

EXPERIÊNCIA 5

CALIBRAÇÃO DAS BARRAS DE CONTROLE DO REATOR IPEN/MB-01 PELO MÉTODO DO PERÍODO ESTÁVEL E DA CINÉTICA INVERSA

1. TEORIA

O fluxo de nêutrons de um reator tem o seu perfil alterado quando se introduz nele um material absorvedor destas partículas. Como se sabe o fator de utilização térmica, f , é o mais fortemente alterado na fórmula dos seis fatores quando se procede a uma tal inserção, visto que f é dado conforme a expressão a seguir:

$$f = \frac{(\Sigma_a \phi V)_{(comb)}}{(\Sigma_a \phi V)_{(comb)} + (\Sigma_a \phi V)_{(mod)} + (\Sigma_a \phi V)_{(absorv)}} \quad (1)$$

Baseando-se nestas informações tem-se o fato seguinte:

A barra de controle sendo um absorvedor de nêutrons, ao ser introduzida no núcleo provoca uma alteração em f que por sua vez provoca uma alteração em k . Por outro lado sabe-se que a reatividade é um parâmetro que está relacionado com a variação de k através da relação a seguir:

$$\rho = \frac{\Delta k}{k} \quad (2)$$

Desta forma, pode-se afirmar que a inserção ou retirada de uma barra de controle provoca uma inserção ou retirada de reatividade no núcleo de um reator.

É de grande interesse na operação de um reator que se conheça não só a magnitude da reatividade total desta barra, como também em cada um de seus trechos. Assim sendo, utiliza-se normalmente em operação, o termo calibração de uma barra, como a determinação do valor da reatividade em cada trecho, bem como a reatividade total ou integral da barra.

Existem vários métodos de se determinar a reatividade de uma barra, entre elas têm-se as seguintes:

- Método do período estável
- Método da cinética inversa

1.1 MÉTODO DO PERÍODO ESTÁVEL

Como se sabe, a reatividade está relacionada com o período do reator através da expressão a seguir, conhecida como fórmula de Inhour:

$$\rho = \frac{l^{\infty}}{kT} + \sum_{i=1}^6 \frac{\beta_i}{1 + \lambda_i T} \quad (3)$$

onde, o primeiro termo refere-se aos nêutrons prontos e o segundo aos atrasados, este último sendo o principal responsável pelo controle do reator.

Para determinar os valores de ρ , basta se ter os valores dos parâmetros λ_i 's, β_i 's, l^{∞} , características do reator e período T .

Definições:

- Período - Tempo (segundos) necessário para que a potência reator aumente de um fator e ($e = 2.7182$).
- Tempo de dobramento δ Tempo (segundos) necessário para que a potência reator aumente de um fator 2 .

Portanto:

$$T = \frac{\delta}{\ln 2} = \frac{\delta}{0.693}$$

- **(SUR) = 1(DPM)** “Start-Up Rate” = “Décadas Por Minuto”

Portanto : $(SUR) = \frac{26.1}{T}$.

Experimentalmente, o método consiste em criticalizar o reator a uma baixa potência, efetuando-se em seguida, uma retirada parcial da barra. Nestas condições, o reator torna-se supercrítico. Mede-se adequadamente o período obtendo-se assim por intermédio da expressão (3) a reatividade correspondente. Em seguida retorna-se o reator à condição de criticalidade mediante a inserção da outra barra até atingir a potência original.

As informações de período podem ser obtidas das formas seguintes:

- Lendo-se o período diretamente nos indicadores de período dos canais 3, 4 ou 10.

- Lendo-se as potências nos canais apropriados e medindo-se os tempos de dobramento, convertendo-os posteriormente em períodos.
- Lendo-se as indicações no eletrômetro e medindo-se os tempos de dobramento (o eletrômetro recebe corrente vinda de uma CIC, localizada ao lado do núcleo que é independente dos canais nucleares do reator).

Esta forma é a mais precisa em relação às anteriores.

1.2 MÉTODO DA CINÉTICA INVERSA

Este método baseia-se na avaliação temporal e em tempo real da população neutrônica do reator através dos sinais de detetores de nêutrons.

