

CONTROLE DAS OSCILAÇÕES AXIAIS DE XENÔNIO NO REATOR NUCLEAR DE ANGRA 1

Décio Brandes Moura Ferreira Júnior
Divisão de Engenharia de Sistemas e Reatores
Eletronuclear S. A. – ELETRONUCLEAR
Caixa Postal 73551 – Angra dos Reis
23903-000, Angra dos Reis, Brasil
e-mail: decioobr@eletronuclear.gov.br

Paulo Rogério Pinto Coelho
Departamento de Física Reatores
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN-CNEN/SP)
Caixa Postal 11049 - Pinheiros
05422-970 - São Paulo - SP - Brasil
e-mail: prcoelho@net.ipen.br

RESUMO

Um novo conceito para o acompanhamento e o controle de oscilações de xenônio tem se mostrado efetivo em reatores do tipo PWR de grande porte no Japão. Esse conceito é baseado em dois valores adicionais ao "Axial Offset" de Potência (AO_p): o "Axial Offset" de iodo (AO_i) e o "Axial Offset" de xenônio (AO_{xe}). O AO_i é definido como o "Axial Offset" da distribuição de potência que induziria a distribuição atual de iodo em condições de equilíbrio. O AO_{xe} é definido do mesmo modo que o AO_i para o xenônio, então, quando os três valores de "Axial Offset" são iguais nenhuma oscilação de xenônio existe. Esta metodologia para o acompanhamento e o Controle de Oscilação de xenônio recebe o nome de TRIAX, três sinais de "axial offset". O objetivo deste trabalho foi a utilização desta metodologia no computador de processos de Angra 1. Um estudo com dados reais da instrumentação da usina foi realizado para avaliar e validar a metodologia, obtendo-se ótimos resultados.

Palavras Chave: reator tipo PWR, oscilações de xenônio, modelo de reator de dois pontos, controle ótimo, procedimento guia contínuo, "axial offset"

1. INTRODUÇÃO

Em reatores nucleares tipo PWR de grande porte, três modos de oscilações induzidas de xenônio são conhecidos: o axial, radial e o azimutal. As oscilações do tipo radial e azimutal são normalmente convergentes, mas as do tipo axial podem tornar-se divergentes. Existem vários estudos e experimentos que visam o controle das oscilações axiais de xenônio [1] mas em geral exigem grandes tratamentos teóricos, que requerem a resolução do problema do valor de contorno e a não linearidade do cálculo da concentração de xenônio, em conjunto com a distribuição espacial da concentração de iodo e de xenônio.

ABSTRACT

A new concept for monitoring and control of Xenon oscillation has been implemented in Japan Pressurized Water Reactors. This new concept is based on two control parameters in addition to the Power Axial Offset (AO_p). They are: the Iodine Axial Offset (AO_i) and the Xenon Axial Offset (AO_{xe}). The Iodine Axial Offset is defined as the Axial Offset of the power distribution that would induce the real Iodine distributions, in equilibrium conditions. Similarly the (AO_{xe}) is defined for the Xenon distributions. When the three axial offset values are equal, one may conclude that there are no Xenon oscillations in reactor core. The Xenon oscillation control and monitoring concept is called TRIAX. This paper presents the implementation of this methodology and the in the computer process of Angra 1 and data set and results of calculations used for the validation of the method at the plant, where it obtained a good performance.

Uma nova metodologia para o acompanhamento e o controle de oscilações de xenônio tem se mostrado efetivo em reatores do tipo PWR de grande porte no Japão, através do processamento direto dos sinais dos canais da faixa de potência de uma usina.

As oscilações de xenônio são causadas por um desequilíbrio entre a distribuição de potência e de xenônio. Durante as condições estáveis estas distribuições estão em equilíbrio, bem como a distribuição do iodo, que é o precursor do xenônio. Então, em qualquer condição de equilíbrio, o que significa que nenhuma Oscilação de xenônio deverá ocorrer; os três valores de "Axial Offset" devem ser iguais. Esta simples condição pode então ser utilizada como critério para o controle de Oscilações de xenônio em reatores do tipo PWR.

