

MEDIDA DO TEMPO DE RESPOSTA DOS MEDIDORES DE PRESSÃO DO SPR DA U.N.A. A. A. - UNIDADE I UTILIZANDO O MÉTODO DE MEDIDA DIRETA

Sergio Ricardo Pereira Perillo* , Iraci Martínez Pereira Gonçalves* , Roberto Carlos do Santos* , Adalberto José Soares* ,
Luís Carlos da Silva Torrentes**

*Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN-CNEN/SP
Caixa Postal 11049
05422-970, São Paulo, Brasil

**Furnas Centrais Elétricas S.A
Usina Nuclear de Angra I.
Rodovia Rio - Santos Km 132
23900 - Angra dos Reis - RJ, Brasil

RESUMO

O presente trabalho apresenta os resultados das medidas de tempo de resposta dos transdutores de pressão ligados ao Sistema de Proteção da Usina Nuclear de Angra I utilizando o método de medida direta. Para isso foi utilizado um gerador hidráulico de rampas de pressão. Foram analisados 17 transdutores na faixa de 0 a 700kPa.

I. INTRODUÇÃO

O objetivo deste trabalho é apresentar os resultados das medidas de tempo de resposta dos transdutores de pressão dos canais de proteção da Usina Nuclear de Angra I. Devido a limitações de projeto da bancada utilizada, foram analisados somente os sensores com faixas de pressão até o limite de 700kPa.

Esse trabalho é fruto de um acordo entre o IPEN e FURNAS [1] para determinar o tempo de resposta dos instrumentos ligados ao Sistema de Proteção de Reator da Usina Nuclear de Angra I, onde serão realizadas medidas do tempo de resposta de transdutores de pressão e de temperatura utilizando-se diferentes técnicas [2,3].

II. METODOLOGIA UTILIZADA NOS TESTES

Neste trabalho os testes utilizados foram o de rampa de pressão e o de degrau de pressão. O primeiro consiste em se aplicar ao transdutor sob investigação e simultaneamente a outro transdutor, considerado como referência, um sinal de pressão em forma de rampa, e comparar as respostas de saída de ambos os instrumentos. Desta forma é possível determinar o "tempo de atraso" do transdutor analisado, termo este definido como o atraso assintótico entre a resposta do transdutor de referência e do

transdutor sob investigação. Este sinal pode ser aplicado a qualquer sistema linear. Este método foi desenvolvido na década de 70 pela Nuclear Services Corporation, empresa contratada na época pela Electric Power Research Institute, e utiliza um equipamento conhecido como "gerador hidráulico de rampa" [4].

O degrau de pressão é similar ao teste em rampa, e utiliza o mesmo gerador hidráulico de pressão, com a diferença de que o teste é tão rápido, que para efeito prático pode ser visto como um degrau de pressão.

Descrição da Bancada Utilizada nos Testes. Conforme visto na Fig. 1, o gerador compreende dois cilindros: um cilindro hidráulico (A_1) e um cilindro responsável pelo suprimento de pressão durante os testes, ou acumulador (A_2).

Uma válvula agulha (V-05) posicionada na saída do acumulador serve para controlar e ajustar a inclinação da rampa, e uma válvula solenóide em série a esta válvula serve para dar início ao transiente.

Com a válvula solenóide fechada e a válvula agulha ajustada, estabelece-se a pressão no cilindro (A_1) até que a pressão inicial seja menor que a pressão no cilindro (A_2). Uma vez ajustada a rampa através da válvula agulha, abre-se a válvula solenóide para dar início ao teste.

III. PROGRAMA EXPERIMENTAL

Os 17 transdutores analisados neste trabalho e a sua localização são mostrados na TABELA 1.

Os testes realizados com os transdutores foram divididos em dois grupos distintos: degrau e rampa, obtendo-se a constante de tempo e o tempo de atraso, respectivamente.

Para os testes envolvendo rampa, procurou-se utilizar três rampas com inclinações distintas e três medidas para cada inclinação. Para os testes de degrau foram feitos de cinco a oito testes.

Como indicado na Fig. 2, antes de se aplicar os testes de rampa de pressão, foram feitos os registros dos valores correspondentes as pressões de setpoint " P_{SP} " (nível para determinação do tempo de atraso), pressão de rampa " P_{RAMPA} " (para cálculo da taxa de subida da rampa) e a pressão inicial do cilindro hidráulico " $P_{INICIAL}$ ". Estes registros foram feitos para o transdutor analisado e para o transdutor de referência.