A equação da cinética inversa é obtida a partir das equações de cinética pontual dadas por:

$$\frac{dn(t)}{dt} = \frac{\rho(t) - \beta}{\Lambda} n(t) + \sum_{i=1}^6 \lambda_i C_i(t) \quad (4)$$

$$\frac{dC_i(t)}{dt} = \frac{\beta_i}{\Lambda} n(t) - \lambda_i C_i(t) \quad (5)$$

onde Λ = tempo de geração média entre o nascimento do nêutron e subsequente absorção induzindo fissão, sendo :

$\Lambda = 10^{-6}$ a 10^{-4} o tempo de vida, muito longe do maior precursor que é por volta de 80s.

$C_i(t)$ – Concentração dos precursores a um dado instante.

Após algum manejo matemático nas equações (4) e (5), que está além do escopo deste experimento, produz-se a seguinte equação de cinética inversa:

$$\rho(t) = \beta + \Lambda \frac{1}{n(t)} \frac{dn}{dt} - \frac{\Lambda}{n(t)} \sum_{i=1}^6 \lambda_i C_i(0) e^{-\lambda_i t} - \frac{1}{n(t)} \sum_{i=1}^6 \beta_i e^{-\lambda_i t} \int_0^t n(t') e^{\lambda_i t'} dt' \quad (6)$$

de onde teremos a reatividade instantânea $\rho(t)$. O parâmetro $\rho(t_0)$ corresponde a reatividade inicial do reator (condição inicial).

Para o reator partindo do estado crítico, isto é $k = 1$, $\rho(t_0) = 0$.

O valor de $\rho(t)$ é obtido através de um programa computacional, instalado em PC, que resolve a equação acima.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Os experimentos serão efetuados utilizando simultaneamente os métodos descritos. Os resultados de ambos os métodos serão comparados. Serão utilizados neste experimento os seguintes instrumentos:

- Cronômetro;
- Um detetor de nêutrons tipo câmara compensada e eletrônica associada;
- Um PC com placa de comunicação ou aquisição;
- Cabos para conexões entre interfaces e eletrômetros.

2.1 Verifique o sistema de medida conforme os esquemas do Anexo I (com acompanhamento de um supervisor);

2.2 Verifique os parâmetros no reatímetro e modifique-os se necessário;

2.3 Criticalize o reator em 2 W;

2.4 Compense as Barras de Controle de tal forma que uma delas fique totalmente retirada e a outra inserida até o limite mínimo possível. Inicie com a BC#1 totalmente retirada (operador do reator);

2.5 Anote:

2.5.1 Temperatura do moderador: _____ °C.

2.5.2 Posições iniciais das barras (absoluta e relativa);

BARRAS	POSIÇÃO ABSOLUTA	POSIÇÃO RELATIVA
BS#1		
BS#2		
BC#1		
BC#2		

2.6 Na tabela 1 anexa, anote os valores iniciais solicitados, isto é, posições iniciais das barras de controle (com valores relativos e absolutos);

2.7 Com o reator crítico em 2 W retire a barra até que o período do reator atinja 50 s (operador);

- 2.8 Aguarde um tempo de estabilização do período, até que o indicador do canal linear nº 5 do reator se inicie na escala de 10^{-6} ;
- 2.9 Acione o cronômetro quando o eletrômetro estiver marcando um valor adequado;
- 2.10 Pare o cronômetro após o dobramento da leitura do eletrômetro;
- 2.11 Anote na Tabela 1:
- As novas posições da barra que foi retirada;
 - O tempo de dobramento (δ) medido no cronômetro;
 - A reatividade ($\Delta\rho$) lida no reatímetro (cinética inversa);
 - A reatividade ($\Delta\rho$) calculada pelo programa Inhour.
- 2.12 Criticalize novamente o reator em 2 W, através da inserção da barra que estava no limite de retirada (operador);
- 2.13 Anote na Tabela 1 a nova posição da barra que foi inserida para atingir a criticalidade;
- 2.14 Repita os itens de 2.7 a 2.13 quantas vezes forem necessárias até que a barra que estava inserida fique totalmente retirada.
- 2.15 Com o reator crítico em 2 W, proceda a queda da barra parcialmente retirada ("rod-rop"), utilizando-se do botão apropriado do **"SCRAM EXPERIMENTAL"**, anotando na Tabela 1 o valor da reatividade do trecho correspondente (**ATENÇÃO** - somente o reatímetro tem condições de fornecer este valor) (consultar operador).

