

"TE/TH-2 RESULTADOS DO GRUPO DO (IPEN/CNEN-SP)"

THADEU DAS NEVES CONTI E GAIANE SABUNDJIAN

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES - IPEN

O objetivo do "Tema Especial em Termoidráulica TE/TH-2" é a simulação teórica de vários transientes de parada de bomba na bancada de testes CTE-150 da COPESP.

O Grupo do IPEN/CNEN-SP utilizou o Programa Computacional RELAP4/MOD5 [1] para a execução teórica dos transientes propostos.

**PROGRAMAS COMPUTACIONAIS UTILIZADOS**

O código RELAP4/MOD5 é bastante versátil e simula o comportamento termoidráulico de reatores refrigerados a água leve na análise de transientes acidentais. Ele consta de 197 subrotinas com um total de 45.000 cartões de comando escritos em FORTRAN-IV.

O Programa RELAP4/MOD5 considera o sistema termoidráulico a ser analisado como uma série de volumes de controle conectados entre si por junções. A transferência de calor é feita pelas estruturas de troca de calor.

Este código resolve as equações de balanço de massa, quantidade de movimento e energia para cada um dos volumes de controle, supondo que o fluido refrigerante é homogêneo com escoamento unidimensional e que as fases de líquido e vapor estão em equilíbrio térmico.

Os volumes de controle são considerados no código como sendo cilindros de dimensões definidas, com as condições do fluido calculadas no seu centro geométrico. Variações radiais nos volumes de controle são ignorados.

Os dados de entrada podem ser agrupados em três categorias:

- dados geométricos;
- dados operacionais; e
- dados materiais.

O RELAP4/MOD5 calcula a cada iteração as condições do fluido tais como vazão nas junções, pressão, temperatura e título nos volumes de controle, as condições térmicas no interior das estruturas tais como perfis de temperatura e potência, e as condições nas interfaces estrutura-fluido, tais como o fluxo de calor e temperatura das superfícies.

O cálculo da distribuição de pressão e temperatura no CTE-150 para os diversos casos analisados, em regime estacionário, foram obtidos através de um Programa desenvolvido pelo pesquisador Wageeh Sedrak Bassel (IPEN/CNEN-SP).

Este programa calcula as distribuições de perda de carga e de vazão para o estado estacionário do CTE-150 baseado na solução simultânea das equações de balanço de massa e das equações de perda de carga, similarmente as leis de Kirchhoff usadas nos circuitos elétricos onde a vazão é representada pela corrente e a vol-

tagem pela pressão. O sistema de equações que resultam da aplicação deste método são equações algébricas não lineares resolvidas pelo método de Newton Raphson.

**MODELAGEM EMPREGADA**

A modelagem desenvolvida para a simulação dos transientes propostos pelo TE/TH-2 pode ser vista através da figura 1 e é composta de 9 volumes de controle, 9 junções de interligação entre os volumes de controle e 2 estruturas de troca de calor (sem utilização da equação de condução de calor).

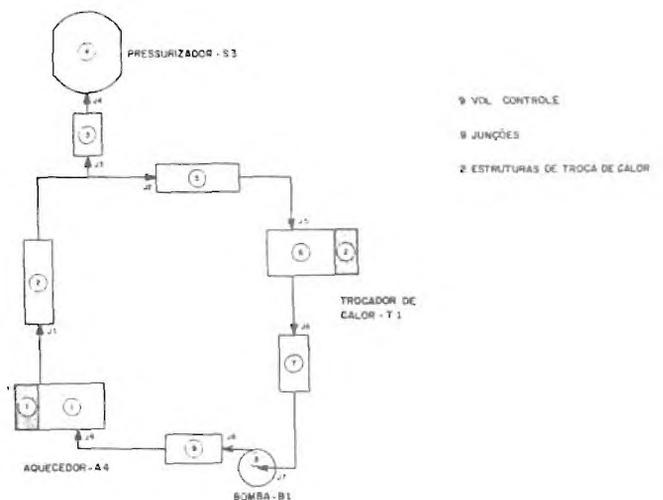


Figura 1 - Esquema da Modelagem do CTE-150.

A nodalização proposta pelo Grupo do IPEN procurou retratar o mais fielmente possível o CTE-150, utilizando um número mínimo de volumes de controle, sem comprometer os resultados obtidos.

Na simulação dos transientes não foi utilizado nenhum modelo especial para a solução das equações de conservação de massa, quantidade de movimento e energia.

## BOMBA

Devido a importância da bomba para este tipo de transiente foi realizado um cálculo sistemático para obtenção dos principais parâmetros da mesma.

Principais Parâmetros da Bomba:

- potência elétrica = curva de desempenho da bomba
- potência mecânica = curva de desempenho da bomba
- potência hidráulica = potência mecânica  $\times \eta_{\text{hidráulico}}$
- $\eta_{\text{hidráulico}}$  = rendimento hidráulico, curva de desempenho da bomba
- potência de atrito = potência elétrica - potência mecânica
- potência de atrito = potência mecânica  $\times (1 - \eta_{\text{hidráulico}})$
- torque do motor =  $\frac{\text{potência elétrica}}{W}$
- W = velocidade de rotação da bomba, curva de desempenho da bomba
- torque hidráulico =  $\frac{\text{potência hidráulica}}{W}$
- torque de atrito =  $\frac{\text{potência de atrito}}{W}$
- torque de atrito =  $\frac{\text{potência de atrito hidráulico}}{W}$

O torque total de atrito foi aproximado por um polinômio de segundo grau:

$$T_{\text{total atrito}} = A \frac{W}{WR} + B \left( \frac{W}{WR} \right)^2 \quad (1)$$

- onde: A = torque de atrito  
 B = torque de atrito hidráulico  
 W = velocidade de rotação  
 WR = velocidade de rotação nominal

## CONDIÇÕES INICIAIS

As distribuições iniciais de Pressão e de Temperatura para os casos P1W4, P1W5 e P2W2 podem ser vistas através das Tabelas 1, 2 e 3 respectivamente.

