

"TE/TH-3 RESULTADOS DO GRUPO DO (IPEN/CNEN-SP)"

THADEU DAS NEVES CONTI, GAIANE SABUNDJIAN,
FLAVIO DE ARAUJO FILHO E EDUARDO LOBO LUSTOSA CABRAL
INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGETICAS E NUCLEARES IPEN-CNEN/SP
TRAVESSA R, 400 - USP BUTANTÁ
05508 - SÃO PAULO - S.P.

O objetivo do "TEMA ESPECIAL EM TERMO-HIDRAULICA TE/TH-3" é a simulação teórica de um transiente de remolhamento da seção de testes da "Instalação de Testes de Remolhamento (ITR)" do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear - CDTN da CNEN. O grupo do IPEN-CNEN/SP utilizou o programa computacional RELAP5/MOD2 [1] para execução do transiente proposto.

PROGRAMA COMPUTACIONAL UTILIZADO

O Código RELAP5/MOD2 [1] foi desenvolvido pelo Laboratório Nacional de Idaho e é uma versão mais sofisticada do RELAP5/MOD1 [2]. Este programa foi desenvolvido para analisar o comportamento termo-hidráulico de transientes do tipo APRPPR, APRPGR, Transientes Operacionais, etc, em Reatores Nucleares Refrigerados à Água Leve Pressurizada - RAP.

O RELAP5/MOD2 tem a capacidade de modelar com detalhamento geométrico todo o sistema de resfriamento do primário e secundário do reator. O código utiliza o modelo de dois fluidos e é composto das equações de conservação de massa, energia e quantidade de movimento para as fases líquida e gasosa.

O programa trata o escoamento do fluido e a condução de calor nas estruturas através de modelos unidimensionais. Exceção é feita para os fenômenos de "cross flow" no núcleo da Planta e para o modelo de remolhamento que usa condução bidimensional nas vizinhanças da frente de remolhamento.

O Código RELAP5/MOD2 foi implementado inicialmente em equipamento CDC sendo depois migrado para outros equipamentos (IBM, CRAY, etc). O RELAP5/MOD2 é constituído de cerca de 230 subrotinas em FORTRAN 77 num total de aproximadamente 70.000 linhas de programação.

O advento de microcomputadores de alta performance viabiliza a utilização deste equipamento para o processamento de códigos extensos. Por facilidade de adaptação partiu-se de uma versão VAX para migração em microcomputador. Utilizou-se o compilador

LAHEY F77L-EM/32 versão 5.01, um compilador Fortran para microcomputadores de arquitetura de 32 bits. O sistema é utilizado em equipamento IBM sob o DOS 3.0 com 8 Mbytes de memória, com 33 MHz, e também pode ser processado em máquina 386 com coprocessador matemático.

Para verificação da implementação do RELAP5/MOD2 em microcomputadores foram comparados os resultados de 4 casos testes processados em equipamento VAX e os resultados obtidos foram satisfatórios. Prevê-se a comparação de resultados com a versão IBM quando uma análise mais apurada quantificará os desvios computacionais resultantes. Tendo em vista entretanto, que o processador matemático da linha INTEL trabalha numa arquitetura interna de 80 bits (em vez dos 64 bits disponíveis na memória) os resultados numéricos podem apresentar um desvio inferior ao original.

MODELAGEM EMPREGADA

A modelagem empregada para a simulação do transiente proposto pelo TE/TH-3 pode ser vista através da Figura 1. A modelagem do trecho do circuito ITR a ser analisado possui 5 componentes (condições de contorno de pressão e entalpia na entrada e saída da seção de testes, condição de contorno de vazão na entrada da seção de testes, junção de saída e seção de testes).

A seção de testes (tubo com aquecimento na parede) foi modelada com 11 volumes de controle hidrodinâmico, 10 junções de acoplamento entre os volumes de controle e 11 estruturas de troca de calor acopladas a cada volume de controle.

A nodalização proposta pelo grupo do IPEN procurou retratar o circuito ITR utilizando um número de volumes de controle dentro da faixa de validade para o uso do modelo de remolhamento do RELAP5/MOD2.

