

SISTEMA "IN-CORE" PARA MAPEAMENTO DA DISTRIBUIÇÃO DE POTÊNCIA
NO REATOR IEA-R1-IPEN-CNEN/SP

HÉLIO YORIYAZ E JOÃO MANOEL LOSADA MOREIRA
Divisão de Física de Reatores
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares
Comissão Nacional de Energia Nuclear
São Paulo - SP

RESUMO

A partir de informações fornecidas por detectores SPND'S ("Self Powered Neutron Detectors"), distribuídos no interior do núcleo de um reator, obtém-se a distribuição de potência espacial, através do programa MAP, desenvolvido no presente trabalho. A metodologia consiste em obter a distribuição final de potência, pela combinação de certas funções ou modos de expansão, obtidos previamente por cálculo de difusão, com o programa CITATION. Os coeficientes de expansão são obtidos por meio de técnica de mínimos quadrados, a partir dos sinais fornecidos pelos detectores. O programa MAP está elaborado em linguagem PASCAL, para ser utilizado no acompanhamento de operação no reator IEA-R1.

ABSTRACT

Based on the signals of SPND'S (Self Powered Neutron Detectors) distributed inside of a core, the spatial power distribution is obtained using the MAP program, developed in this work. The methodology applied in the MAP program uses a least mean square technique to calculate expansion coefficients that depend on the SPND'S signals. The final power or neutron flux distribution is obtained by a combination of certains functions or expansion modes that are provided from diffusion calculation with the CITATION code. The MAP program is written in PASCAL language and will be used in IEA-R1 reactor for assisting its operation.

1. Introdução

Em reatores de pesquisa, o conhecimento da distribuição de fluxo e potência neutrônicos é importante para se determinar as melhores condições de irradiação de amostras. Neste trabalho desenvolve-se um programa computacional para monitoração da distribuição de potência do reator IEA-R1/IPEN, a partir de detectores "incore", distribuídos no núcleo.

Com o início da utilização dos detectores SPND'S [8,9], surgiram várias metodologias aplicadas à monitoração da distribuição de potência de reatores. A obtenção da distribuição de potência através de detectores incore apresentada por Levine e Diamond [1,2], utiliza o método de mínimos quadrados para o cálculo dos coeficientes para expansão da distribuição de potência em termos de funções previamente definidas. O método de mapeamento racional de dados incore, (RAM) [3], consiste de um modelo iterativo que envolve a solução da equação de difusão e sinais dos detectores. Um método de resíduos ponderados [4], pode ser utilizado, onde a expressão que representa a potência é obtida de uma dada base de funções. A diferença entre o valor correto e a estimativa feita pela expansão é o resíduo. Definindo-se certas funções de ponderação, tal que minimize este resíduo, obtêm-se os coeficientes de expansão que melhor representam a distribuição real de potência. O método adaptativo [5], consiste em se corrigir a distribuição de potência fornecida por um simulador neutrônico, através dos sinais dos detectores.

Existem outros métodos [6,7] que são utilizados em reatores do tipo BWR baseados em códigos nodais para o mapeamento de potência. A estimativa de potência em cada região do núcleo é obtida através do cálculo nodal combinado com ajustes feitos no programa afim de obter resultados consistentes com as medidas dos detectores.

O princípio básico de todas as técnicas de mapeamento é estimar a distribuição de fluxo de neutrons a partir de informações em alguns pontos onde se localizam os detectores.

No presente trabalho, a metodologia empregada baseia-se no modelo apresentado por Levine e Diamond devida a sua simplicidade e eficiência, e ser mais apropriado para reatores com núcleos

pequenos. Basicamente o resultado é obtido por duas multiplicações sucessivas de matrizes.

Os métodos iterativos são bastante eficientes mas muitas vezes acarretam em consumo de tempo computacional relativamente grande, o que é inconveniente num sistema "on-line". A qualidade dos resultados fica vinculada a escolha correta dos polinômios sendo que em reatores muito heterogêneos torna-se complicado representar a forma espacial de potência.

2. Metodologia de Cálculo

Esta metodologia assume que a potência num ponto arbitrário, do núcleo pode ser expressa como combinação linear das funções formas de potência que aparecem durante a operação do reator:

$$P(r) = \sum_{j=1}^S A_j \cdot P_j(r) \tag{1}$$

onde $P_j(r)$ é densidade de potência no ponto r quando o reator está operando no modo j .