Tabela 1 : Distribuição Inicial de Pressão e Temperatura para o caso P1W4.  
 (P<sub>pressurizador</sub> = 50bar e  $\dot{m}$  = 24,5Kg/s)

VOLUME DE CONTROLE	PRESSÃO (bar)	TEMPERATURA (°C)
1	59,9	103,4
2	51,3	103,6
3	50,2	103,6
4	50,0	263,7
5	49,8	103,6
6	47,3	98,8
7	46,7	98,8
8	46,4	99,2
9	61,5	98,9

Tabela 2 - Distribuição Inicial de Pressão e Temperatura para o caso P1W5.  
 (P<sub>pressurizador</sub> = 50bar e  $\dot{m}$  = 29,7Kg/s)

VOLUME DE CONTROLE	PRESSÃO (bar)	TEMPERATURA (°C)
1	56,4	100,1
2	51,9	100,1
3	50,3	100,2
4	50,0	263,7
5	49,6	100,2
6	45,9	96,2
7	45,0	96,3
8	44,4	96,7
9	58,8	96,4

Tabela 3 - Distribuição Inicial de Pressão e Temperatura para o caso P2W2.  
 (P<sub>pressurizador</sub> = 70bar e  $\dot{m}$  = 14,6Kg/s)

VOLUME DE CONTROLE	PRESSÃO (bar)	TEMPERATURA (°C)
1	84,4	102,5
2	70,6	102,8
3	70,2	102,8
4	70,0	285,6
5	70,1	102,8
6	69,2	94,7
7	64,0	94,7
8	69,0	95,1
9	85,0	94,8

Os dados relativos a bomba para os casos P1W4, P1W5 e P2W2 podem ser vistos através da Tabela 4.

Tabela 4 - Dados relativos a bomba para os casos P1W4, P1W5 e P2W2.

CASO	P1W4	P1W5	P2W2
Rotação (rpm)	3572,0	3572,0	3572,0
Vazão (Kg/s)	24,5	29,7	14,6
Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	957,8	960,3	959,4
Head (m)	172,0	165,0	178,0
T. Motor (N.m)	374,3	395,7	342,2
T. Hidráulico (N.m)	111,2	138,8	70,9
T. Atrito (N.m)	160,4	160,4	160,4
T. Atrito Hidráulico (N.m)	102,7	96,5	110,9

#### REFERÊNCIAS

- [1] RELAP4/MOD5 - A Computer Program for Transient Thermalhydraulic Analysis of Nuclear Reactor and Related Systems. Aerojet Nuclear, ANR - NUREG - 1355, 1976.

#### ANÁLISE DOS RESULTADOS

A partir dos resultados experimentais do CTE-150, casos P1W1 e P1W2 fornecidos pela Comissão Organizadora, foram feitas comparações com os resultados calculados pelo Programa RELAP4/MOD5.

Através das figuras 2 a 5 pode-se observar que a vazão no circuito e o diferencial de pressão na bomba calculados decaem mais rapidamente que os seus respectivos valores experimentais.

Os resultados teóricos calculados com o Código RELAP4/MOD5 poderiam ser melhor ajustados de modo a aproximá-los aos resultados experimentais, através de uma modificação na distribuição dos torques de atrito e de atrito hidráulico, isto é, dar mais peso no termo quadrático e até acrescentar um termo cúbico na equação 1, sem alterar o valor total do torque de atrito.

Este ajuste não foi realizado pois os resultados experimentais da curva de decaimento da vazão apresentam um comportamento em forma de degrau, além de que todos os resultados experimentais possuem uma defasagem de aproximadamente 0,5 segundos devido ao tempo de atraso no controlador (Sistema Digital do Controle Distribuído) causado pela varredura dos instrumentos e também pelo fato da turbina ser calibrada para a condição de estado estacionário e portanto o comportamento durante o transiente não deve ser o mesmo.

O tempo gasto em média para execução de cada um dos casos testes foi de 12 segundos para o estado estacionário e 13 segundos para o transiente, no computador IBM 43/81 do IPEN/CNEN-SP.

A Tabela 5 mostra alguns parâmetros pedidos para cada um dos casos testes.

Tabela 5 - Tempos de "COAST DOWN" para os casos testes.

CASO	P1W4	P1W5	P2W2
Tempo "COAST DOWN" Vazão à 10% (segundos)	2,3	1,7	2,2
Tempo "COAST DOWN" DP à 1% (segundos)	2,6	3,8	2,6

Os resultados referentes aos casos testes são mostrados nas figuras 6 a 14.

