

## OSCILAÇÕES ESPACIAIS TRIDIMENSIONAIS DE XENÔNIO EM REATORES DE GRANDE E DE PEQUENO PORTE

Cláudia C. G. Decco \* e João M. L. Moreira\*\*

\*Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares  
Caixa Postal 11049  
05422-970 São Paulo. SP

\*\*Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo - CTMSP  
Av. Lineu Prestes. 2242 - Cidade Universitária  
Caixa Postal 11253  
05508-900 São Paulo. SP

### RESUMO

Neste trabalho é apresentado o estudo das oscilações espaciais de Xenônio tridimensionais em reatores de grande e pequeno porte. Faz-se perturbações assimétricas no núcleo e acompanha-se a evolução temporal da fração de potência em cada quadrante do reator. Utiliza-se o programa CITATION para análise tridimensional das oscilações espaciais do Xenônio. Em reatores de grande porte há uma acomodação da distribuição de potência na direção azimutal cerca de 40 horas após cessar a perturbação externa. A oscilação torna-se unidimensional na direção axial. A presença de barras de controle e a distribuição de potencia que não seja uniforme no início do transiente inibem a oscilação espacial de Xenônio.

Para reatores de pequeno porte não se observou qualquer oscilação espacial de potência nas direções azimutal e axial.

### I. INTRODUÇÃO

Em trabalho realizado anteriormente[1] verificou-se que as oscilações de Xenônio dependem da altura do núcleo, e que são muito pequenas para um reator cuja altura é de 100 cm. Análises axiais foram feitas com o programa MID2[2] e estudou-se o comportamento das oscilações de Xenônio dependentes de vários fatores. Em vista da possibilidade de ocorrer oscilações espaciais de Xenônio tridimensionais, partiu-se para um estudo do comportamento das oscilações de Xenônio levando em conta as três dimensões espaciais com o programa CITATION[3]. Primeiramente neste trabalho é mostrado o estudo feito para um reator de 300 cm de altura e 270 cm de diâmetro equivalente cuja configuração do núcleo é semelhante ao núcleo de ANGRA I. Depois passou-se para o núcleo pequeno, típico para a propulsão naval.

O objetivo deste trabalho é verificar a susceptibilidade de ocorrer oscilações espaciais de Xenônio em núcleos grandes e pequenos a partir de uma análise tridimensional.

### II. ANÁLISE TRIDIMENSIONAL DE TRANSIENTES DE XENÔNIO

O comportamento do transiente de Xenônio (Xe) em um reator nuclear pode ser representado por meio das seguintes equações

$$\frac{\partial I}{\partial t}(r, t) = \gamma_1 \sum_{g=1}^G \Sigma_{t_g}(r, t) \phi_g(r, t) - \lambda_{-1} I(r, t) \quad (1)$$

$$\frac{\partial X}{\partial t}(r, t) = \gamma_x \sum_{g=1}^G \Sigma_{t_g}(r, t) \phi_g(r, t) + \lambda_{-1} I(r, t) - \left[ \lambda_x + \sum_{g=1}^G \sigma_{x_g}(r, t) \phi_g(r, t) \right] X(r, t) \quad (2)$$

$$\frac{1}{v} \frac{\partial \phi_g}{\partial t}(r, t) = \nabla \cdot D_g(r, t) \nabla \phi_g(r, t) - \Sigma_{t_g}(r, t) \phi_g(r, t) + \sum_{g'=1}^G \Sigma_{g \rightarrow g'}(r, t) \phi_{g'}(r, t) + \chi_{g'} \sum_{g'=1}^G v \Sigma_{t_{g'}}(r, t) \phi_{g'}(r, t) \quad (3)$$

Uma vez que os transientes evoluem numa escala temporal de algumas horas pode-se fazer a simplificação de não se distinguir os nêutrons atrasados considerando-os para fins práticos, como nêutrons prontos. Na Eq. (3) despreza-se o termo de derivada temporal do fluxo neutrônico por ser pequeno frente aos outros termos. Assim, a Eq. (3) é aproximada por uma equação estática de difusão de nêutrons com a introdução de um autovalor, o fator efetivo de multiplicação, variável no tempo.

$$-\nabla \cdot D_g(r, t) \nabla \phi_g + \Sigma_{tg}(r, t) \phi_g = \sum_g \Sigma_{g' \rightarrow g} \frac{\chi_g}{k(t)} \sum_{g'} v \Sigma_{fg'} \quad (4)$$

As Eqs. (1), (2) e (4) constituem-se a base do modelo de análise de transiente espacial de Xe. O modelo de solução utilizado no programa CITATION para estas equações baseia-se na discretização da variável temporal em intervalos de tempo. As Eqs. (1) e (2) são integradas para um dado intervalo de tempo considerando para as variáveis dependentes do tempo que seus valores no início do intervalo permaneçam constantes ao longo do intervalo. A Eq. (4) é resolvida no início de cada intervalo de tempo e fornece o valor do fluxo de nêutrons a ser utilizado na solução das Eqs. (1) e (2).