A equação acima é geral e portanto válida para as posições onde estão localizados os detectores:

$$P(r_d) = \sum_{j=1}^S S_j \cdot P_j(r_d) \tag{2}$$

onde r_d são os pontos onde estão localizados os detectores.

De forma explícita a resposta de cada detector é:

$$\begin{aligned} D_1 &= M_{11}A_1 + M_{12}A_2 + \dots + M_{1S}A_S \\ D_2 &= M_{21}A_1 + M_{22}A_2 + \dots + M_{2S}A_S \\ &\vdots \\ D_R &= M_{R1}A_1 + M_{R2}A_2 + \dots + M_{RS}A_S \end{aligned} \tag{3}$$

onde: $d = 1, 2, \dots, R$ número de detectores no núcleo;

$j = 1, 2, \dots, S$ número de modos considerados.

M_{dj} é o valor do modo j na posição do detector d .

Na forma matricial tem-se :

$$\underline{D} = \underline{M} \cdot \underline{A} \quad (4)$$

Para obter-se a distribuição de potência com K pontos tem-se:

$$\begin{aligned} F_1 &= N_{11}A_1 + N_{12}A_2 + \dots + N_{1S}A_S \\ F_2 &= N_{21}A_1 + N_{22}A_2 + \dots + N_{2S}A_S \\ &\vdots \\ F_K &= N_{K1}A_1 + N_{K2}A_2 + \dots + N_{KS}A_S \end{aligned} \quad (5)$$

tal que :

$$\underline{F} = \underline{N} \cdot \underline{A} \quad (6)$$

onde N_{kj} representa a densidade de potência de modo j na posição k.

Aplicando-se a aproximação do método de mínimos quadrados na equação (4) tem-se :

$$\epsilon = \sum_{d=1}^R \left| \left(\sum_{j=1}^S M_{dj} \cdot A_j \right) - D_d \right|^2 \quad (7)$$

aplicando a condição de $\frac{d\epsilon}{dA} = 0$
obtem-se a solução :

$$\underline{A} = (\underline{M}^T \cdot \underline{M})^{-1} \cdot \underline{M}^T \cdot \underline{D}, \quad (9)$$

ou :

$$\underline{A} = \underline{H} \cdot \underline{D}, \quad (10)$$

onde :

$$\underline{H} = (\underline{M}^T \cdot \underline{M})^{-1} \cdot \underline{M}^T \quad (11)$$

Desta forma o mapeamento de potência é obtido por :

$$\underline{F} = \underline{N} \cdot \underline{H} \cdot \underline{D} \quad (12)$$

As matrizes \underline{M} , \underline{N} e \underline{H} são obtidas "off-line", a "priori", e armazenados na memória do computador, e a distribuição final de potência é obtida por 2 multiplicações sucessivas de matrizes :

$$\underline{A} = \underline{H} \cdot \underline{D} \quad (13)$$

$$\underline{F} = \underline{N} \cdot \underline{A} \quad (14)$$

3. Descrição do Sistema de Monitoração Incore de Mapeamento.

O sistema de monitoração de distribuição de fluxo ainda não foi construído. O seu projeto envolve vários equipamentos, além dos detectores analógico-digitais, interface para aquisição de sinais, além de toda a parte mecânica para a instalação dos detectores no núcleo. Para o processamento de dados requer-se um microcomputador. Os detectores SPND'S que serão utilizados, foram fabricados no IPEN, e encontram-se atualmente em fase de testes no reator IEA-R1.