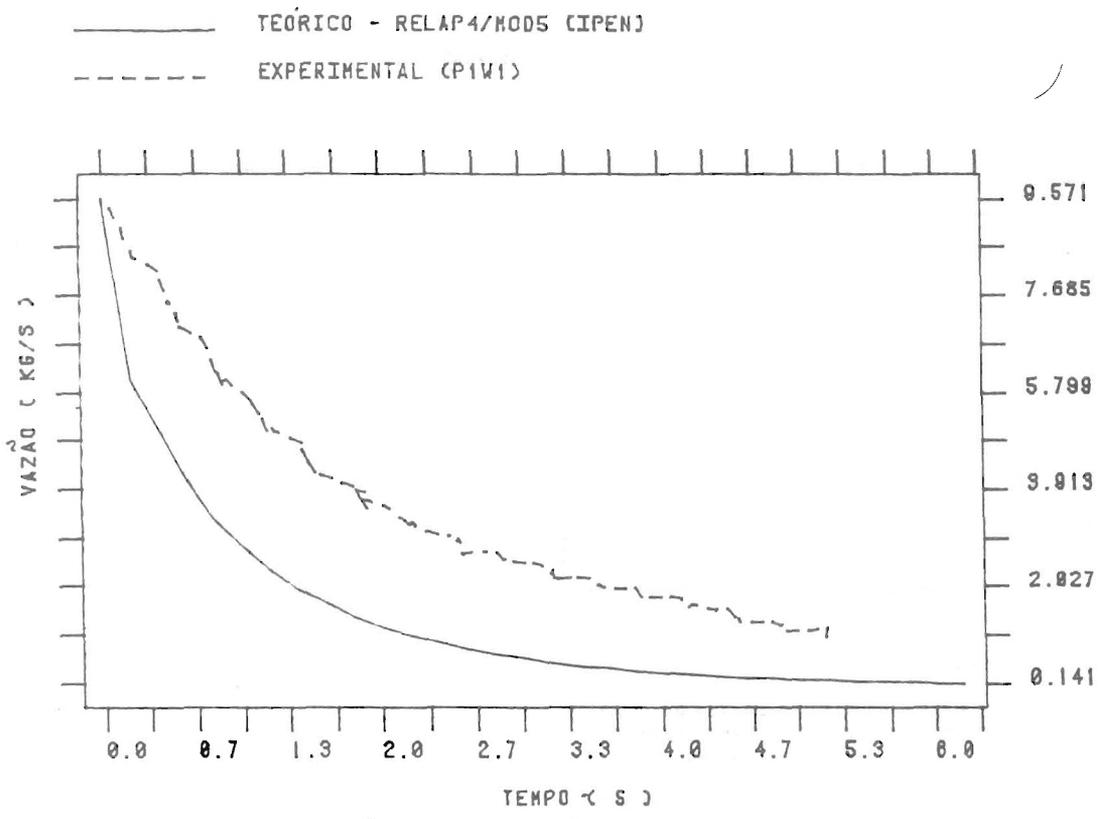


Figura 2 - Evolução Temporal da Vazão (PIW1)

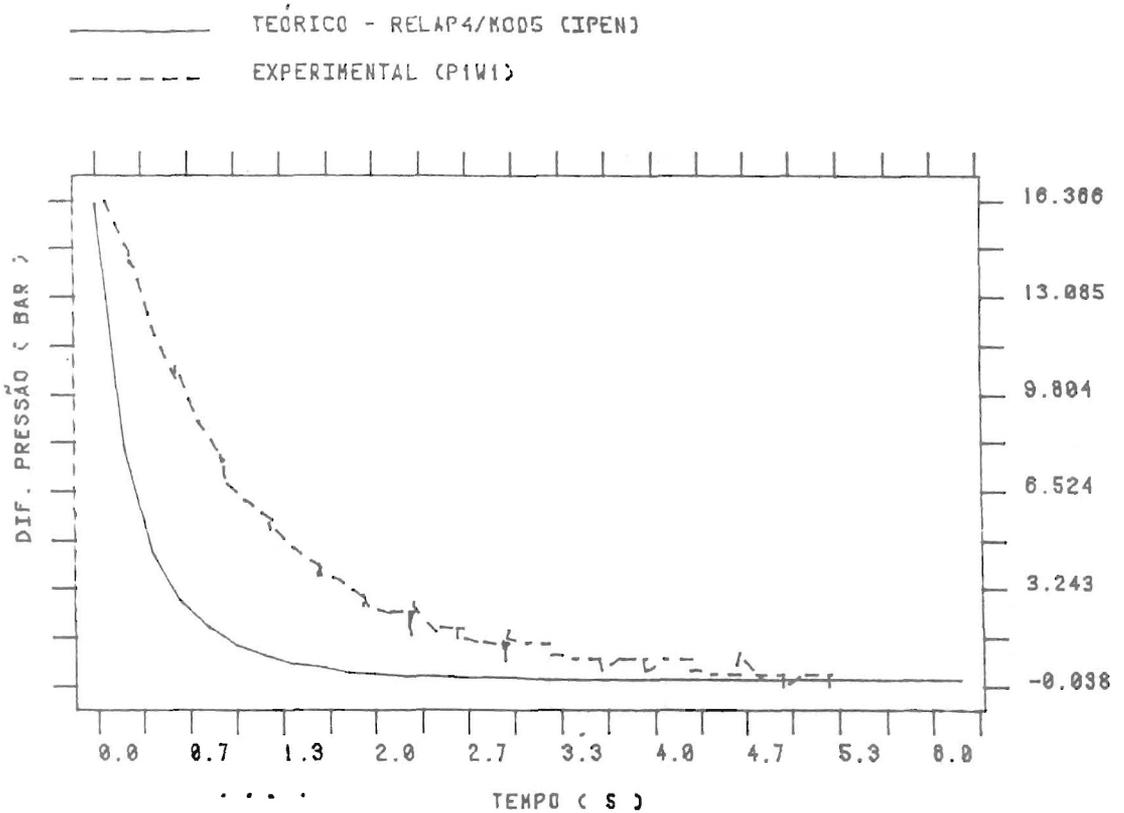


Figura 3 - Evolução Temporal da Dif. de Pressão (PIW1)

——— TEÓRICO - RELAP4/MOD5 (IPEN)  
 - - - EXPERIMENTAL (P1W2)