As análises tridimensionais de transientes de Xenônio foram realizadas com o programa CITATION.

### III. ESTUDO DAS OSCILAÇÕES AZIMUTAIS PARA O REATOR DE GRANDE PORTE

A configuração do núcleo de um reator de grande porte na análise é mostrada na Figura 1. O núcleo tem 165 elementos combustíveis, 9 posições para barra de controle e é dividido em oito partes iguais, quatro quadrantes superiores e quatro quadrantes inferiores.

Foram feitas perturbações simétricas e assimétricas. Nas perturbações simétricas são inseridas todas as barras de controle no núcleo simultaneamente e nas perturbações assimétricas são inseridas apenas algumas barras de controle em determinados quadrantes. As perturbações assimétricas tendem a fazer com que o pico da densidade de potência caminhe para o quadrante onde não foram inseridas as barras de controle.

Para analisar o comportamento da densidade de potência em todas as partes do núcleo, dividiu-se o núcleo do reator em oito partes iguais, denominados quadrantes superior e inferior. Os quadrantes superiores são denominados respectivamente: Q1S, Q2S, Q3S, Q4S, e os inferiores: Q1I, Q2I, Q3I e Q4I.

Para verificar o comportamento da oscilação de Xenônio realizou-se um transiente (T1) no qual a distribuição inicial de densidade de potência é relativamente plana, conforme mostra a Figura 2.

Inicialmente as barras de controle estão totalmente retiradas do núcleo e permanecem por 48 horas, para que a concentração de Xenônio entre em equilíbrio. A Figura 2 mostra a distribuição de densidade de potência no centro do núcleo.

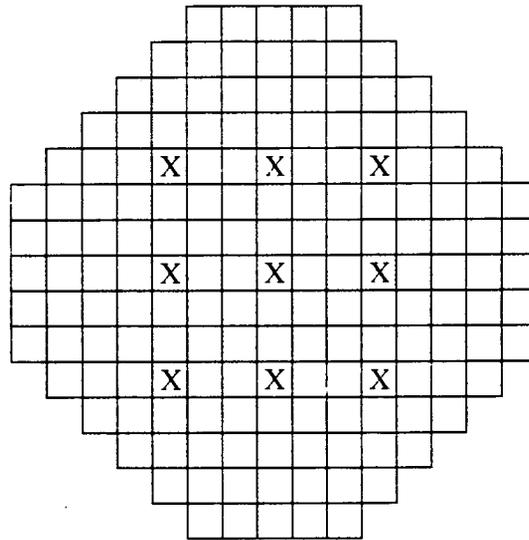


Figura 1 - Configuração do núcleo, os elementos com barras de controle são representados por "X".

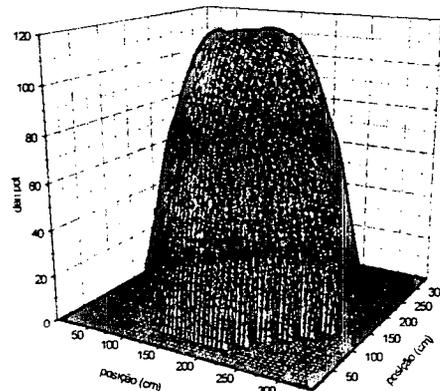


Figura 2 - Distribuição de densidade de potência no centro do núcleo para o reator de 165 elementos combustíveis.

Após estas 48 horas as três barras de controle, no quadrante Q1S, juntamente com as duas barras entre os quadrantes Q1S e Q2S e Q1S e Q3S, são inseridas até a posição de 40% da altura do núcleo durante 4 horas e, então, são retiradas para fora do núcleo.

A Figura 3 mostra o comportamento da potência gerada nos oito quadrantes do núcleo para o transiente (T1).

