

UTILIZAÇÃO DA METODOLOGIA DOS TRÊS SINAIS DE “AXIAL OFFSET” PARA MONITORAÇÃO E CONTROLE DAS OSCILAÇÕES AXIAIS DE XENÔNIO NO REATOR NUCLEAR DE ANGRA 1

Décio Brandes Moura Ferreira Júnior¹, Paulo Rogério Pinto Coelho²

¹Eletrobrás Termonuclear S. A. – ELETRONUCLEAR
Divisão de Engenharia de Sistemas e Reatores
Caixa Postal 73551 – Angra dos Reis
23903-000, Angra dos Reis, Brasil
e-mail: decioibr@eletronuclear.gov.br

²Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN-CNEN/SP)
Departamento de Física Reatores
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.

Keywords: PWR type reactors, xenon oscillations, axial offset, optimal control, two point reactor model.

I. 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.

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.

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.

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.

II. METODOLOGIA DOS 3 SINAIS

Esse conceito é baseado no cálculo de dois valores adicionais de “Axial Offset” são os: “Axial Offset” de iodo (AO_I) e “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 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 equações que calculam as concentrações de iodo e xenônio podem ser separadas e escritas como:

$$\frac{dI_t}{dt} = g_i \sum_f fP_t - I_t I_t \quad (3)$$

$$\frac{dI_b}{dt} = g_i \sum_f fP_b - I_t I_b \quad (4)$$

$$\frac{dXe_t}{dt} = g_{xe} \sum_f fP_t + I_t I_t - (s_a fP_t + I_{xe}) Xe_t \quad (5)$$

$$\frac{dXe_b}{dt} = g_{xe} \sum_f fP_b + I_t I_b - (s_a fP_b + I_{xe}) Xe_b \quad (6)$$

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
- γ_i, γ_{xe} - Fração efetiva do iodo e do xenônio
- λ_i, λ_{xe} - Constantes de Decaimento do iodo e do xenônio
- Σ_f - Seção de Choque Macroscópica de Fissão
- φ - Fluxo neutrônico Total em 100% de Potência Nominal
- σ_a - 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_t^{Eq} e P_b = P_b^{Eq}, as concentrações de iodo e de xenônio para o equilíbrio podem ser calculadas como:

$$I_t^{Eq} = \frac{g_i \sum_f fP_t^{Eq}}{I_i} \quad (7)$$

$$I_b^{Eq} = \frac{g_i \sum_f fP_b^{Eq}}{I_i} \quad (8)$$

$$Xe_t^{Eq} = \frac{(g_t + g_{xe}) \sum_f fP_t^{Eq}}{s_a fP_t^{Eq} + I_{xe}} \quad (9)$$

$$Xe_b^{Eq} = \frac{(g_t + g_{xe}) \sum_f fP_b^{Eq}}{s_a fP_b^{Eq} + I_{xe}} \quad (10)$$

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.

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

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

$$AO_{xe} = \frac{(g_t + g_{xe}) \sum_f (Xe_t - Xe_b)}{(g_t + g_{xe}) \sum_f (Xe_t + Xe_b) - 2s_a Xe_t Xe_b} \quad (12)$$

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].

$$AO_p = AO_t = AO_{xe} \quad (13)$$

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.

III. 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, fig.1 [4]:

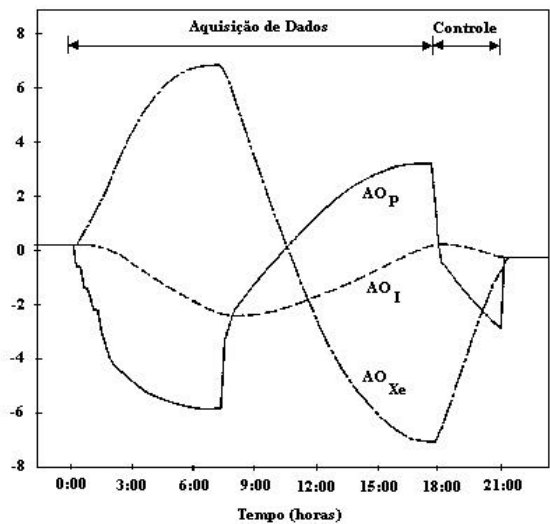


Figura 1. Comportamento do Transiente dos Três Sinais de “Axial Offset” Durante a Oscilação de Xenônio [4].