2. METODOLOGIA DOS 3 SINAIS

Esse conceito é baseado no cálculo de dois valores adicionais de "Axial Offset" são os: "Axial Offset" de iodo (AOI) e "Axial Offset" de xenônio (AOXe).

O AOI é definido como o "Axial Offset" da distribuição de potência que induziria a distribuição atual de iodo em condições de equilíbrio. O AOXe é definido do mesmo modo que o AOI para o Xe. Este tipo de controle de oscilação de xenônio recebe o nome de TRIAX, três sinais de "Axial Offset".

Em um modelo simples de reator de dois pontos [2], as seguintes expressões podem ser escritas:

$$P = \frac{(P_t + P_b)}{2} \quad (1)$$

$$AO_p = \frac{P_t - P_b}{P_t + P_b} \quad (2)$$

Dividindo o reator em duas metades as equação que calculam as concentrações de iodo e xenônio podem ser separadas e escritas como:

$$\frac{dI_t}{dt} = \gamma_i \sum_f \phi P_t - \lambda_i I_t \quad (3)$$

$$\frac{dI_b}{dt} = \gamma_i \sum_f \phi P_b - \lambda_i I_b \quad (4)$$

$$\frac{dXe_t}{dt} = \gamma_{xe} \sum_f \phi P_t + \lambda_i I_t - (\sigma_a \phi P_t + \lambda_{xe}) Xe_t \quad (5)$$

$$\frac{dXe_b}{dt} = \gamma_{xe} \sum_f \phi P_b + \lambda_i I_b - (\sigma_a \phi P_b + \lambda_{xe}) Xe_b \quad (6)$$

Onde:

P - Potência Relativa do Núcleo

P_t - Potência Relativa na Parte Superior do Núcleo (topo)

P_b - Potência Relativa na Parte Inferior do Núcleo (base)

AO_p - "Axial Offset" de Potência

g_i, g_{xe} - Fração efetiva do iodo e do xenônio

λ_i, λ_{xe} - Constantes de Decaimento do iodo e do xenônio

S_f - Seção de Choque Macroscópica de Fissão

f - Fluxo neutrônico Total em 100% de Potência Nominal

sa - Seção de Choque Microscópica de Fissão do xenônio

I_t, I_b - Concentração de iodo na parte Superior do Núcleo e na Parte Inferior do Núcleo

Xe_t, Xe_b - Concentração de xenônio na parte Superior do Núcleo e na Parte Inferior do Núcleo

Quando o reator estiver em equilíbrio com $P_t = P_{tEq}$ e $P_b = P_{bEq}$, as concentrações de iodo e de xenônio para o equilíbrio podem ser calculadas como:

$$I_t^{Eq} = \frac{\gamma_i \sum_f \phi P_t^{Eq}}{\lambda_i} \quad (7)$$

$$I_b^{Eq} = \frac{\gamma_i \sum_f \phi P_b^{Eq}}{\lambda_i} \quad (8)$$

$$Xe_t^{Eq} = \frac{(\gamma_i + \gamma_{xe}) \sum_f \phi P_t^{Eq}}{\sigma_a \phi P_t^{Eq} + \lambda_{xe}} \quad (9)$$

$$Xe_b^{Eq} = \frac{(\gamma_i + \gamma_{xe}) \sum_f \phi P_b^{Eq}}{\sigma_a \phi P_b^{Eq} + \lambda_{xe}} \quad (10)$$

Quando a distribuição de iodo é conhecida, ou seja, as concentrações de iodo na parte superior e inferior do núcleo são conhecidas, pode-se avaliar a potência relativa da parte superior (P'_t) e da parte Inferior (P'_b) que daria a distribuição de iodo em condições de equilíbrio, utilizando as equações (7) e (8). Então pode-se calcular o "Axial Offset" de potência equivalente para o equilíbrio (AO_I) com base na distribuição de iodo utilizando-se os valores de P'_t e P'_b .