Inicialmente todos os quadrantes geram a mesma potência, com fração igual a 0,125, valor igual a 1/8 da potência total. A soma de todos os valores de densidade de potência, de Q1S à Q4I, em um determinado instante é igual a 1.

Nota-se pela Figura 3 que no instante em que são inseridas as barras de controle no núcleo a densidade de potência cai nos quadrantes superiores e aumenta nos quadrantes inferiores. Como as barras foram inseridas nos quadrantes Q1S, Q2S e Q3S, há um deslocamento da

densidade de potência para o quadrante Q4S e a curva que representa este quadrante têm a menor queda na Figura 3. Após a retirada das barras de controle nota-se que o núcleo oscila entre topo e base. A ausência das barras de controle torna o núcleo instável e a oscilação é divergente [4].

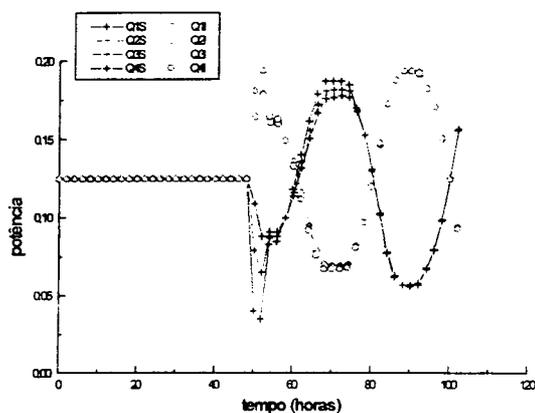


Figura 3 - Fração de potência gerada nos quadrantes do núcleo para o transiente (T1) com distribuição inicial de densidade de potência plana e núcleo inicialmente sem barras.

Em torno do instante 54 horas as potências por quadrantes estão diferentes. Ao longo das próximas 40 horas há uma equalização de geração de potência entre os quadrantes de forma que no instante 85 horas as potências dos quadrantes superiores são iguais e as dos quadrantes inferiores também. A oscilação torna-se unidimensional na direção axial.

A Figura 4 mostra o comportamento da reatividade de Xenônio para o transiente (T1). Nas 48 horas iniciais há a inserção de reatividade negativa no núcleo devido ao crescimento do Xenônio, que por ser um grande absorvedor de nêutrons insere reatividade negativa no núcleo.

Nota-se na Figura 4 no instante 48 horas a movimentação das barras de controle inserindo reatividade negativa no núcleo. Após a retirada da barra a reatividade do núcleo volta quase ao valor inicial. O período da oscilação de reatividade é aproximadamente a metade do período da distribuição de potência. O máximo na reatividade no núcleo ocorre quando a distribuição de potência é mais assimétrica e o mínimo ocorre quando esta é mais simétrica.

Foi realizado um transiente (T2) no qual inicialmente a distribuição inicial de densidade de potência é igual a da Figura 2 e o núcleo não tem barras de controle inseridas. Entretanto após as 48 horas iniciais uma barra de controle, de Q1S, é inserida até 40% da altura efetiva do núcleo e é mantida até o fim do transiente. A Figura 5 mostra o comportamento da densidade de potência nos oito quadrantes do núcleo.

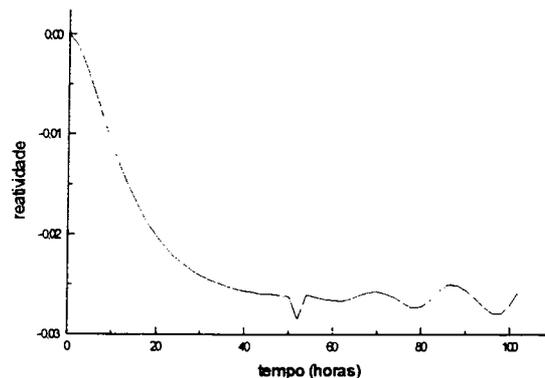


Figura 4 - Variação da reatividade no decorrer do transiente (T1).

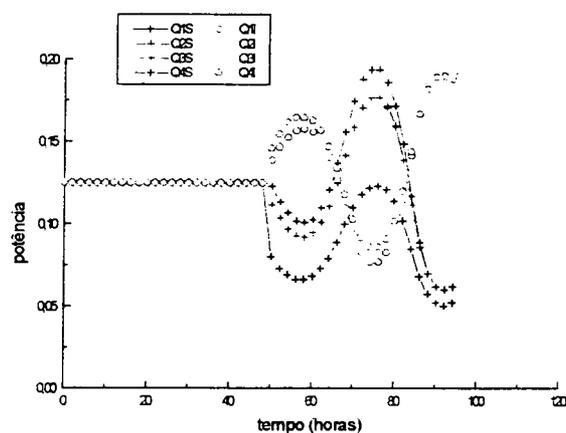


Figura 5 - Densidade de potência nos quadrantes do núcleo para o transiente (T2), distribuição inicial de densidade de potência plana, núcleo inicialmente sem barras.