Na TABELA 2 são apresentadas as médias dos valores encontrados para a constante de tempo e tempo de atraso dos testes com degrau e rampa de pressão para cada instrumento analisado, juntamente com os seus respectivos desvios.

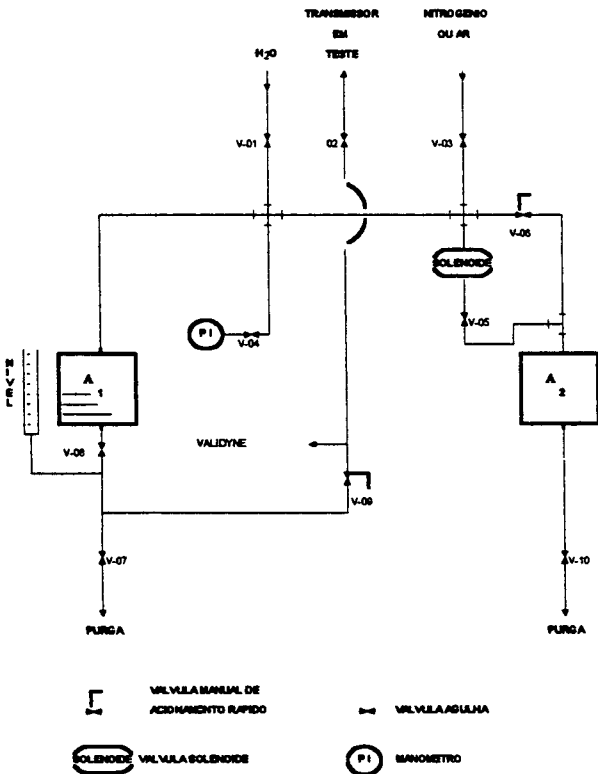


Figura 1. Esquema Simplificado da Bancada de Ensaio Dinâmico de Pressão.

Ao se utilizar o gerador para determinar o tempo de resposta de transdutores de pressão, é importante que o sinal gerado pelo mesmo cresça linearmente. Esta condição é atingida quando se estabelece uma diferença de pressão (em valores absolutos) entre os cilindros na razão de dois para um, o que propicia a formação de escoamento sônico na válvula de ajuste da rampa, posicionada na saída do cilindro (A_2).

Na prática para que a relação seja mantida durante o teste, Cain [4] concluiu que a seguinte relação empírica deve ser observada:

$$|P_P - P_{INICIAL}| = 10|P_{SP} - P_{INICIAL}| \quad (1)$$

onde:

P_P é a pressão inicial no cilindro acumulador (A_2)

$P_{INICIAL}$ é a pressão no cilindro hidráulico

P_{SP} é a pressão de setpoint do transdutor, nível de pressão na qual deseja-se medir o tempo de atraso.

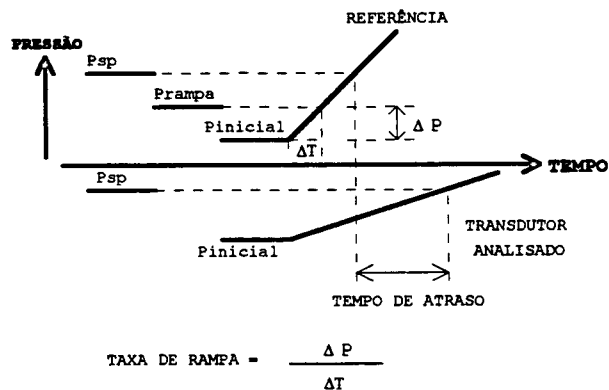


Figura 2. Determinação dos Parâmetros de Pressão.