$$AO_I = \frac{P'_t - P'_b}{P'_t + P'_b} = \frac{I_t - I_b}{I_t + I_b} \quad (11)$$

Utilizando as equações (9) e (10) o "Axial Offset" de potência equivalente para o equilíbrio (AO_{Xe}) baseado na distribuição de xenônio é:

$$AO_{Xe} = \frac{(\gamma_i + \gamma_{xe}) \sum_f (Xe_t - Xe_b)}{(\gamma_i + \gamma_{xe}) \sum_f (Xe_t + Xe_b) - 2\sigma_a Xe_t Xe_b} \quad (12)$$

Quando o valor de P'_t for igual ao valor da potência nuclear de equilíbrio (P_{eq}) para a parte superior do núcleo e o valor de P'_b for igual ao valor P_{eq} para a parte inferior do núcleo, então,

o reator estará em equilíbrio com os três valores de "Axial Offset" iguais [3].

$$AO_p = AO_l = AO_{Xe} \quad (13)$$

3. MÉTODO DIRETO PARA O CONTROLE ÓTIMO DA OSCILAÇÃO DE XENÔNIO

Baseado na teoria apresentada anteriormente, quando os três sinais de "Axial Offset" forem iguais, nenhuma oscilação de xenônio será induzida e o controle da oscilação de xenônio pode ser feito do seguinte modo, figura 1 [4]:

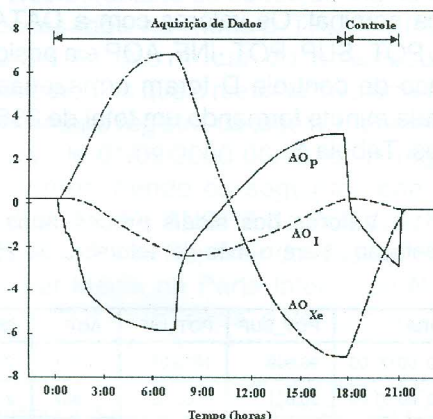


Figura 1: Comportamento do transiente dos três sinais de "Axial Offset" durante o oscilação de xenônio [6]

(1) Monitorando os sinais de AO_p (medido), AO_l e AO_{Xe} (sinais calculados) de modo "on-line" durante as oscilações.

(2) Controlando a distribuição de potência de modo que os valores de AO_l e AO_{Xe} se encontrem, através da movimentação de barras de controle.

(3) Quando os valores de AO_l e AO_{Xe} se encontrarem, novamente através da movimentação de barras de controle fazer com que o valor de AO_p atinja o valor de AO_l e AO_{Xe} .

4. PROCEDIMENTO GUIA DE MOVIMENTAÇÃO DE BARRAS DE CONTROLE PARA O CONTROLE DE OSCILAÇÕES DE XENÔNIO

O método direto visto no item anterior pode determinar a escolha do momento ideal para iniciar a movimentação dos bancos de controle para se atingir o valor alvo de AO_p . Entretanto este método não orienta o operador do reator no que se refere à direção e à quantidade de deslocamento das barras de controle, para a eliminação de Oscilação de xenônio.

Para compensar tal desvantagem, foi proposto um método que fornece informações sobre as oscilações de xenônio, através da visualização "on line" da relação dos três sinais de "Axial Offset", pela trajetória da curva ($AO_p - AO_{Xe}$) versus ($AO_l - AO_{Xe}$) em um plano X-Y. Através do comportamento característico desta curva foi desenvolvido um procedimento operacional para controlar a oscilação de xenônio. Figura 2:

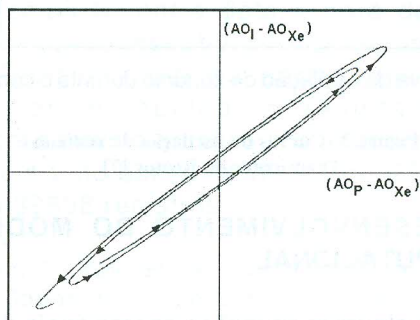


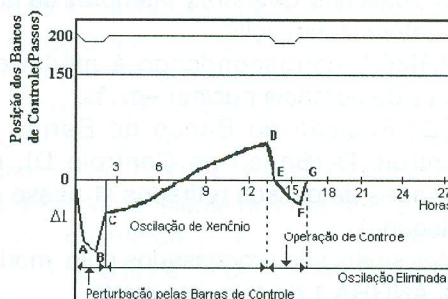
Figura 2 Exemplo da Trajetória da Elipse da Oscilação de xenônio [6]

A comprovação teórica para a afirmativa acima se encontra na referência [6].

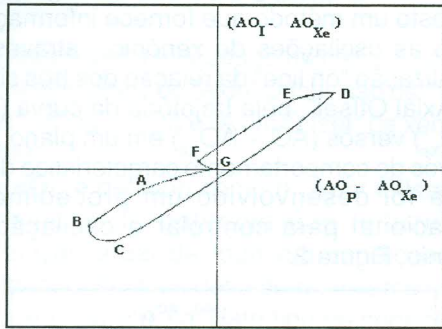
Quando as barras de controle são movimentadas a trajetória da curva responde segundo a Figura 3, com características bem definidas.

Quando a curva está na sua origem a oscilação de xenônio não mais existe. Como explicado anteriormente a característica da curva é simples e definida e a oscilação de xenônio pode ser suprimida fazendo a curva se mover para a sua origem. Com base no perfil da trajetória da curva a seguinte estratégia de controle pode ser aplicada.

Com este método as informações sobre a direção e o total de movimentação de barras de controle podem ser determinadas através da visualização "on-line" uma informação qualitativa do efeito da movimentação das barras de controle no perfil da curva.



a - Transientes do reator durante o controle das oscilações de xenônio



b - Curva da oscilação de xenônio durante o controle.

Figura 3 - Curvas da oscilação de xenônio e Transientes do Reator [7].

5. DESENVOLVIMENTO DO MÓDULO COMPUTACIONAL

Em algumas situações operacionais de um reator tipo PWR é necessária a atuação do operador do Reator para o amortecimento das oscilações de xenônio. Para fornecer uma ferramenta que auxilie os operadores do reator nesta situação foi desenvolvido o módulo chamado *TRIAX ANGRA 1 - Acompanhamento e Controle das Oscilações de xenônio*. No módulo desenvolvido foi realizado um estudo para avaliar as proposições aqui apresentadas utilizando dados reais de operação de Angra 1. Os seguintes sinais provenientes da instrumentação são consultados no banco de dados do computador de processos de ANGRA 1 pelo módulo TRIAX ANGRA 1:

- DATA e HORA
- N41S, N42S, N43S e N44S: correspondendo aos sinais dos detetores superiores da faixa de potência, em volts.
- N41I, N42I, N43I e N44I: correspondendo aos sinais dos detetores inferiores da faixa de potência, em volts.
- TMRM07: correspondendo à média dos sinais de potência nuclear em %.
- BCD: Posição do Banco de Barras de Controle D (Banco de Controle D), em unidades de passos retirados (1 passo = 1 polegada).

Estes sinais são processados pelo módulo TRIAX ANGRA 1 do seguinte modo:

- $MEDIA_NS = (N41S + N42S + N43S + N44S) / 4$
- $MEDIA_NI = (N41I + N42I + N43I + N44I) / 4$

- $K = TMRM07 * 2 / (MEDIA_NS + MEDIA_NI)$
- $POT_SUP = MEDIA_NS * K$
- $POT_INF = MEDIA_NI * K$
- $AOP = (POT_SUP - POT_INF) / (POT_SUP + POT_INF) * 100$

Os dados acima relacionados foram registrados, a cada minuto, em uma tabela do banco de dados do módulo TRIAX ANGRA 1. Neste trabalho esta tabela recebeu os dados operacionais válidos de Angra 1 para o mês de setembro do ano 2000, quando o reator operou praticamente o tempo todo em 100% de potência nominal. Os valores com a DATA e HORA, POT_SUP, POT_INF, AOP e a posição do banco de controle D foram armazenados para cada minuto formando um total de 39609 registros. Tabela 1.