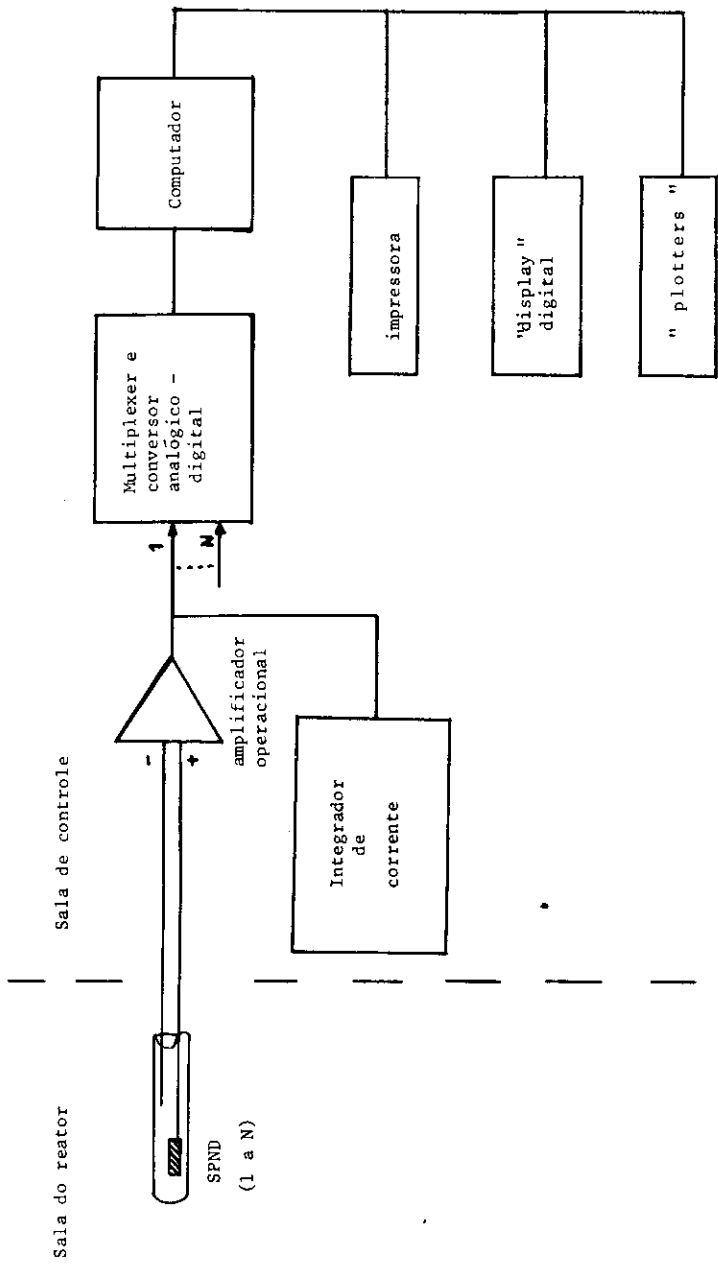
Os detectores de Pt e Co possuem tipicamente um diâmetro externo de 1,5 mm e comprimento do emissor da ordem de 20cm. O emissor e o cabo de transmissão do sinal são isolados por um óxido de metal, geralmente Al_2O_3 .

O sistema de processamento de sinal incluirá um "multiple - xer" e um conversor analógico-digital, além de um sistema de interface para realizar o acoplamento deste sistema ao computador. O sistema possuirá também uma interface que permite modificar a frequência de coleta de dados e a ordem em que estes dados são coletados. Esta interface será conectada a um computador que contém um "software" para comandar todas as operações de recepção e controle dos sinais.

O conjunto de amplificadores operacionais receberá os sinais proveniente dos detectores em forma de corrente (sinal do emissor + "background"). Na saída destes amplificadores ter-se-á o sinal resultante que é o sinal do emissor sem o background.

Os sinais digitalizados que servem de entrada para o computador são processados e transformados em unidades de potência por meio do software descrito na seção 2. Este software contém também um algoritmo para correção dos sinais em função da perda de sensibilidade dos detectores. A saída do computador estão conectadas impressoras, "plotters", e terminais de vídeo para a monitoração e acompanhamento durante toda a operação do reator.

Na figura 1, abaixo, está mostrado um diagrama funcional de como será o sistema de monitoração descrito.



Figural. Esquema funcional do sistema de monitoração 'in-core' para o reator IEA-R1.

4. Resultados

Atualmente os detectores a serem utilizados neste sistema estão em fase de testes no reator. Desta forma para verificação e validação do presente método simulou-se os sinais de detectores através dos valores obtidos no cálculo de difusão para a configuração que se deseja reproduzir.