- (1) Monitorando os sinais de AO_p (medido), AO_t 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_I e AO_{Xe} se encontrem, através da movimentação de barras de controle.
- (3) Quando os valores de AO_I 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_I e AO_{Xe} .

IV. 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 de referência 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 ($AO_I - AO_{Xe}$) em um plano X-Y.

Através do comportamento característico desta curva foi desenvolvido um procedimento operacional para controlar a oscilação de xenônio, Fig. 2.

A comprovação teórica para a afirmativa acima se encontra na referência [5].

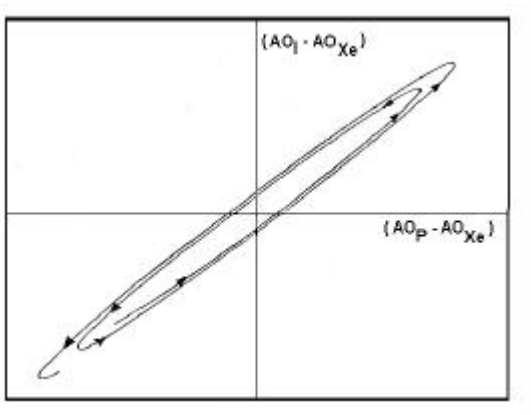


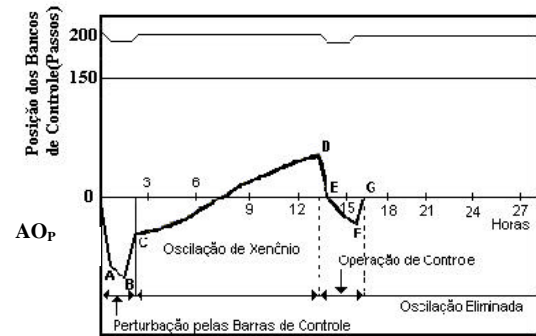
Figura 2. Exemplo da Trajetória da Elipse da Oscilação de Xenônio [5].

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

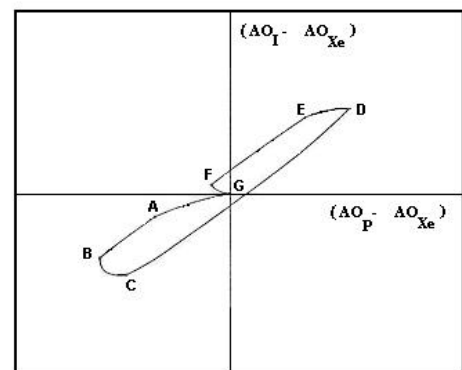
Quando a curva está na sua origem a oscilação de xenônio não mais existe. Como explicado anteriormente a característica da curva é simples e definida e a oscilação de xenônio pode ser suprimida fazendo a curva se mover para a sua origem. Com base no perfil da trajetória da curva a seguinte estratégia 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 [5].

V. 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 detectores superiores da faixa de potência, em volts.
- N41I, N42I, N43I e N44I: correspondendo aos sinais dos detectores 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
01/09/00 00:00:00	96,999	100,237	-1,641	205
01/09/00 00:01:00	96,821	100,145	-1,687	205
01/09/00 00:02:00	97,119	100,388	-1,655	205
.....
29/09/00 23:57:00	94,757	97,614	-1,485	214
29/09/00 23:58:00	94,854	97,667	-1,461	214
29/09/00 23:59:00	94,600	97,440	-1,479	214

* Armazenados no Banco de Dados do Módulo Triax Angra 1.