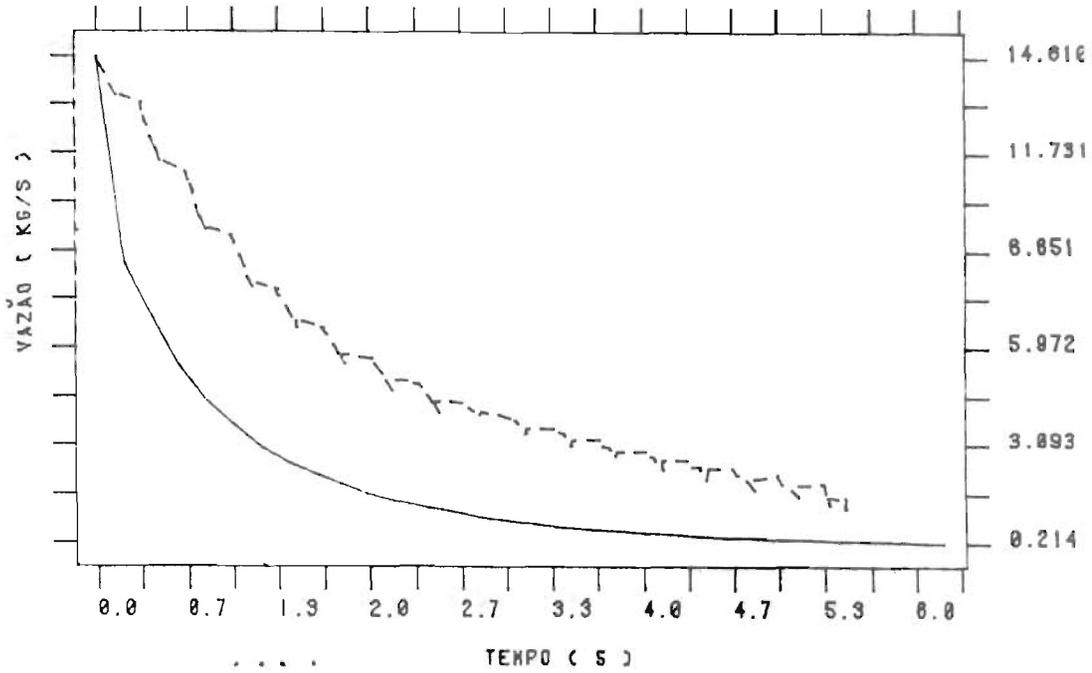


Figura 4 - Evolução Temporal da Vazão (P1W2)

——— TEÓRICO - RELAP4/MOD5 (IPEN)  
 - - - EXPERIMENTAL (P1W2)

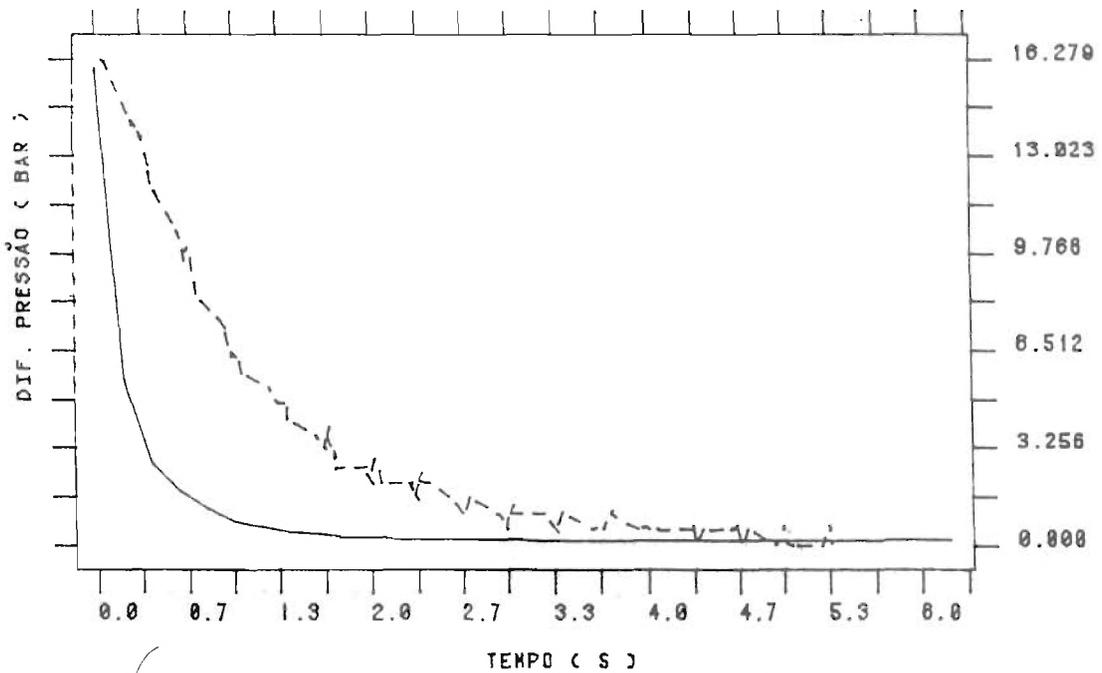


Figura 5 - Evolução Temporal da Dif. de Pressão (P1W2)