Tabela 1 - Valores dos sinais processados da instrumentação, para o mês de setembro de 2000

DATA_HORA	POT_SUP	POT_INF	AOP	BCD
01/09/2000 00:00:00	96,999	100,237	-1,641	205
01/09/2000 00:01:00	96,821	100,145	-1,687	205
01/09/2000 00:02:00	97,119	100,388	-1,655	205
.....
29/09/2000 23:57:00	94,757	97,614	-1,485	214
29/09/2000 23:58:00	94,854	97,667	-1,461	214
29/09/2000 23:59:00	94,6	97,44	-1,479	214

* Armazenados na Tabela 1 no banco de dados do módulo TRIAX ANGRA 1

No módulo TRIAX ANGRA 1 foram desenvolvidas as seguintes funções:

- $I(I_o, P, t)$ - determina a concentração de *iodo* em átomos/cm³, conhecendo-se a concentração inicial de iodo e a potência nuclear, após um intervalo de tempo.
- $Xe(Xe_o, I_o, P, t)$ - determina a concentração de *xenônio* em átomos/cm³, conhecendo-se a concentrações iniciais de iodo, xenônio e a potência nuclear, após um intervalo de tempo.
- $I_EQUI(P)$ - determina a concentração de *iodo* em átomos/cm³ para o equilíbrio de iodo com o reator operando com uma determinada potência nuclear.

- **Xe EQUI(P)** - determina a concentração de xenônio em átomos/cm³ para o equilíbrio da xenônio para o reator operando com uma determinada potência nuclear.
- **AO_I (I_SUP, I_INF)** – determina o “Axial Offset de iodo” (AO_I) conhecendo-se a concentração de iodo da parte superior e inferior do núcleo.
- **AO_Xe (Xe_SUP, Xe_INF)** – determina o “Axial Offset de xenônio” (AO_{Xe}) conhecendo-se a concentração de xenônio da parte superior e inferior do núcleo.

Neste trabalho os dados da tabela 1 foram processados no módulo TRIAX ANGRA 1. Figura 4. No início do processamento considerou-se que o reator estava em equilíbrio e o primeiro registro da tabela 1 referente data e hora de 01/09/2000 00:00 foi carregado na tela preenchendo os seguintes campos do módulo TRIAX ANGRA 1: Potência Nuclear Média na Parte Superior do Núcleo, Potência Nuclear Média na Parte Inferior do Núcleo, “Axial Offset de Potência” e Posição dos Bancos de Controle D.

Simultaneamente foram calculados, utilizando as funções: **I EQUI(P)**, **Xe EQUI(P)**, **AO_I(I_SUP, I_INF)** e **AO_Xe(XE_SUP, XE_INF)**, os valores das concentrações de equilíbrio de iodo e xenônio na parte superior e inferior do núcleo, o “Axial Offset de iodo” (AOI), o “Axial Offset de xenônio” (AOXe), (AOP – AOXe) e (AOP – AOI). Pela metodologia TRIAX quando o reator está em equilíbrio os três valores de “Axial Offset” são iguais, como pode ser observado no módulo TRIAX ANGRA 1, Figura 4.