No módulo TRIAX ANGRA 1 foram desenvolvidas as seguintes funções :

- $I(I_0, P, t)$ - determina a concentração de *iodo* em átomos/cm³, conhecendo-se a concentração inicial de iodo e a potência nuclear, após um intervalo de tempo.
- $Xe(Xe_0, I_0, P, t)$ - 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 de 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, Fig. 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, Fig. 4.



Figura 4. Módulo TRIAX ANGRA 1.

Os dados da tabela 1 foram processados pelo módulo TRIAX ANGRA 1 utilizando as funções: $I(I_0, P, t)$, $Xe(Xe_0, I_0, P, t)$, $AO_I(I_SUP, I_INF)$ 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 concentração 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 da Tabela 2 no banco de dados do REATIV, com 39608 registros.

TABELA 2. Valores das Concentração de Iodo e Xenônio Calculados Pelo Módulo Triax Angra 1

DATA HORA	I_SUP	I_INF	AO_I	Xe_SUP	Xe_INF	AO_Xe
01/09/2000 00:01	7,2749 E-09	7,5246 E-09	-1,6876	2,4181 E-09	2,4370 E-09	-1,6876
01/09/2000 00:02	7,2749 E-09	7,5247 E-09	-1,6875	2,4181 E-09	2,4370 E-09	-1,6885
01/09/2000 00:03	7,2749 E-09	7,5247 E-09	-1,6874	2,4181 E-09	2,4369 E-09	-1,6894
.....
29/09/2000 23:57	7,2391 E-09	7,3737 E-09	-0,9221	2,4370 E-09	2,4549 E-09	-1,6240
29/09/2000 23:58	7,2389 E-09	7,3737 E-09	-0,9230	2,4370 E-09	2,4548 E-09	-1,6114
29/09/2000 23:59	7,2387 E-09	7,3736 E-09	-0,9239	2,4371 E-09	2,4547 E-09	-1,5981

VI. ESTUDO DO MÉTODO DIRETO PARA O CONTROLE ÓTIMO DAS OSCILAÇÕES DE XENÔNIO

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 seqüências de movimentação de banco de controle D que ocorreram entre os dias 22 e 24 do mês de setembro de 2000. Na Fig. 5 é apresentado o gráfico do transiente dos três sinais de “Axial Offset” do banco de controle D, Durante a redução de potência para os testes de calibração dos detectores externos.

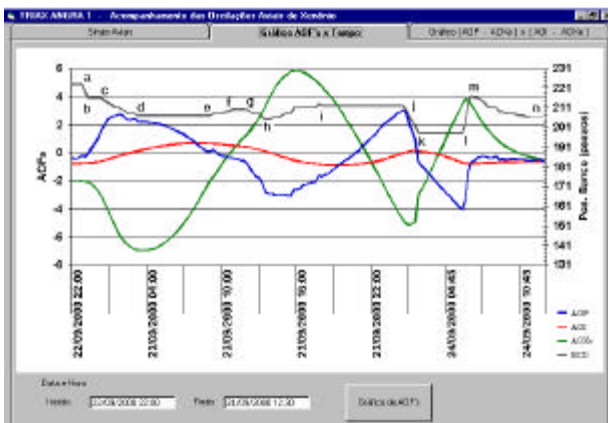


Figura 5. Gráfico do Transiente dos Três Sinais de “Axial Offset” do Banco de Banco D.