IV. CONCLUSÕES

Observando os dados da TABELA 2 vemos que:

- o maior desvio encontrado foi de 24%, sendo que em média os desvios foram de apenas 4%, o que mostra uma consistência dos resultados;
- com exceção do último medidor do GV-2, os valores da constante de tempo (teste de degrau), são maiores que os valores de tempo de atraso (teste de rampa), e indicam valores mais conservativos de tempo de resposta para estes instrumentos;

TABELA 1. Transdutores de Pressão Analisados.

| LOCALIZAÇÃO | FABRICANTE | QUANTIDADE |
|---------------------------------|------------|------------|
| Vazão no Gerador de Vapor-1 | ITT BARTON | 2 |
| Vazão no Gerador de Vapor-2 | ITT BARTON | 2 |
| Nível no Gerador de Vapor-1 | FOXBORO | 3 |
| Nível no Gerador de Vapor-2 | FOXBORO | 3 |
| Nível no Pressurizador | ITT BARTON | 3 |
| Pressão na câmara de contenção. | ITT BARTON | 4 |

TABELA 2. Médias dos Valores da Constante de Tempo e do Tempo de Atraso (Valores em ms).

| | DEGRAU | RAMPA FORTE | RAMPA MÉDIA | RAMPA SUAVE |
|-----------------------------|---------|-------------|-------------|-------------|
| VAZÃO | 76±4 | 70±8 | 58±8 | 52±8 |
| GV-1 | 135±4 | 90±0 | 88±8 | * |
| VAZÃO | 396±5 | 131±17 | 43±6 | * |
| GV-2 | 119±2 | 125±17 | * | * |
| NÍVEL GV-1 | 1031±15 | 690±0 | 723±8 | 905±5 |
| | 873±12 | 450±8 | 720±8 | 788±4 |
| | 1246±21 | 543±11 | 703±5 | 1090±14 |
| NÍVEL GV-2 | 1035±16 | 813±21 | 475±4 | 597±8 |
| | 1404±23 | 583±13 | 737±13 | 950±11 |
| | 1240±3 | 551±11 | 642±2 | 823±5 |
| NÍVEL | 339±6 | 264±15 | 300±0 | 157±12 |
| DO | 337±5 | 310±41 | 243±16 | 90±22 |
| PZR | 426±9 | 280±8 | 332±15 | 330±8 |
| PRESSÃO DA CONTENÇÃO | 475±4 | 160±0 | 150±17 | * |
| | 834±18 | 740±59 | 780±16 | * |
| | 660±10 | 160±0 | 175±17 | 180±16 |
| | 630±17 | 172±10 | 167±9 | 173±9 |

* Estas Medidas não foram feitas.

- para os transdutores da marca Barton, diminuindo-se a inclinação da rampa obtivemos valores de tempo de atraso menores, o que está plenamente de acordo com a teoria. Já os medidores de nível nos geradores de vapor (transdutores da marca Foxboro) apresentaram um comportamento inverso ao dos demais, e que será discutido no Apêndice;
- os resultados demonstraram boa consistência entre medidores de uma mesma variável;
- as medidas de constante de tempo envolvendo os medidores de nível nos geradores de vapor simulam "trip" de turbina e não um "trip" de reator, pois como os transmissores medem nível, ao aplicarmos um degrau positivo de pressão o instrumento encara este transiente como uma elevação do nível nos geradores de vapor. Devido ao tipo de medidor envolvido, os resultados para "trip" de reator provavelmente serão diferentes.

**APÊNDICE. ESTUDO DOS CASOS
DEGRAU+RAMPA**

No caso dos transdutores de nível nos geradores de vapor os resultados obtidos mostraram um comportamento inesperado para os valores dos tempos de atraso. Os valores obtidos são maiores para rampas suaves, e menores para rampas fortes, enquanto que se deveria ter tempos de atraso maiores para rampas fortes, visto que as rampas fortes tendem a se aproximar de um transiente do tipo degrau.

Foi feita uma análise mais detalhada dos gráficos desses resultados com o objetivo de explicar o que aconteceu, e verificou-se que na verdade o sensor foi submetido a um transiente composto da soma de um degrau e uma rampa. A presença do degrau inicial é devida ao trecho da tubulação da bancada experimental compreendido entre a válvula solenóide e válvula agulha V-05 (Fig. 1).

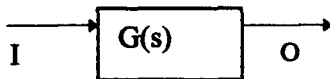
A diferença de pressão que deve ser colocada entre os cilindros A_1 e A_2 é determinada teoricamente em função das pressões de operação.

Como o volume de ar presente no cilindro A_1 é pequeno em relação ao volume presente no trecho de tubulação compreendido entre a válvula solenóide e a válvula agulha, ao se iniciar o teste de rampa abrindo-se a válvula solenóide, há primeiro um degrau de pressão devido a este trecho de tubulação, até a equalização da pressão e início da rampa.

Este fenômeno não foi observado em testes de laboratório, pois neste caso era usado uma pressão de 50 % do span do instrumento.