# CASO P1W4 - RELAP4/MOD5 (IPEN)

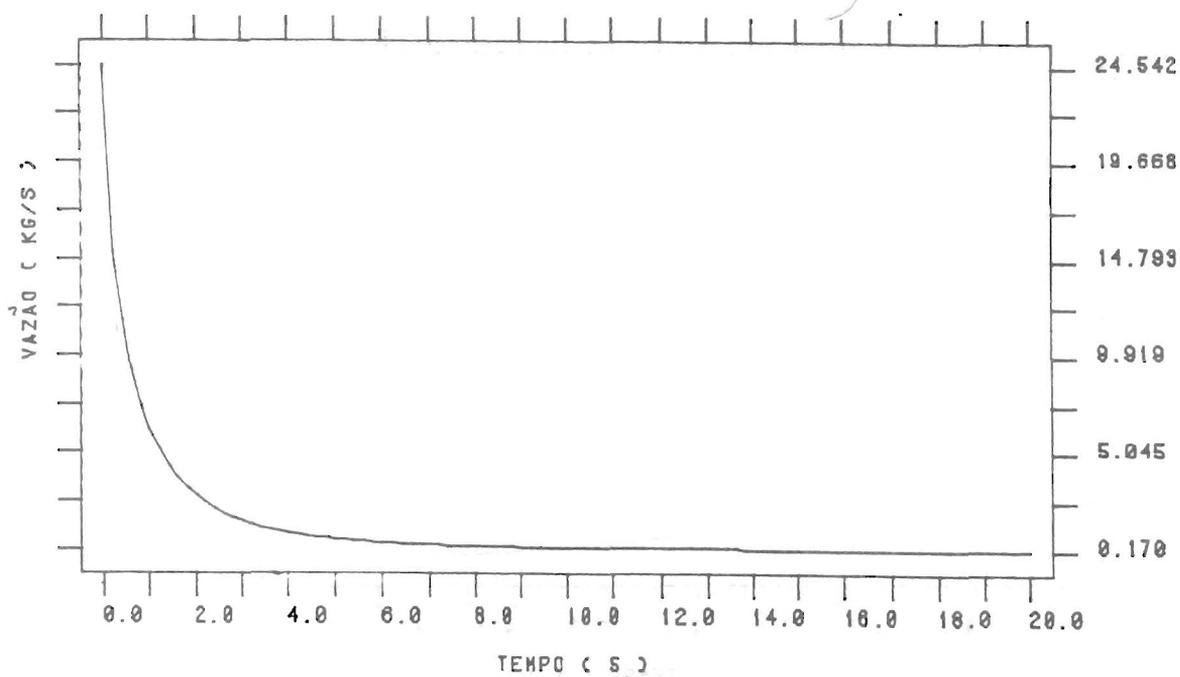


Figura 6 - Evolução Temporal da Vazão (P1W4)

# CASO P1W4 - RELAP4/MOD5 (IPEN)

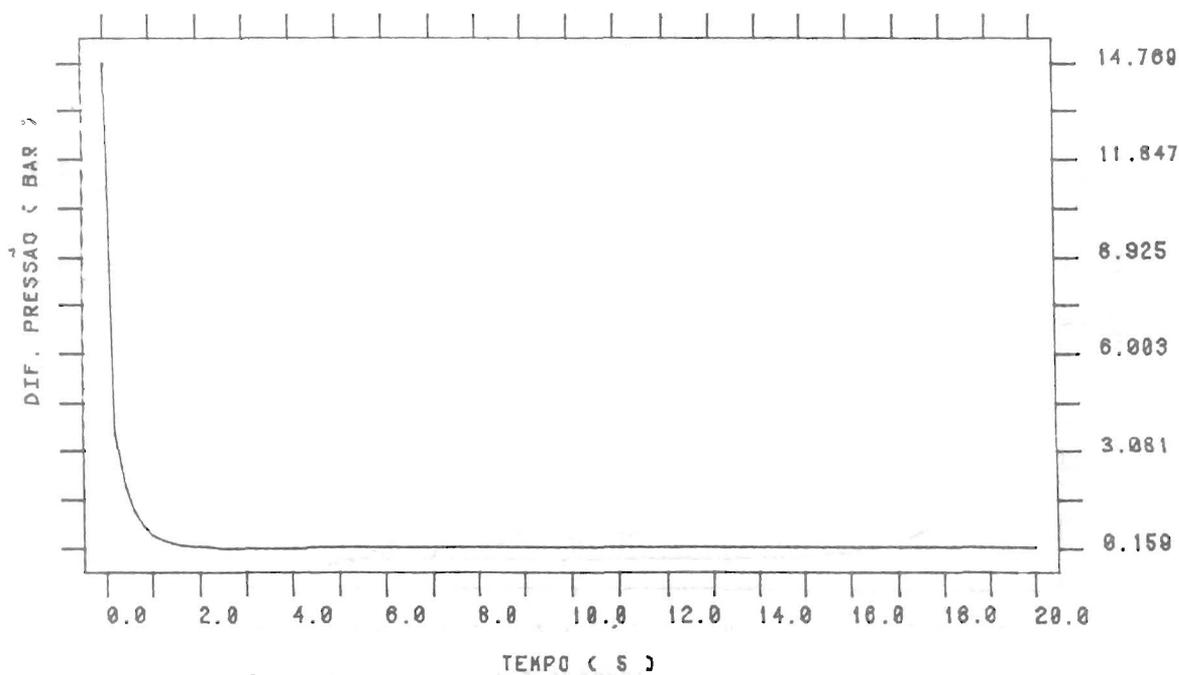


Figura 7 - Evolução Temporal da Dif. de Pressão (P1W4)