Para realização dos cálculos modelou-se o núcleo do reator IEA-R1 no programa CITATION [10]. A configuração do reator IEA-R1 considerada contém 32 elementos combustíveis e foi descrita em geometria tri-dimensional X-Y-Z, com 44,52 e 22 malhas nas direções X,Y,Z, respectivamente, e dois grupos de energia. Os módulos de expansão $P_j(r)$ foram obtidos conforme as diferentes posições das barras de controle do reator, de forma que a configuração de operação ficasse numa situação intermediária.

Nas tabelas 1 e 2 estão mostrados os erros máximos da densidade de potência média por elemento e média axial no reator. Naturalmente, verifica-se que, em geral, o erro decresce com o número de detectores disponíveis. Na tabela 3 estão mostrados os erros no valor do "off-set" axial, e na tabela 4 estão mostrados os erros no valor do fator de pico.

Em cálculos anteriores foi obtida a distribuição pontual da densidade de potência fornecendo erros máximos da ordem de 10%, entretanto, no sistema atual não foi possível obter-se este tipo de informação devido a limitação quanto a capacidade de memória do microcomputador utilizado.

O presente sistema dispõe de recursos gráficos para a apresentação dos resultados via tela ou via impressora. Nas figuras 2 e 3 estão mostrados, respectivamente, os perfis axiais médio e máximo da densidade de potência ao longo do núcleo. Na figura 4 pode ser visto o perfil tridimensional da distribuição espacial da densidade de potência, da parte inferior do núcleo.

Tabela 1. Erros máximos na densidade de potência por elemento.

Número de detectores	8	16	18	24	30
Erro (%)	3,0	1,0	0,8	1,0	1,0

Tabela 2. Erros máximos na densidade de potência axial média.

Número de detectores	8	16	18	24	30
Erro (%)	2,5	2,3	2,0	1,6	1,5

Tabela 3. "Off-set" axial de potência.

Número de detectores	8	16	18	24	30
Off-set axial	-0,1967	-0,1879	-0,1881	-0,1900	-0,1904
Erro (%)	2,29	2,29	2,18	1,20	0,99

- valor de referência : -0,1923.

Tabela 4. Fator de pico.

Número de detectores	8	16	18	24	30
fator de pico	2,185	2,174	2,175	2,177	2,178
Erro (%)	0,09	0,59	0,55	0,46	0,41

- valor de referência : 2,187.

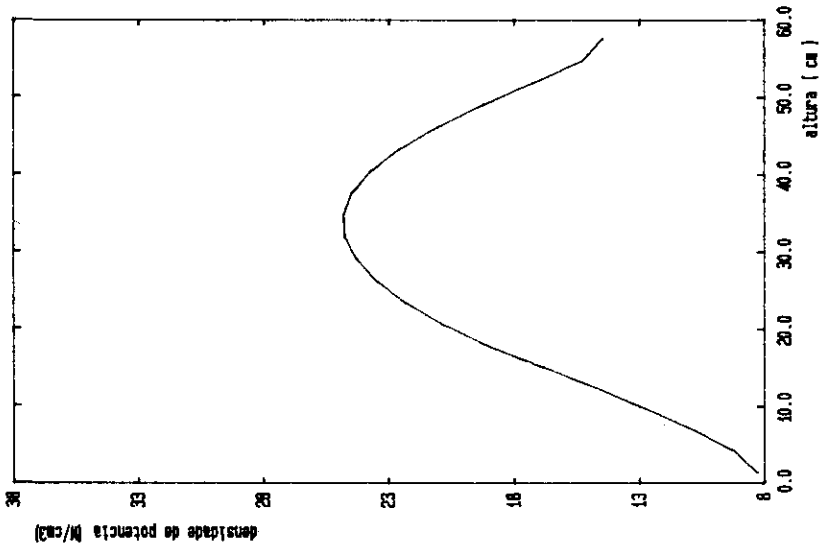


Figura 2. Perfil axial médio da densidade de potência no núcleo do reator.