Para os quadrantes superiores, a curva preta, do comportamento da potência em Q1S, é diferenciada das demais devido a presença da barra de controle neste quadrante: o valor de densidade de potência cai de 0,125 para 0,08. Os quadrantes Q2S e Q3S são simétricos como pode-se ver pelas curvas vermelha e verde, que estão sobrepostas; o valor de densidade de potência cai nestes quadrantes de 0,125 para 0,112. O maior valor de densidade de potência dentre os quadrantes superiores está em Q4S, onde a densidade de potência caiu de 0,125 para 0,123.

Para os quadrantes inferiores os valores são: 0,139, 0,144, 0,144 e 0,146, respectivamente para Q1I, Q2I, Q3I e Q4I. O pico de densidade de potência está no quadrante Q4I, ou seja, na base do núcleo e longe da barra de controle.

Vê-se pela Figura 5 que a oscilação é divergente. No final do transiente os valores de densidade de potência têm maior variação do que no instante da inserção da barra de controle devido a oscilação entre a parte superior e

inferior do núcleo. A reatividade do núcleo seguiu o mesmo comportamento apresentado no transiente (T1).

Para este mesmo reator realizou-se transientes nos quais as barras de controle inicialmente encontram-se inseridas até 20% da altura do núcleo. Este fator diminui a altura efetiva do núcleo inibindo a possibilidade de oscilações espaciais de Xenônio.

Foram realizados transientes semelhantes para o mesmo reator com distribuição de densidade de potência inicial cossenoidal e não percebeu-se oscilação de Xenônio para tais transientes.

**IV. ESTUDO DAS OSCILAÇÕES AZIMUTAIS PARA O REATOR DE PEQUENO PORTE**

A configuração do núcleo de pequeno porte é dada pela Figura 6. O núcleo tem 36 elementos combustíveis com 12 posições para barras de controle. Foram analisadas perturbações simétricas e assimétricas no núcleo, o qual tem inicialmente as barras de controle inseridas até a posição 40% da altura. O núcleo é dividido em quadrantes superiores e inferiores semelhante ao indicado na Figura 1.

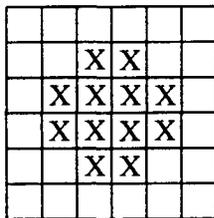


Figura 6 - Configuração do núcleo, os elementos com barras de controle são representados por "X".

O transiente (T3) no qual são inseridas quatro barras de controle no núcleo, uma de Q1S, duas de Q3S e uma de Q4S, formando o arco externo, até 60% da altura do núcleo durante duas horas e depois são retiradas. A Figura 7 mostra a distribuição da densidade de potência no instante da inserção das barras no núcleo na altura de 50%.

Nota-se a grande depressão da densidade de potência devido a presença das barras de controle. O fator de pico está localizado no quadrante em que não houve inserção de barras de controle.

A Figura 8 mostra o comportamento da fração de potência nos oito quadrantes do núcleo.

Nota-se, na Figura 8, que por causa da perturbação assimétrica os valores de densidade de potência variam de um quadrante para o outro. Na curva vermelha, de Q2S, verifica-se o aumento da densidade de potência no instante da inserção da barra de controle. Como não foi inserida barra neste quadrante, ele apresenta o maior valor de densidade de potência conforme pode-se ver também pela Figura 7.

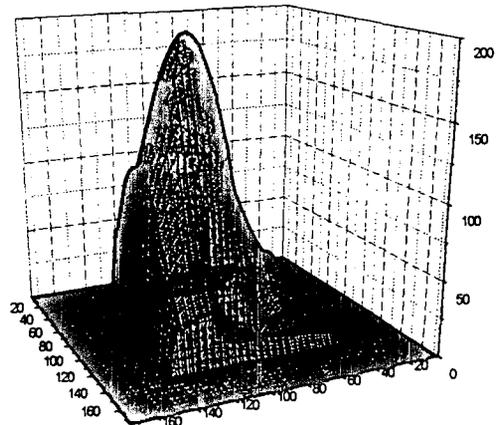


Figura 7 - Distribuição de densidade de potência a 40% da altura do núcleo, para o transiente (T3).