### CASO P1W4 - RELAP4/MOD5 (IPEN)

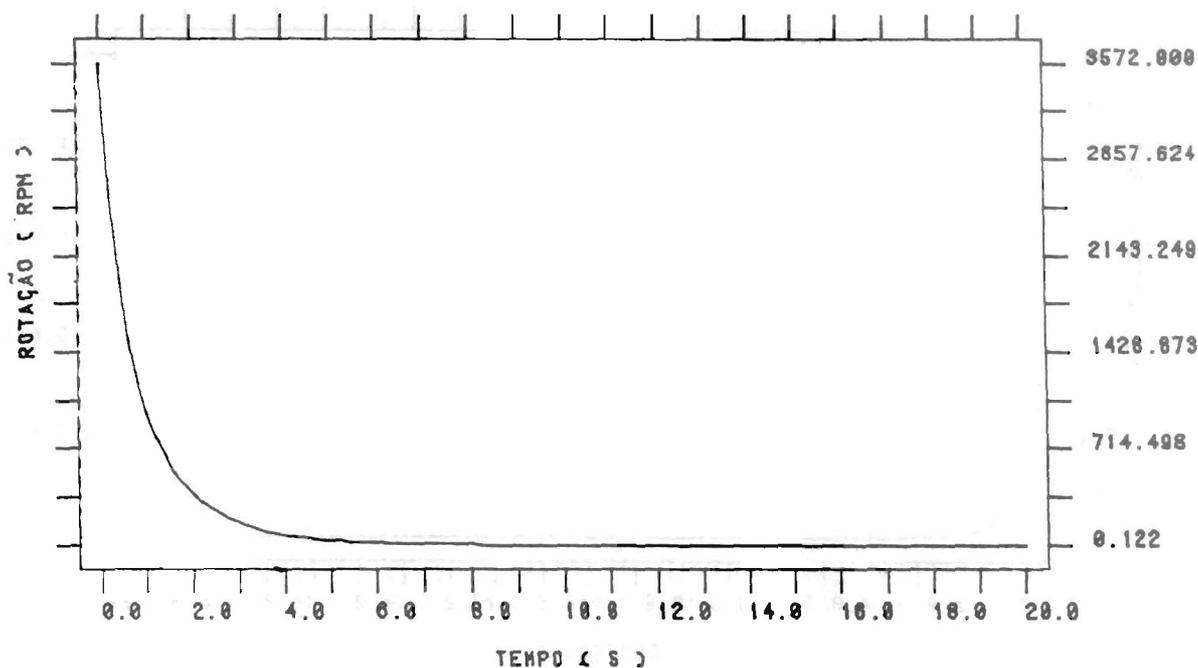


Figura 8 - Evolução Temporal da Rotação (P1W4)

### CASO P1W5 - RELAP4/MOD5 (IPEN)

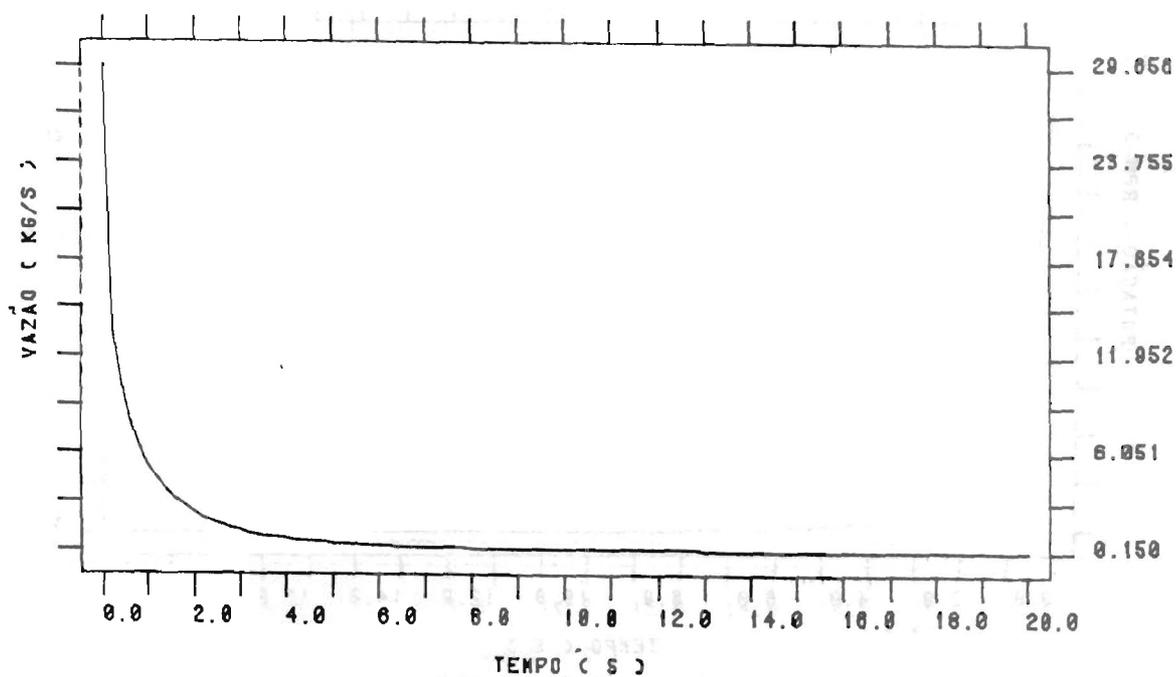


Figura 9 - Evolução Temporal da Vazão (P1W5)

CASO P1W5 - RELAP4/MOD5 (IPEN)

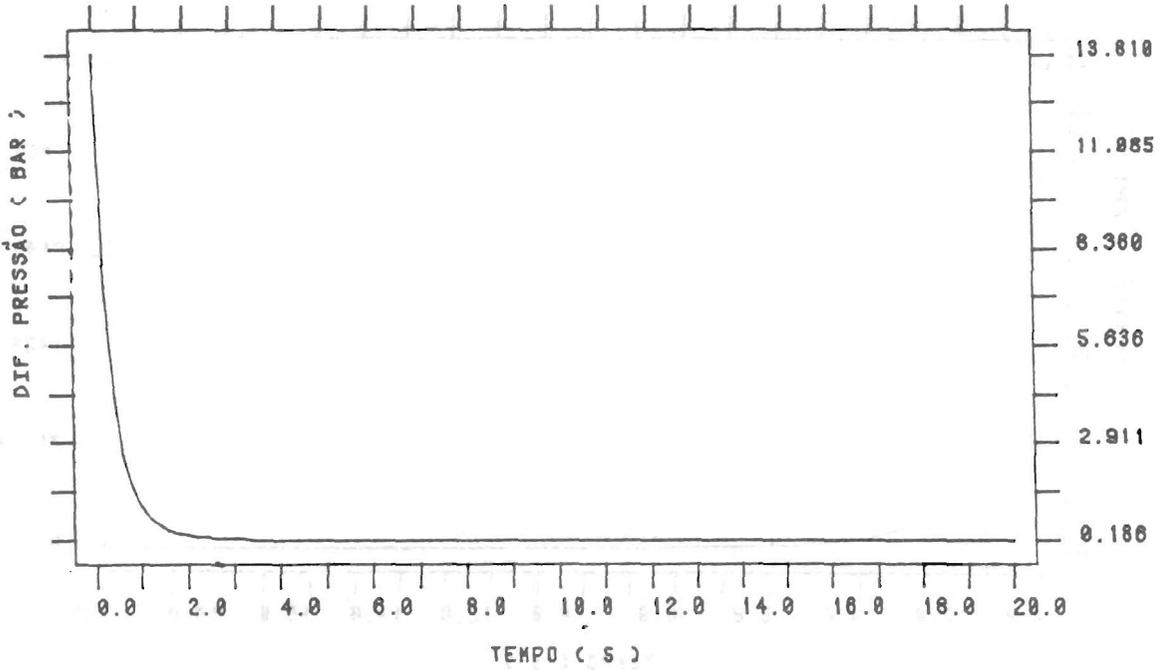


Figura 10 - Evolução Temporal da Dif. de Pressão (P1W5)