Neste intervalo de tempo foi realizado o teste periódico no qual é obtida a correlação entre o fluxo de nêutrons medido com os detectores internos e o fluxo de nêutrons 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” [6]. As seguintes movimentações do Banco de Controle D foram realizadas com os seguintes efeitos sendo observados:

(a,b) O banco de controle D foi inserido para a redução da potência nuclear de 100% para 90%, o que é exigido para a realização do procedimento teste de calibração. Pela figura fig.5 é possível observar que a partir deste instante ocorreu um aumento no valor do AO_P e uma oscilação de Xenônio foi introduzida como pode ser observado pelos sinais de AO_I e AO_{Xe}. O aumento no valor de AO_P foi provocado pela diminuição na temperatura média refrigerante devido a redução da potência nuclear, pelo fato do coeficiente de temperatura do moderador ser negativo a mudança na reatividade foi maior na parte superior do núcleo que na parte inferior do núcleo, devido a uma maior redução da temperatura na parte superior do núcleo. Como consequência a distribuição de potência sofreu um deslocamento em direção a parte superior do núcleo reduzindo a concentração de Xenônio nesta região.

(c,d) O banco de controle D foi inserido para fazer com que o valor de AO_P fosse direcionado novamente para o seu valor de referência. A introdução do banco de controle foi contrabalançada pela diluição do Ácido Bórico.

(e,f) O banco de controle D foi ligeiramente retirado para manter o valor de AO_P no seu valor de referência, enquanto foi realizado o primeiro mapeamento do fluxo de nêutrons com AO_P igual à -0,5.

(g,h) O banco de controle D foi inserido para fazer com que o valor de AO_P se desviasse para um valor mais negativo. Dois mapeamentos do fluxo do nêutrons foram realizados quando os valores de AO_P eram iguais a -2,5 e -4,8 respectivamente.

(h,i) O banco de controle D foi retirado para fazer com que o valor de AO_P se desvie para um valor mais positivo.

(i,j) O banco de controle D foi mantido em uma posição constante enquanto o valor de AO_P tendia para um valor mais positivo. Dois mapeamentos do fluxo do nêutrons realizados quando os valores de AO_P eram iguais a 3,2 e 4,7 respectivamente.

(j,k) O banco de controle D foi inserido para fazer com que o valor de AO_P fosse direcionado para o seu valor de referência. O valor da diferença (E) entre o valor de AO_P no início da movimentação do banco de controle D e o valor esperado foi registrado. Sendo este o início da movimentação dos bancos de controle para o amortecimento da oscilação de Xenônio pela técnica do “bang-bang”.

(k,l) O banco de controle D foi mantido em uma posição constante enquanto o valor de AO_P tendia para um valor mais negativo.

(l,m) Quando a diferença entre o valor de AO_P negativo e o valor de referência alcançou em módulo um valor igual a (E) os bancos de controle foram retirados para fazer com que o valor de AO_P fosse direcionado novamente para o valor de referência.

(m,n) Como o valor de AO_P ainda apresentava uma tendência a aumentar o banco de controle D foi aos poucos sendo inserido até que o valor de AO_P ficasse constante.

Pode-se notar que pelos perfis das curvas da fig. 5 que o transiente dos três sinais de “Axial Offset” foi semelhante aos formatos das curvas encontrados no gráfico da Fig. 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.

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

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) de barras de controle não foi suficiente para reverter a tendência do AO_P direcionar-se para um valor mais positivo.

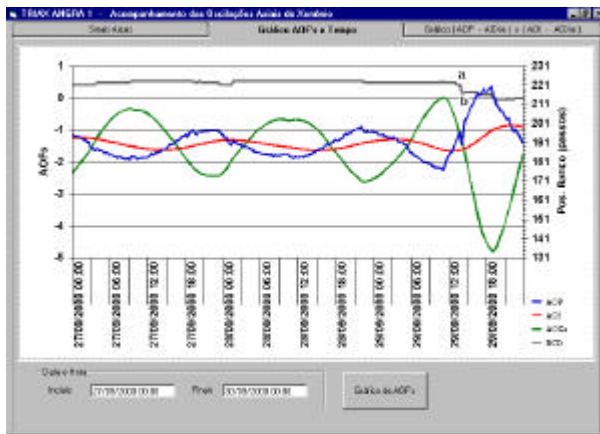


Figura 6. Gráfico do Transiente dos Três Sinais de “Axial Offset” E do Banco de Controle D.