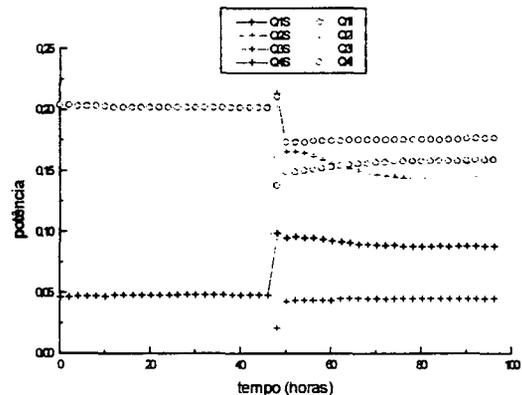


Figura 8 - Densidade de potência nos quadrantes do núcleo, para o transiente (T3).

No transiente (T4), semelhante ao (T3), as barras permanecem no núcleo por 24 horas sendo depois retiradas. A Figura 9 mostra o comportamento da densidade de potência nos oito quadrantes do núcleo.

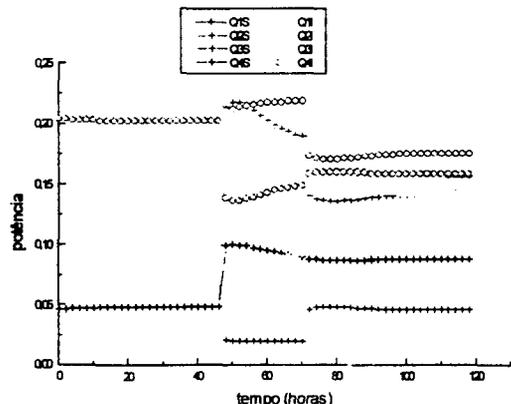


Figura 9 - Densidade de potência nos quadrantes do núcleo, para o transiente (T4).

Em todos os transientes realizados com o reator de pequeno porte não se observa oscilação de potência após cessar a movimentação de barra. O reator é estável quanto a oscilação espacial de Xenônio.

For small reactors it is not observed azimuthal nor axial xenon spatial oscillations.

## V. CONCLUSÕES

Sabe-se que núcleos de reatores de grande porte conduzem a oscilações espaciais de Xenônio. Utilizou-se para as análises tridimensionais o código CITATION. Para distribuições de potência relativamente planas há oscilações espaciais de Xenônio. Para os transientes realizados com distribuição de densidade de potência cossenoidal, o núcleo não apresenta oscilações de Xenônio. Em reatores de grande porte há uma acomodação da distribuição de potência na direção azimutal cerca de 40 horas após cessar a perturbação externa. A oscilação torna-se unidimensional na direção axial. A presença de barras de controle e a distribuição de potência que não seja uniforme no início do transiente inibem a oscilação espacial de Xenônio. Observou-se para reatores de pequeno porte que o núcleo é estável.

## REFERÊNCIAS

- [1] L. E. Strawbridge, E. C. Allard, C. P. Bhalla, **Xenon Induced Core Instabilities**, Pittsburg, Pennsylvania, WCAP-3269-48, February 1965.
- [2] John C. Lee, **Mid2 - A One Dimensional PWR Core Simulator Program**, The University of Michigan, Ann Arbor, Michigan, January, 1979.
- [3] T. B. Fowler, D. R. Vondy, G. W. Cunningham, **CITATION - Nuclear Reactor Core Analysis Code**, ORNL - TM - 2406, Oak Ridge National Laboratory, Tennessee, July, 1969.
- [4] C. C. G. Deccó, J. M. L. Moreira, **Oscilações de Xenônio em reatores de pequeno porte controladas somente por barras de controle**, VI CGEN, 1996.

## ABSTRACT

This work presents analysis of xenon spatial oscillations considering three-dimensional geometry for large and small PWR's. It is induced non-symmetric perturbations in the core through the motion of control rods. The studies are carried out using the CITATION code. In large PWR's it is observed that there is an accommodation of the power distribution in the azimuthal direction about 40 hours following the end of the external perturbation. The oscillations become unidimensional in the axial direction. It is observed also that the presence of control rods inside the core, and power density distributions in the beginning of the transient, which are not very uniform, inhibit spatial xenon oscillations.