Na simulação do transiente foram utilizados os seguintes modelos especiais do RELAP5/MOD2:

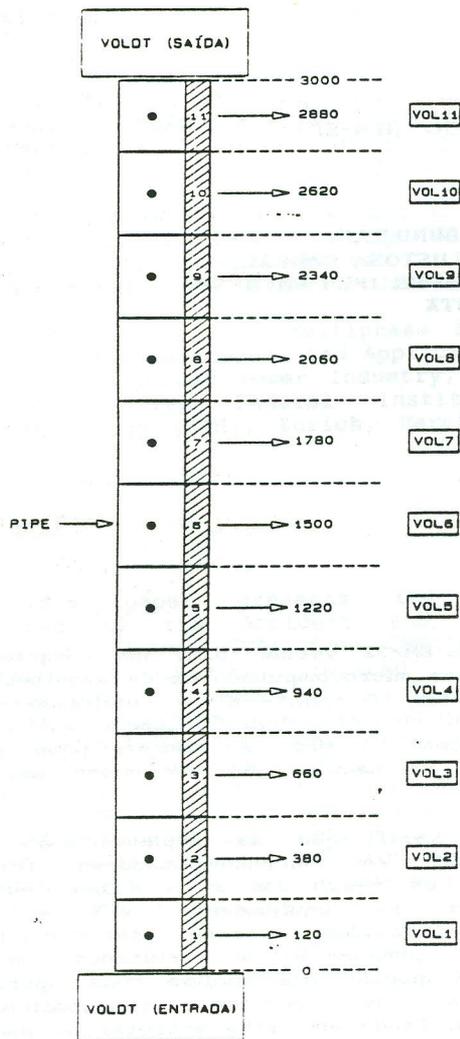


FIGURA 1 - ESQUEMA DE MODELAGEM DA SEÇÃO DE TESTES DE REMOLHAMENTO DO CIRCUITO ITR

- modelo de remolhamento; e
- modelo de não equilíbrio das equações de conservação.

CONDIÇÕES INICIAIS E DE CONTORNO

O transiente de remolhamento foi simulado segundo as condições iniciais fornecidas pela referência [3]:

A pressão, temperatura, vazão e potência iniciais na seção de testes são, respectivamente: 2,85 bar; 797,54 K; $7,756 \times 10^{-3}$ kg/s e $3,036 \times 10^3$ watts.

As condições de contorno utilizadas são [3]:

- vazão na entrada da seção de testes segundo a equação (1),

$$Q(\text{m}^3/\text{s}) = 790 \times 10^{-8} - 0,2 \times 10^{-8} t \quad (1)$$

- temperatura de subsresfriamento na entrada da seção de testes conforme a equação (2),

$$T(^{\circ}\text{C}) = 104 + 0,24t - 0,0013t^2 + 2,2 \times 10^{-6} t^3 \quad (2)$$

- potência elétrica na seção de testes segundo a equação (3), e

$$P(\text{w}) = 3036 + 0,3t \quad (3)$$

- potência térmica dissipada na Seção de Testes através da equação (4),

$$\dot{q}_p(\text{w}/\text{m}^2) = 5,3 \times 10^{-8} T^4 - 3,0 \times 10^{-5} T^3 + 7,9 \times 10^{-3} T^2 + 0,43T - 3,9 \quad (4)$$

ANALISE DOS RESULTADOS

As Figuras 2 a 5 mostram os resultados obtidos do transiente de remolhamento do circuito ITR/CDTN com o código RELAP5/MOD2.

A evolução temporal das curvas de temperatura obtidas com os termopares situados ao longo da seção de testes e a frente de remolhamento, seguem o comportamento das curvas normalmente encontradas na literatura para este tipo de transiente.

Através da Figura 2 observa-se que as temperaturas nos pontos de medida (Figura 1) tendem a diminuir rapidamente, com exceção do ultimo ponto ($x = 2620$ mm) cuja temperatura começa a diminuir após 60 segundos do início do transiente.

A Figura 3 mostra que a seção de testes começa a ser remolhada aos 12 segundos e termina aos 125 segundos. Algumas oscilações são observadas durante o caminhar da frente de remolhamento, principalmente no final do transiente (100 e 125 segundos).

A pressão diferencial, Figura 4, oscila bastante durante o transiente e estabiliza em um valor aproximado ao da coluna d'água.

A Figura 5 mostra a vazão de líquido arrastado durante o transiente proposto.

Deve-se ressaltar que os resultados obtidos foram baseados assumindo uma perda por dissipação (eq. 4) na seção de testes, porém resultados praticamente iguais foram obtidos supondo a seção de testes isolada. Esta diferença foi desprezível pois a perda por dissipação estava dentro da precisão da medida experimental.

Para se testar a confiabilidade da modelagem fez-se uma simulação utilizando o dobro de volumes de controle e conseqüentemente o dobro de estruturas de troca de calor. Ressalta-se que nenhuma diferença significativa foi encontrada nos resultados.