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

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 Fig. 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, Fig. 7. Também é possível observar que uma elipse completa é formada durante um ciclo de Oscilação de xenônio.

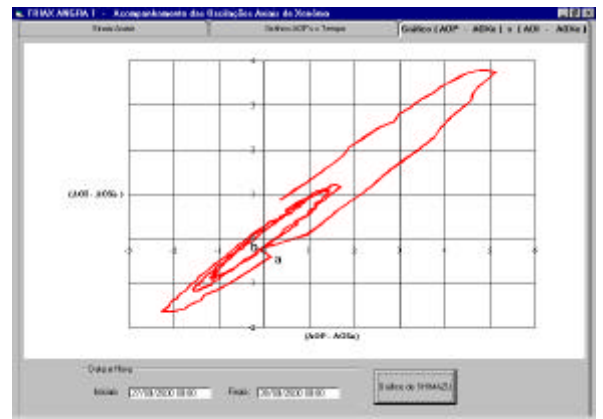
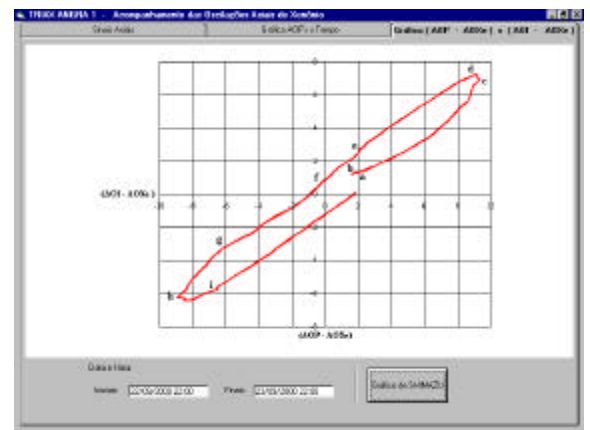
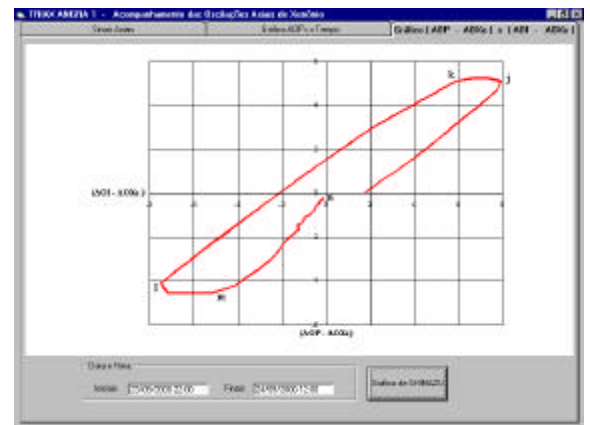


Figura 7. Gráfico de Shimazu, Durante o Controle da Oscilação de Xenônio.

A 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.



a)



b)

Figura 8. Gráfico de Shimazu Durante a Redução de Carga e a Realização do Teste para Calibração dos Detectores Externos.

VIII. 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 a 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.

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 in the computer process of Angra 1 and the data set and the results of calculations used for the validation of the method at the plant, where it was obtained a good performance.

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 Reactor; 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**. Journal of Nuclear Science and Technology, 29[10], pg. 966 à 971, Oct. 1992.
- [5] Shimazu, Y. **Continuous Guidance Procedure for Xenon Oscillation Control**. Journal of Nuclear Science and Technology, 23[2], pg.95 à 100, Feb. 1995.
- [6] Brandes, D. M. F. **Desenvolvimento de um Sistema Computacional para Monitoração dos Parâmetros de Reatividade e das Oscilações Axiais de Xenônio do Reator Nuclear de Angra 1**. Pg. 56 e 57, Dissertação de Mestrado, IPEN, 2001.

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