CASO P1W5 - RELAP4/MOD5 (IPEN)

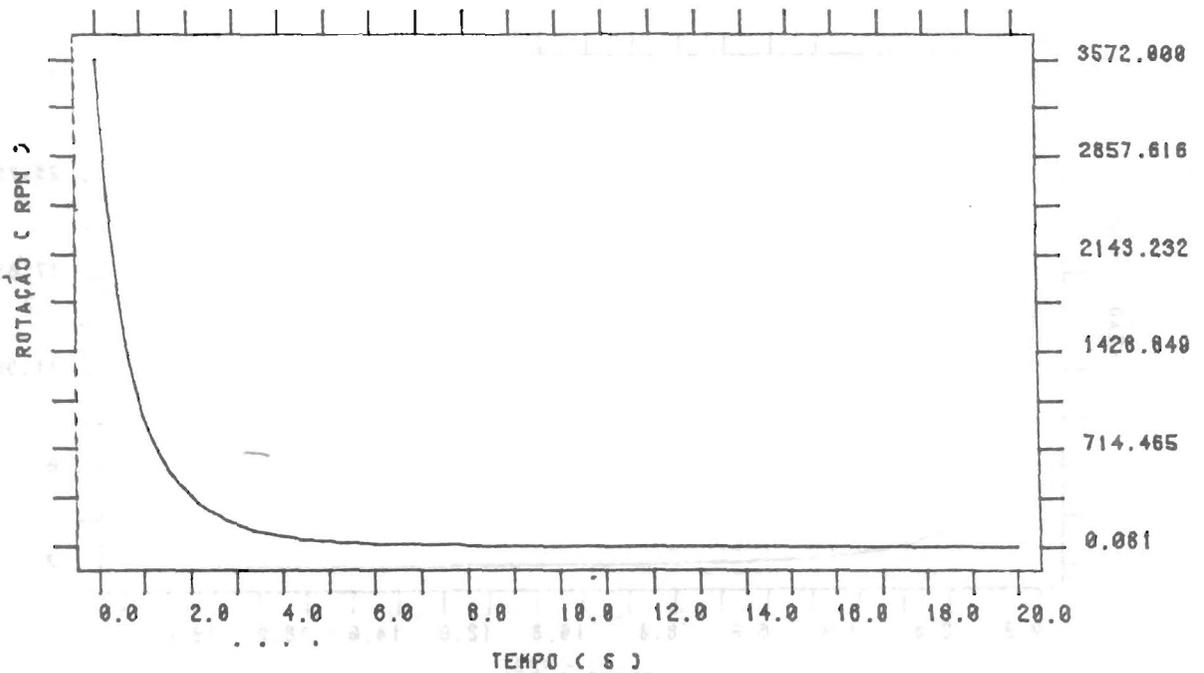


Figura 11 - Evolução Temporal da Rotação (P1W5)

CASO P2W2 - RELAP4/MOD5 (IPEN)

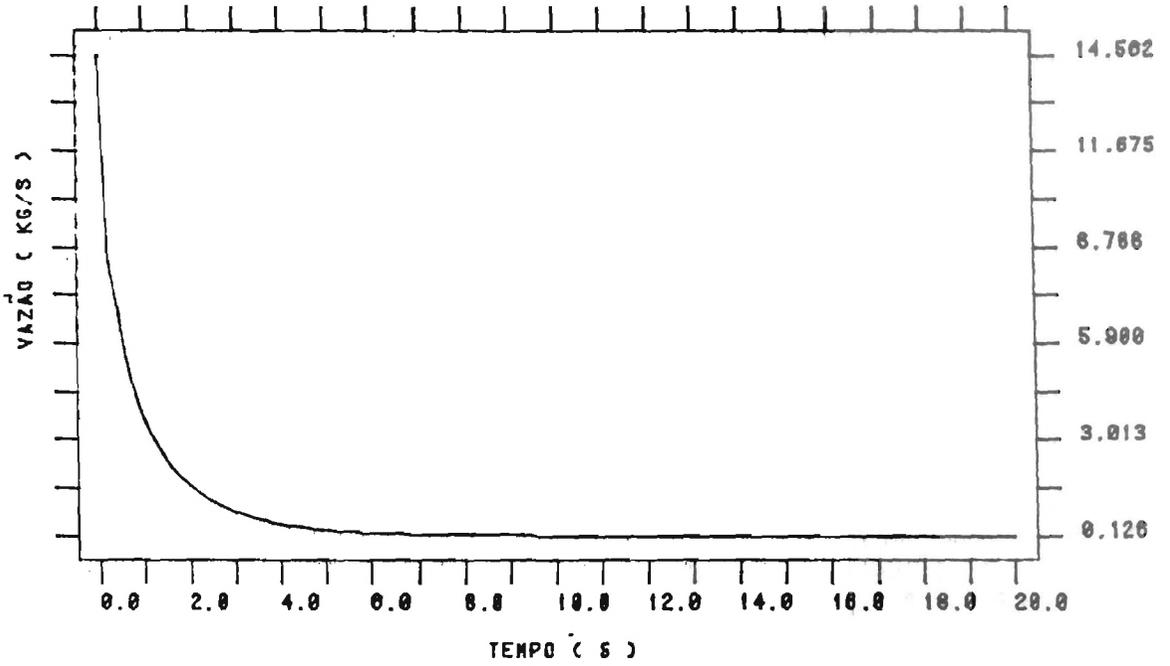


Figura 12 - Evolução Temporal da Vazão (P2W2)