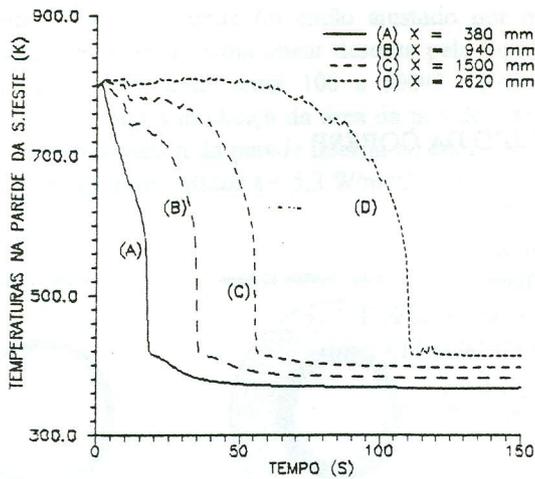


Figura 2 - Evolução temporal das temperaturas na parede da sístie (K) nas estruturas de troca de calor.

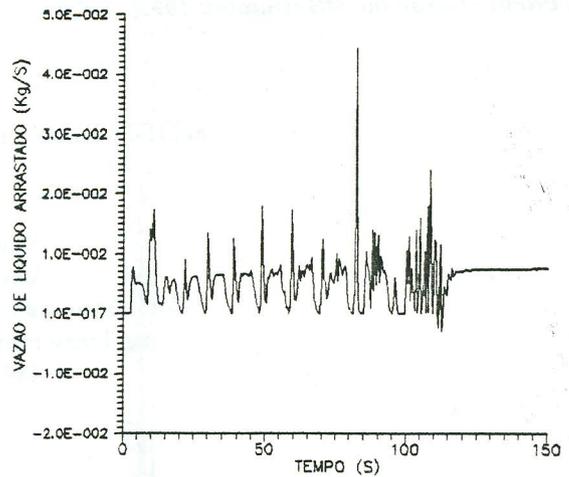


Figura 5 - Evolução temporal da vazão de líquido arrastado.

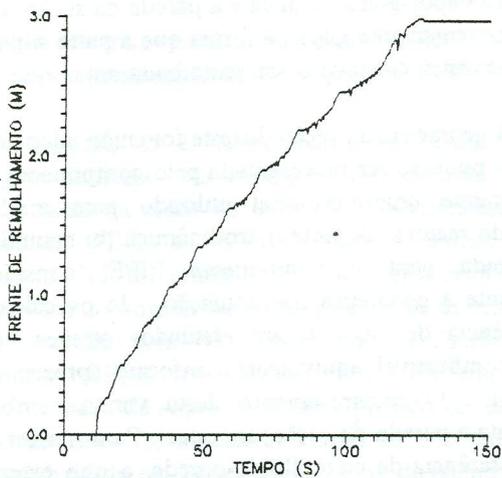


Figura 3 - Evolução temporal da frente de remolhamento.

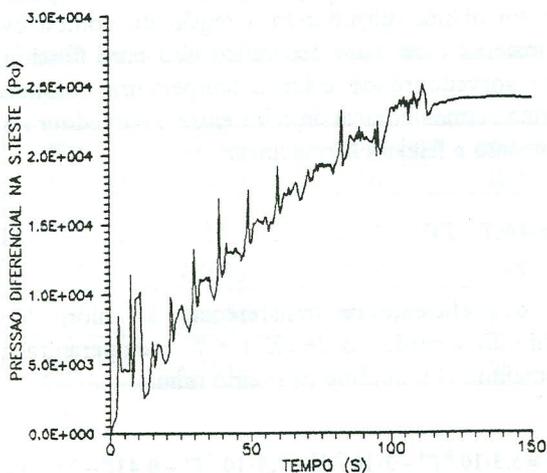


Figura 4 - Evolução temporal da pressão diferencial.

O tempo de cpu encontrado para a simulação do transiente foi de 28 minutos no microcomputador 486 IPEN/CNEN-SP, para um Δt ("time step") de processamento de 0,05 segundos e tempo de edição de 0,5 segundos.

REFERENCIAS

- 1] RANSON, H. et al; "RELAP5/MOD2 Code Manual", NUREG/CR-4312, EGG-2396, Rev.1. Idaho Falls, Idaho National Engineering Lab., 1987.
- 2] AEROJET NUCLEAR COMPANY; "RELAP5/MOD1: A Computer Program for Transient Thermal-Hydraulic for Nuclear Reactors and Selected Systems", Idaho Falls, Idaho National Engineering Lab., 1976.
- 3] "3rd THERMAL-HYDRAULIC SPECIAL THEME - (TE/TH3)", Proposed Exercise Guidelines for the Participants, CDTN-CNEN/MG 1993.