Com a finalidade de confirmar se realmente a soma do degrau e a rampa são responsáveis pelos resultados, foi feita uma modelagem do sensor, que será mostrada a seguir.

Seja o sensor representado por:



onde: I é a entrada e O é a saída

$G(s)$ é a função de transferência dada por:

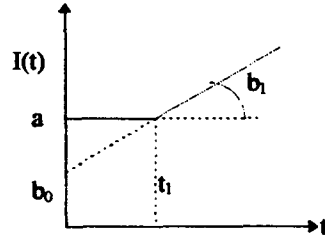
$$G(s) = \frac{p}{s + p} \quad (2)$$

onde p é a frequência de corte

A entrada é dada por:

$$I(t) = \begin{cases} a & \text{para } 0 < t < t_1 \\ b_0 + b_1 t & \text{para } t_1 < t < \infty \end{cases} \quad (3)$$

Ou seja:



Resolvendo para esta configuração, a saída $O(t)$ é dada por:

$$O(t) = a(1 - e^{-pt}) + \left(b_0 + b_1 t_1 - a - \frac{b_1}{p} \right) (1 - e^{-p(t-t_1)}) U(t-t_1) + b_1(t-t_1) U(t-t_1) \quad (4)$$

como $t_1 \approx 0$, $a \approx b_0$ e temos

$$O(t) = \left(b_0 - \frac{b_1}{p} \right) (1 - e^{-pt}) + b_1 t \quad (5)$$

As Figuras 3, 4 e 5 mostram os resultados das simulações feitas para inclinações de rampa (b_1) de 5, 10 e 50 inH₂O/s, respectivamente.

Após este estudo confirmou-se que realmente a soma do degrau a uma rampa, são responsáveis pelo comportamento inesperado para os resultados dos tempos de atraso obtidos nos casos dos transdutores de nível dos geradores de vapor, como dito inicialmente. Ou seja, para um mesmo sensor, submetido a taxas de rampa de 5, 10 e 50 inH₂O/s, obteve-se tempos de atraso aparente de 1; 0,8 e 0,4 segundos respectivamente.

i := 0..11 b0 := 20 p := 2
b1 := 5

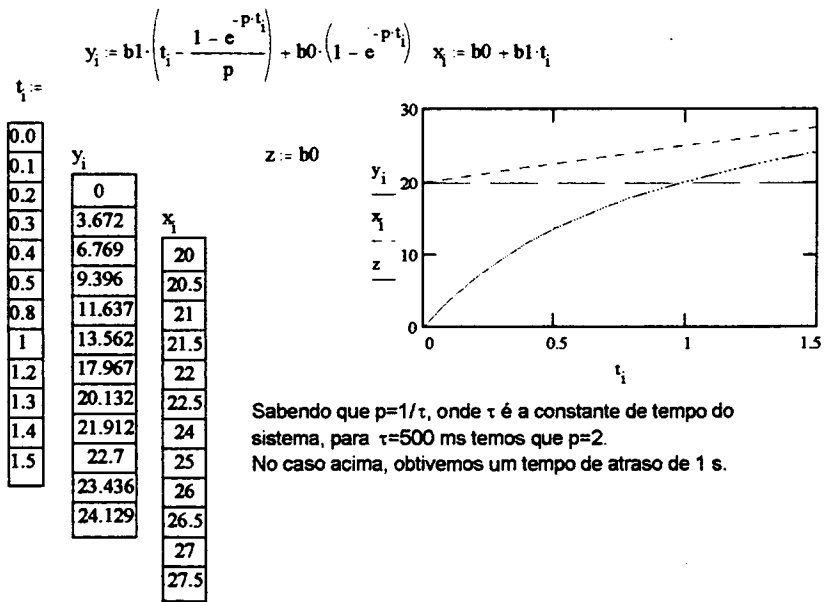


Figura 3. Inclinação da Rampa de Pressão (b_1)= 5 (inH₂O/s).

