterativo, acelerado por Método de Polinômios de Chebyshev. Dessa maneira o tempo computacional é reduzido em centenas de vezes em comparação com programas convencionais baseados em diferenças finitas sem comprometimento na qualidade da solução obtida.

O presente objetivo é introduzir um esquema de simulação de queima do combustível no programa FERM afim de possibilitar cálculo de distribuição de potência durante o ciclo de forma econômica e precisa.

## 2. METODOLOGIA

Os efeitos da queima do combustível são avaliados calculando-se a distribuição de potência em vários intervalos de tempo durante o ciclo.

A primeira etapa consiste em se determinar a distribuição de potência no núcleo, a qual é utilizada para determinar a queima de cada elemento (MWD/T) no fim do intervalo considerado.

Com a distribuição de queima os parâmetros macroscópicos são reavaliados segundo um esquema de interpolação construída através de dados tabulares.

A realimentação de temperatura do combustível, efeito Doppler, foi simulada com interpolação linear dos parâmetros macroscópicos com a raiz quadrada da temperatura. Foi considerada também a influência da produção de Xenônio e sua variação espacial de acordo com o nível do fluxo neutrônico.

Os efeitos espectrais, predominantes nas vizinhanças do refletor e das barras de controle, foram levados em consideração armazenando-se a produção de Pu-239 em cada ponto do reator.

## 3. RESULTADOS

O cálculo de queima com o programa FERM foi efetuado para o primeiro ciclo de Angra-I utilizando o esquema de realimentação desenvolvido no presente trabalho e os resultados foram comparados com os obtidos através do programa CITATION<sup>(3)</sup>. As constantes de difusão foram introduzidas no FERM em forma tabular em função dos parâmetros considerados na realimentação, efetuando-se cálculos de elementos com o programa CITATION, utilizando seções de choque geradas pelo programa HAMMER<sup>(4)</sup>.

A Tabela 1 e 2 resumem os resultados mais significativos obtidos neste trabalho e nota-se uma grande economia, algumas centenas de vezes, no tempo computacional em comparação com o programa CITATION sem significante diferença nos resultados. Tem sido observado <sup>(2)</sup> que os valores obtidos com o programa FERM apresenta em geral a mesma ordem de discrepância que os valores de cálculo de diferenças finitas com malhagem "pino-a-pino" apresentam, em relação a um valor extrapolado.

TABELA 1 - COMPARAÇÃO DE TEMPO DE CPU ENTRE OS CÁLCULOS DE DIFERENÇAS FINITAS (CITATION) E CÁLCULO NODAL COM FERM, NO INÍCIO DE CICLO. (CPU NO COMPUTADOR IBM 4341-MG12).

PROGRAMA	CPU(segundos)	$ \Delta P/P _{\text{máx}}(\%)$
Citation-8 malhas/elemento	360	4,16
Citation-12 malhas/elemento	1440	2,08
Citation-16 malhas/elemento	2140	1,34
Citation extrapolado	-	referência
Ferm-1 malha/elemento	9,0	1,69

TABELA 2 - DISCREPÂNCIAS MÁXIMAS E MÉDIAS NA POTÊNCIA DO ELEMENTO COMBUSTÍVEL ENTRE OS VALORES EXTRAPOLADOS DE DIFERENÇAS FINITAS COM CITATION E CÁLCULO NODAL COM FERM.

K-Efetivo					
QUEIMA (MWD/T)	CITATION	FERM	$ \Delta K/KI(\%)$	$ \Delta P/P _{\text{máx}}(\%)$	$ \overline{\Delta P/P} (\%)$
104	1,16779	1,16804	0,02	1,69	0,83
1490	1,14837	1,14591	0,21	4,73	2,20
2890	1,12826	1,12655	0,15	2,20	0,82
4288	1,10819	1,10735	0,08	3,77	1,22
5683	1,09015	1,08894	0,11	3,89	1,35
7077	1,07239	1,07152	0,08	4,25	1,46
8472	1,05543	1,05534	0,01	4,24	1,66
9866	1,03931	1,03963	0,03	4,97	2,00

#### 4. CONCLUSÃO

As comparações entre os resultados obtidos através do cálculo nodal com FERM e os obtidos através da técnica de diferenças finitas com CITATION evidenciam que os dois métodos produzem resultados praticamente iguais, durante um ciclo de queima em PWR, com a diferença altamente vantajosa para o programa FERM no aspecto da economia de tempo computacional, utilizando centenas de vezes menos tempo de CPU devido a necessidade de utilizar apenas um número reduzido de malhas grossas por elemento combustível.

Em trabalhos mais recentes tem sido incorporado ao FERM várias realimentações assim como melhoramento no esquema de aceleração e extensão para cálculos tridimensionais com vistas à construção de pacote de cálculo geral de neutronica.

5. REFERÊNCIAS

1. Wagner, M. R. Current Trends in Multidimensional Static Reactor Calculations Proc. conf. Computational Methods in Nuclear Energy, CONF 750413-V.II, p.I-1. U.S. ERDA (1975).
2. NAKATA, H. & MARTIN, W.R.. The Finite Element Response Matrix Method, Nuclear Science and Engineering, 85, 289-305, Nov. 1983.
3. FOWLER, T. B. et.al.; Nuclear Reactor Core Analysis Code-CITATION. Oak Ridge, Tn. Oak Ridge National Lab., 1971 (ORNL-TN-2496 Rev.2).
4. SUICH, J.E. & MCNECK, H. C.; The Hammer System: Heterogeneous Analysis by Multigroup Methods of Exponential and Reactors. Aiken, S.C. Savannah Lab., Jan. 1967 (DP-1064).