3. TRATAMENTO DOS DADOS

- 3.1 Complete a Tabela 1 com as reatividades integrais.
- 3.2 Utilizando-se de papel milimetrado constue os gráficos da reatividade diferencial e integral em função das posições das barras.
- 3.3 Utilizando-se do programa ORIGIN (instalado no PC da Aquisição de Dados) obtenha as curvas referidas em 3.1 (supervisor).
- 3.4 Faça os ajustes das curvas (programa ORIGIN) utilizando-se de uma função apropriada para tal.

3.5 Guarde estas curvas pois elas serão utilizadas no experimento de coeficiente de temperatura.

4. QUESTÕES

- 4.1 Qual é o erro que se comete ao desprezar o termo relacionado com os nêutrons prontos na equação de Inhour?
- 4.2 Quais as vantagens e desvantagens de se utilizar o método do período estável?
- 4.3 Quais as vantagens e desvantagens de se utilizar o método da cinética inversa?
- 4.4 Quais foram os valores das reatividades integrais das barras, obtidas pelo período estável e pela cinética inversa? Quais os desvios em porcentagens entre estes valores?
- 4.5 O que se observa comparativamente no gráfico das duas curvas?
- 4.6 Qual a função que melhor se ajustou às curvas integrais?
- 4.7 Quais os erros estatísticos nos parâmetros destas curvas integrais (obtidos através do ORIGIN)?

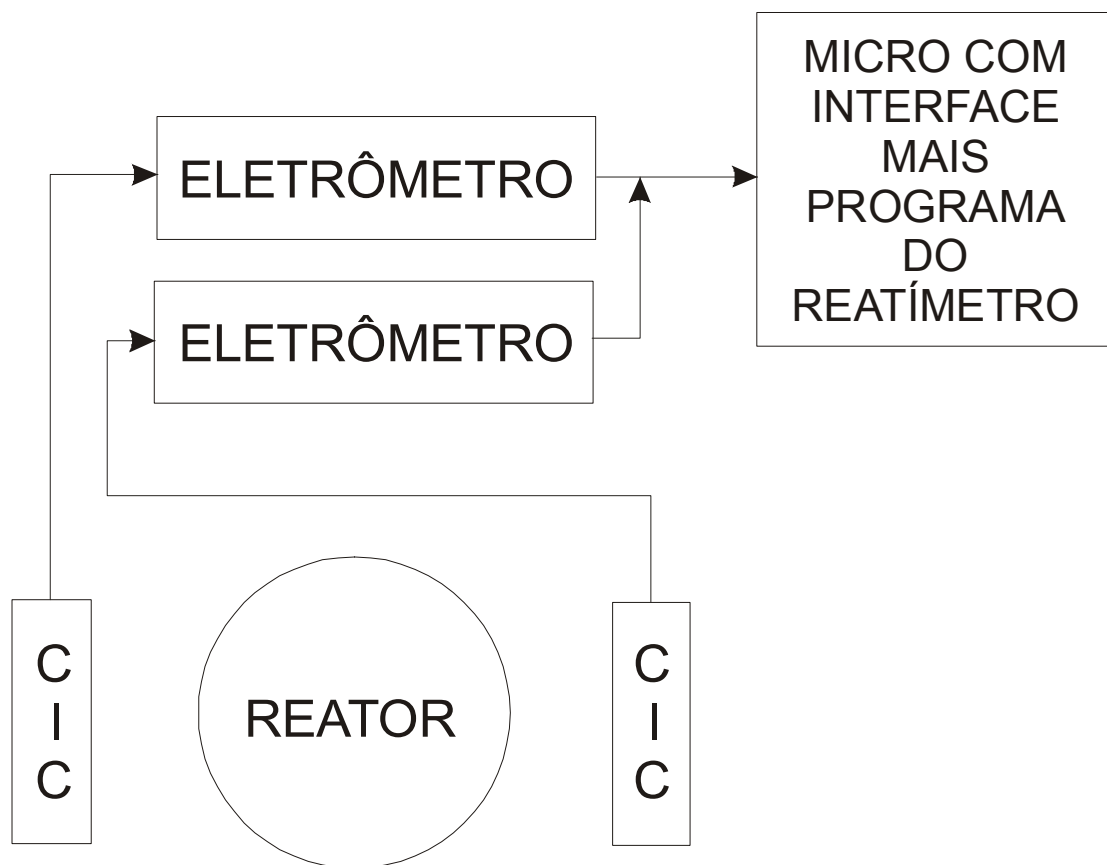


Figura 1: Esquema de Montagem do Sistema de Medida de Reatividade.