The screenshot shows the 'TRIAX ANGRA 1 - Acompanhamento das Oscilações Axiais de Xenônio' window. It contains several input fields and calculated values:

- Data e Hora:** 01/09/00 00:00
- Banco de Controle D:** 205
- Modo de Operação:** OFF LINE (com a instrumentação)
- Potência Média na Parte Superior do Núcleo:** 18.8215
- Potência Média na Parte Inferior do Núcleo:** 100.1456
- Axial Offset de Potência (ADP):** 11.8876
- Conc. de Iodo na Parte Superior do Núcleo:** 7.2749181E-09
- Conc. de Iodo na Parte Inferior do Núcleo:** 7.5247502E-09
- Axial Offset de Iodo (AOI):** -1.6876
- Conc. de Xenônio na Parte Superior do Núcleo:** 2.4181604E-09
- Conc. de Xenônio na Parte Inferior do Núcleo:** 2.4370000E-09
- Axial Offset de Xenônio (AOXe):** 1.6885
- ADP - ADP*:** 0.0000
- AOI - AOXe:** 0.0000

Figura 4 – Módulo TRIAX ANGRA 1

Os dados da tabela 1 foram processados pelo módulo TRIAX ANGRA 1 utilizando as funções: **I (I_o, P, t)**, **Xe (Xe_o, I_o, P, t)**,

AO_I(I_SUP, I_INF) e **AO_Xe (XE_SUP, XE_INF)**. O Módulo TRIAX ANGRA 1 calcula e grava na Tabela 2 as concentrações de iodo e xenônio na parte superior e inferior do núcleo, AOI, AOXe, (AOP – AOXe) e (AOI – AOXe).

Sendo conhecidas as concentrações iniciais de iodo e xenônio na parte superior e inferior do núcleo, utilizando a diferença de tempo (t) entre data e hora de dois registros consecutivos e os valores da potência nuclear na parte superior e inferior do núcleo, o resultado do processamento atualizou os dados de uma Tabela 2 no banco de dados do REATIV, com 39608 registros.

Tabela 2 - Valores das concentrações de iodo e calculados pelo módulo TRIAX ANGRA 1

DATA HORA	I_SUP	I_INF	AO_I	Xe_SUP	Xe_INF	AO_Xe
01/09/00 00:01	7,2749 E-09	7,5246 E-09	-1,6876	2,4181 E-09	2,437 E-09	-1,6876
01/09/00 00:02	7,2749 E-09	7,5247 E-09	-1,6875	2,4181 E-09	2,437 E-09	-1,6885
01/09/00 00:03	7,2749 E-09	7,5247 E-09	-1,6874	2,4181 E-09	2,4369 E-09	-1,6894
.....
29/09/00 23:57	7,2391 E-09	7,3737 E-09	-0,9221	2,437 E-09	2,4549 E-09	-1,624
29/09/00 23:58	7,2389 E-09	7,3737 E-09	-0,923	2,437 E-09	2,4548 E-09	-1,6114
29/09/00 23:59	7,2387 E-09	7,3736 E-09	-0,9239	2,4371 E-09	2,4547 E-09	-1,5981

6. ESTUDO DO MÉTODO DIRETO PARA O CONTROLE ÓTIMO DAS OSCILAÇÕES DEXENÔNIO

Com a primeira interface gráfica do módulo TRIAX ANGRA 1 é possível acompanhar as variações do AOI, AOXe, AOP e a posição do banco de controle D para determinado intervalo de tempo selecionado pelo usuário, utilizando os dados das tabelas 1 e 2. Pode-se observar pela figura 5 as variações dos sinais de AO_I, AO_{Xe} e AO_P para as seguintes sequências de movimentação de banco de controle D que ocorreram entre dias 22 e 24 do mês de setembro de 2000. Na Figura 5 é apresentado o gráfico do transiente dos três sinais de “Axial Offset” do banco D, Durante a redução de potência e o teste de calibração dos detectores externos, a oscilação de xenônio suprimida pela técnica do “Bang-Bang”.