CASO P2W2 - RELAP4/MOD5 (IPEN)

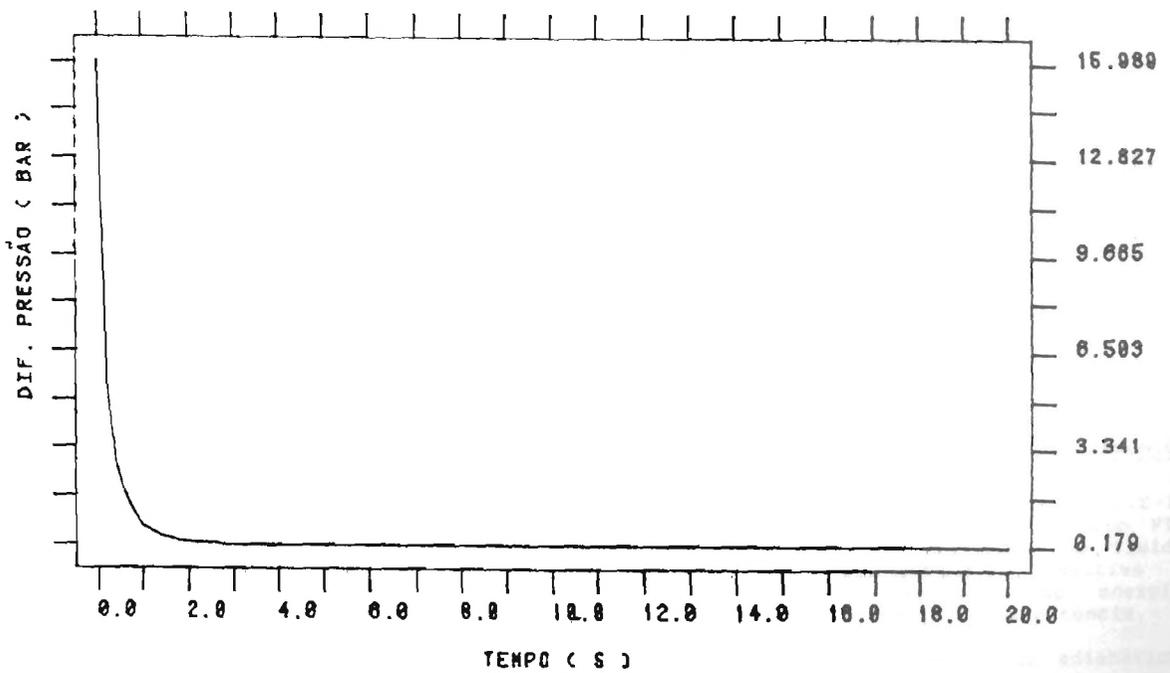


Figura 13 - Evolução Temporal da Dif. de Pressão (P2W2)

CASO P2W2 - RELAP4/MOD5 (IPEN)

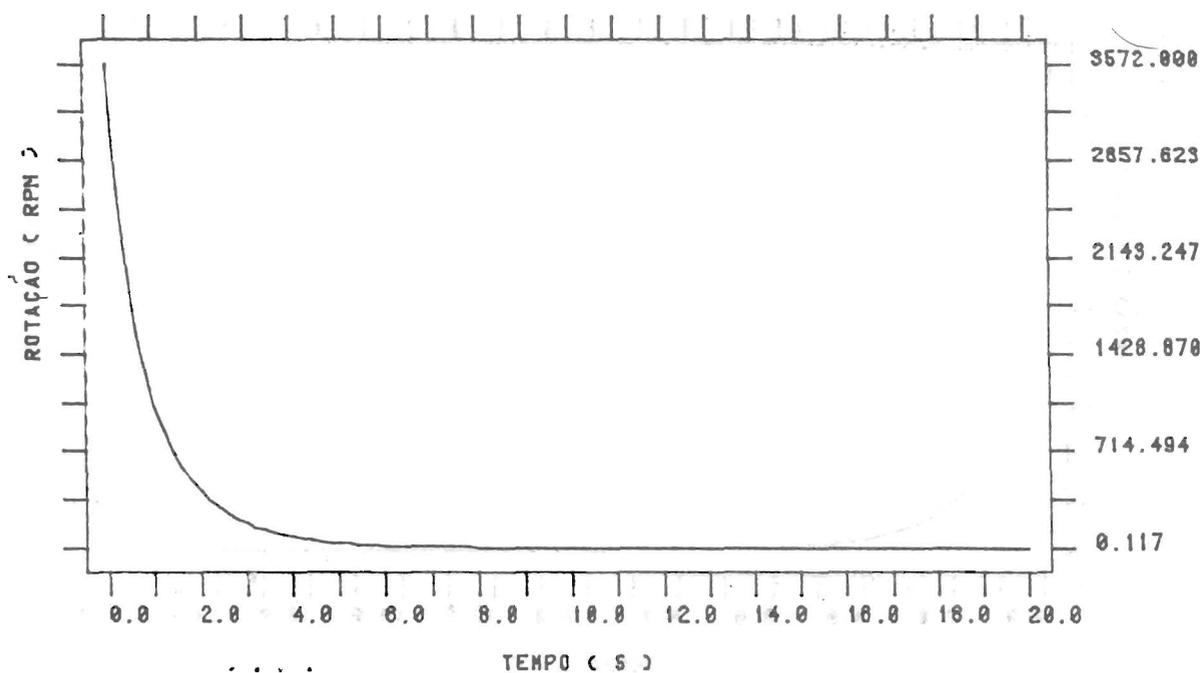


Figura 14 - Evolução Temporal da Rotação (P2W2)