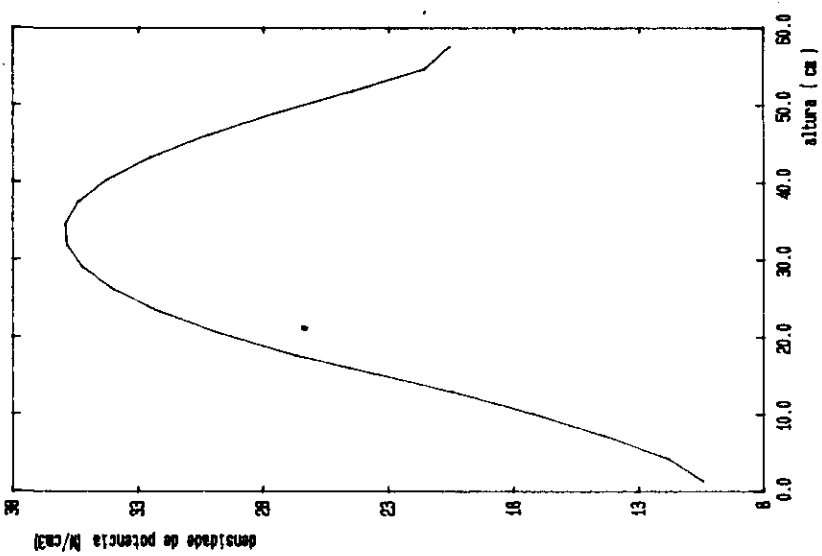


Figura 3. Perfil axial no elemento combustível de maior densidade de potência.

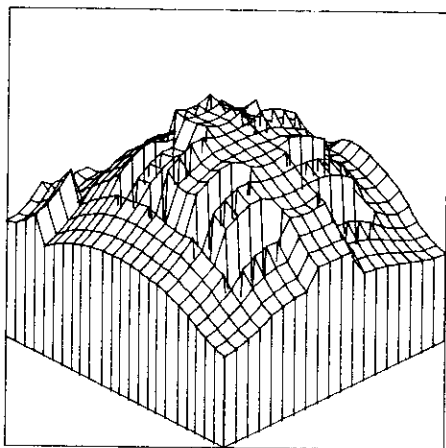


Figura 4. Perfil tri-dimensional da densidade de potência na parte inferior do núcleo.

5. Conclusão

De maneira geral, verifica-se que a qualidade dos resultados depende diretamente do número de detectores utilizados, bem como da localização destes no interior do núcleo.

Dos resultados analisados conclui-se entre 15 a 20 detectores distribuídos adequadamente no núcleo, consegue-se obter resultados bastante precisos (aprox. 1% de erro na densidade de potência por elemento).

A escolha dos modos de expansão deve ser feita de forma adequada, tal que melhor representem as distribuições de potência no núcleo. Pretende-se no futuro utilizar os modos harmônicos do próprio reator como modos de expansão, o que dará maior flexibilidade para a reprodução da distribuição real do fluxo no reator.

Referências

- [1] M. M., Levine e D. J., Diamond, Reactor Power Distribution from Analysis of In-Core Detector Readings, Nucl. Sci. Eng., 47,415 (1972).
- [2] E. Hinchley, G. Kugler, On-Line Control of the CANDU_PHW Power Distribution, Atomic Energy of Canada Ltd, AECL-5045 (1975).
- [3] N. P., Kherani e R. A., Bonalumi, Rational Mapping (RAM), of In-Core Data, Nucl. Sci. Eng., 90,47 (1985).
- [4] O. C. Zienkiewicz, The Finite Element Method, London, Macgraw Hill, (1977).
- [5] C. M., King, R. L. Crowther, Adpatative Method for Three-Dimensional Boiling Water Reactor Simulation, Tfans. Am. Nucl. Soc., 340, (1982).
- [6] Y. Nishizawa, T. Kiguchi, On Line Test of Power Distribution Prediction System for Boiling Water Reactors, Nucl. Tech., 58 9,(1982).
- [7] T. Kiguchi, T. Fukuzaki, Effective Use of Sensor readings in On-Line Plant Monitoring and Its Aplication to Boiling Water Rëactor Power Distribution Cilculation, Nucl. Tech., 72, 291 (1985).
- [8] G. F. Knoll, Radiation Detection and Measurement, John Wiley & Sons, N. Y., (1979).
- [9] J. A. Sovka, Response of Cobalt Neutron Flux Detectors, Atomic Energy of CANada Ltd, AECL-3368, (1969).
- [10] T. B. Fowler, D. R. Vondy, G. W. Cunningham, Nuclear Reactor Core Analysis Code: CITATION, Oak Ridge, Tenn. Oak Ridge National Lab., ORNL-2496-Rev. 2, (1971).