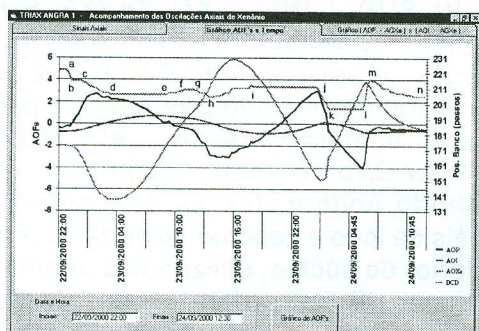


Figura 5 - Gráfico do Transiente dos Três Sinais de "Axial Offset" do Banco D

Neste intervalo de tempo foi realizado do teste periódico no qual é obtida a correlação entre o fluxo de nêutros medido com os detectores internos e o fluxo de nêutros medido com os detectores externos. As calibrações dos detectores externos são então realizadas.

Para a realização deste teste uma oscilação de xenônio é induzida para aquisição de dados pelos detectores internos e em seguida amortecida pela técnica do "bang-bang".

Pode-se notar que pelos perfis das curvas da figura 5 que o transiente dos três sinais de "Axial Offset" foi semelhante aos formatos das curvas encontrados no gráfico da Figura 1 e que quando o valor de AO_p se estabilizou no final do teste o valor dos três valores de "Axial Offset" tornaram-se praticamente iguais.

A Figura 6 mostra que no final do mês de setembro de 2000 o controle da oscilação de xenônio era realizado quando a amplitude da oscilação começou a aumentar.

A sequencia de movimentação (a,b) feita neste período não foi suficiente para reverter a tendência do AO_p direcionar-se para um valor mais positivo.

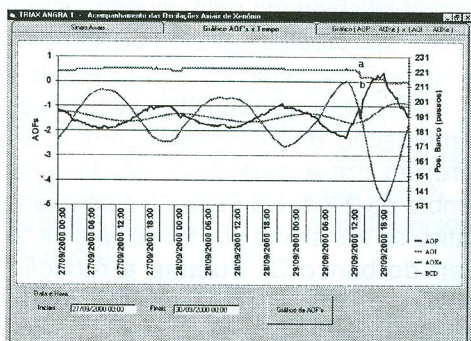


Figura 6 - Gráfico do transiente dos três sinais de "Axial Offset" e do banco de controle D

Pode-se observar pelo comportamento da curva dos três sinais de "axial offset" que a oscilação de xenônio tornou-se divergente. Esta oscilação foi amortecida posteriormente sem que o valor de AO_p tivesse se desviado mais do que o valor permitido pelos procedimentos operacionais de Angra 1.

7 - ESTUDO DO PROCEDIMENTO GUIA CONTÍNUO PARA O CONTROLE DE OSCILAÇÕES DE XENÔNIO

Com a segunda interface gráfica do módulo TRIAX ANGRA 1 é possível verificar o perfil da curva ($AOP - AOXe$) versus ($AOI - AOXe$), em um plano X -Y. Neste trabalho a curva característica ($AOP - AOXe$) versus ($AOI - AOXe$) da oscilação de xenônio foi chamada de gráfico de SHIMAZU, figuras 7 e 8.

Observa-se pela curva do gráfico de SHIMAZU na Figura 7, da oscilação de xenônio, o comportamento anti-horário em forma de espiral que se torna cada vez maior, como foi destacado na parte teórica deste trabalho.

Também foi verificado que uma inserção de um passo do banco de controle D faz a curva do gráfico se mover em uma direção paralela ao eixo, X negativa, sequência (a,b) de movimentação de bancos de controle, Figura 7. Também é possível observar que uma elipse completa é formada durante um ciclo de Oscilação de xenônio.