i := 0..11 b0 := 20
p := 2 b1 := 10

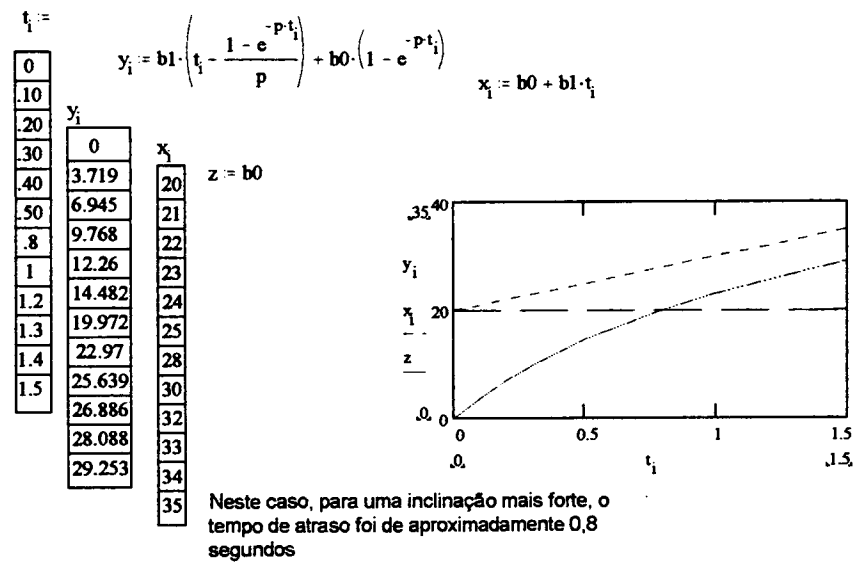


Figura 4. Inclinação da Rampa de Pressão (b_1)= 10 (inH₂O/s).

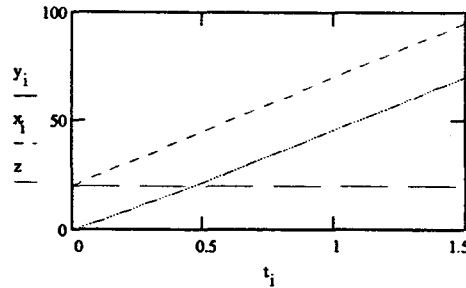
$i := 0..11$ $b0 := 20$ $p := 2$

$b1 := 50$

$$t_i := y_i := b1 \cdot \left(t_i - \frac{1 - e^{-p \cdot t_i}}{p} \right) + b0 \cdot (1 - e^{-p \cdot t_i}) \quad x_i := b0 + b1 \cdot t_i$$

| | | |
|-----|--------|-------|
| 0.0 | | |
| 0.1 | y_i | |
| 0.2 | 0 | x_i |
| 0.3 | 4.094 | 20 |
| 0.4 | 8.352 | 25 |
| 0.5 | 12.744 | 30 |
| 0.8 | 17.247 | 35 |
| 1 | 21.839 | 40 |
| 1.2 | 36.009 | 45 |
| 1.3 | 45.677 | 45 |
| 1.4 | 55.454 | 60 |
| 1.5 | 60.371 | 70 |
| | 65.304 | 80 |
| | 70.249 | 85 |
| | | 90 |
| | | 95 |

$z := b0$



Neste caso, para uma inclinação maior ainda, o tempo de atraso foi de aproximadamente 0,4 segundos

Figura 5. Inclinação da Rampa de Pressão (b_1)= 50 (inH₂O/s).

AGRADECIMENTOS

Agradecemos o pessoal técnico da Usina Nuclear de Angra I pelo auxílio na realização dos testes dentro da câmara de contenção.

REFERÊNCIAS

- [1] Autorização de Serviços AS DSPN 0028 95: Furnas Centrais Elétricas "Desenvolvimento e Transferência de Tecnologia de Medição de Tempo de Resposta dos Sensores do SPR da Unidade I na CNAAA".
- [2] PERILLO, S.R.P. "Determinação do Tempo de Resposta de Transdutores de Pressão Utilizando o Método de Medida Direta". São Paulo, 1994. (Dissertação de Mestrado, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares).
- [3] PERILLO, S.R.P "Determinação do Tempo de Resposta de Transdutores de Pressão Utilizando o Método de Medida Direta". V Congresso Geral de Energia Nuclear (CGEN), Vol. 1 - 1994, Rio de Janeiro, Brasil.
- [4] CAIN, D.G. & FOSTER, G.C. "A Practical Means for Pressure Transducer Response Verification". Nucl. Technol., 36: 275, 1977.

ABSTRACT

The present work shows the response time of the pressure transducers connected to the Protection System of the Angra I nuclear power plant. The methodology employed is the ramp pressure and step pressure, known as "Direct Method". Due to limitations of the equipment only the transducers with maximum 700 KPa were tested.