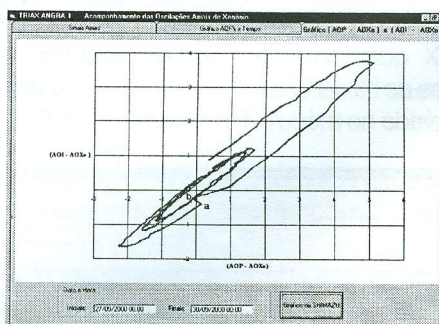
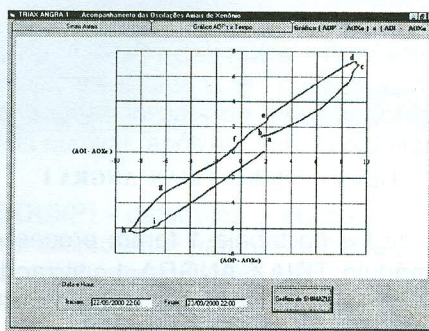
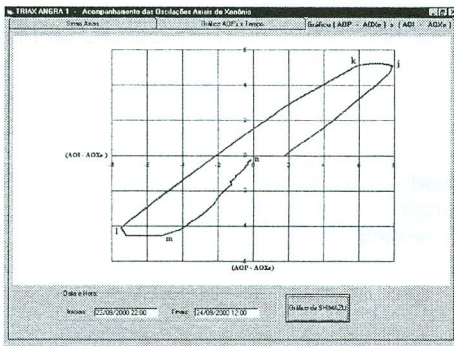


Figura 7 - Gráfico de SHIMAZU, durante o controle da oscilação de xenônio.



a)



b)

Figura 8 –Gráfico de SHIMAZU durante a redução de carga e a realização do teste para calibração dos detectores externos.

A Figura 8 mostra o gráfico de SHIMAZU para o período em que se realizou a redução de potência e o procedimento teste de calibração dos detectores externos. Este gráfico mostra que quando o valor de AO_p foi estabilizado no seu valor de equilíbrio a curva dirigiu-se para o centro e a oscilação de xenônio foi suprimida.

8. CONCLUSÕES

Os estudos feitos com módulo TRIAX ANGRA 1 mostrou que o comportamento das curvas dos três sinais de “Axial Offset” aplicadas em Angra 1, através de suas duas interfaces gráficas, estão de acordo com o comportamento teórico esperado. Portanto pode-se considerar que as equações, metodologias e o sistema apresentados neste trabalho são válidos para o acompanhamento e controle das oscilações axiais de xenônio em Angra 1.

Através do Procedimento Guia para o Controle da oscilação de xenônio a informação necessária para determinar a direção e o valor total da barra de controle à ser movimentada é apresentado continuamente na tela do computador e o efeito da operação de controle também pode ser verificado simultaneamente. Isto ajudará ao operador do reator acompanhar os resultados de suas ações no controle de uma oscilação de xenônio.

9. REFERÊNCIAS

- [1] Strawbridge, L. E.; Allard, E. C.; Bhalla, C. P. Xenon Induced Core Instabilities. Westinghouse Electric Corporation, Pittsburgh, Pennsylvania, WCAP-3269-48, Feb. 1965.

- [2] ONEGA, R.J. An Axial Xenon Oscillation Model - Annals of Nuclear Energy. UK, 25(1), pg. 13 à 19, 1978.
- [3] Shimazu, Y.; Kanagawa, T. Optimal Control of Xenon Oscillation in PWRs Based On Simple On-Line Data Processing. Proc. Int. Conf. On Physics of Reator; Operation, Design and Computation, Marseille, France, April, 1990.
- [4] Shimazu, Y. Direct Method of Search for Optimal Xenon Oscillation Control Based on New Concept of Axial Offsets. Jornal of Nuclear Science and Technology, 29[10], pg. 966 à 971, Oct. 1992.
- [5] Shimazu, Y. Continuous Guidance Procedure for Xenon Oscillation Control. Jornal of Nuclear Science and Technology, 23[2], pg.95 à 100, Feb. 1995.
- [6] T. Proc. Int. On the Physic of Reactors; Operation, Design and Computation, Marseille, France, April, 1990. Vol. 1 pg. 110.
- [7] Journal of Nuclear Science and Technology, February 1995, 32{2}, pg. 99

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR/CNEN