

"APLICAÇÃO DO CÓDIGO TRAC-PD2 NA SIMULAÇÃO
DA EXPERIÊNCIA CANON"

THADEU DAS NEVES CONTI
ROBERTO LONGO FREITAS

Divisão de Termodinâmica e Termo-Hidráulica
Departamento de Tecnologia de Reatores
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares-CNEN/SP

RESUMO

O Código TRAC (Transiente Reactor Analysis Code), desenvolvido no Laboratório Nacional de Los Alamos, visa analisar acidentes postulados em reatores nucleares refrigerados à água leve. A versão TRAC-PD2, utilizada neste trabalho, dispõe de uma apurada modelagem da dinâmica do escoamento através do modelo de dois fluidos, que é baseado nas equações de conservação da massa, quantidade de movimento e energia para o líquido e vapor permitindo, assim, considerar o desequilíbrio mecânico e térmico entre fases.

Este trabalho apresenta a comparação do Código TRAC-PD2 com os resultados da experiência CANON, a qual simula um Acidente de Perda de Refrigerante Primário - APRP (LOCA) através da despressurização de um tubo horizontal contendo água a diferentes temperaturas. A experiência consiste na ruptura instantânea de um dos lados da tubulação, sendo efetuadas medidas de pressão e de fração de vazio durante o transiente.

Os resultados desta comparação mostram que o Código TRAC-PD2 prediz satisfatoriamente a evolução da pressão e da fração de vazio obtida na experiência CANON.

I. Introdução

O recente desenvolvimento da produção de eletricidade de origem nuclear necessita da construção de reatores de elevada potência que, na maioria dos casos, são do tipo a água fervente ou a água leve pressurizada.

O funcionamento destes reatores sob pressão elevada (70 bar para os reatores a água fervente, 150 bar para os reatores a água leve pressurizada) levam a problemas específicos de segurança. Se, para tais reatores, pode ser excluída a possibilidade de uma explosão nuclear, por outro lado, devido ao seu dimensionamento, um hipotético acidente de referência é levado em consideração com consequências extremamente graves para o núcleo do reator, permitindo que produtos de fissão altamente radioativos se repartam no interior da contenção. Em vista disto, é necessário conhecer as causas e os efeitos que podem advir deste acidente, definir os sistemas de segurança estudando sua confiabilidade e eficiência, a fim de evitar que materiais radioativos possam projetar-se para fora da central.

O acidente de referência, considerando nas análises de segurança denominado Acidente de Perda de Refrigerante Primário - APRP (LOCA), consiste na perda do fluido refrigerante provocado por uma ruptura instantânea e completa na perna fria do circuito primário do reator.

O objetivo deste trabalho é comparar o Código TRAC-PD2 com os resultados da experiência CANON, que simula um APRP através da despressurização de um tubo horizontal contendo água a diferentes temperaturas, analisando a evolução de pressão e de fração de vazio durante o transiente.

II. Descrição do Código TRAC-PD2

O Código TRAC-PD2⁽¹⁾, desenvolvido pelo Laboratório Nacional de Los Alamos, foi elaborado para analisar diferentes condições acidentais em reatores nucleares a água leve pressurizada. Este Código é apoiado nas versões dos Códigos TRAC-P1⁽²⁾ e TRAC-P1A⁽³⁾, que formaram a base da modelagem dos componentes monodimensionais, podendo, devido à sua grande versatilidade, simular pequenos e grandes APRP.

Para analisar o comportamento termo-hidráulico de uma central nuclear em condições acidentais, o Código TRAC-PD2 é baseado no modelo a dois fluidos (6 equações) tridimensional para o vaso de pressão e no modelo "Drift Flux" (5 equações) monodimensional para os demais componentes do circuito. Em ambos os modelos, o Código fornece um conjunto de equações constitutivas dependentes do regime de escoamento do fluido, para as equações que descrevem a transferência de massa, quantidade de movimento e energia entre as fases vapor e líquido e a estrutura do sistema.

Operacionalmente, o Código TRAC-PD2 é completamente modular, tanto na descrição dos componentes, quanto na sua funcionalidade: Do ponto de vista dos componentes, este Código possui módulos específicos para a simulação de vasos de pressão com os internos associados, tubos, tubos tipo "T", pressurizadores, geradores de vapor, bombas, acumuladores e válvulas. Do lado funcional, os cálculos são efetuados em módulos separados como, por exemplo, no algoritmo de resolução de equações de hidrodinâmica nos componentes monodimensionais, no algoritmo de solução da distribuição de temperatura de parede do elemento combustível e na seleção do coeficiente de transferência de calor.

O procedimento numérico de resolução das equações diferenciais que descrevem os fenômenos termo-hidráulicos nos componentes monodimensionais, no Código TRAC-PD2, é escrito na forma de equações de diferenças finitas parcial ou totalmente implícita. Para a resolução das equações diferenciais tridimensionais aplicada ao vaso de pressão, somente a técnica de resolução parcialmente implícita é permitida.

Uma importante característica do Código TRAC-PD2 é a capacidade de analisar completamente um APRP, isto é, simulando as fases de despressurização, reenchimento e o remolhamento completo do núcleo do reator.

III. Experiência CANON

A experiência CANON⁽⁴⁾, realizada no Centro d'Études Nucléaire de Grenoble - França, tem, como objetivo principal, analisar a despressurização em um tubo horizontal cheio de água. Basicamente, esta experiência estuda o comportamento temporal da pressão, fração de vazio e força de recuo durante o transiente de despressurização.

A Figura 1 mostra o esquema de montagem da experiência CANON, que consiste em uma seção de testes em aço inoxidável de 4,389 m

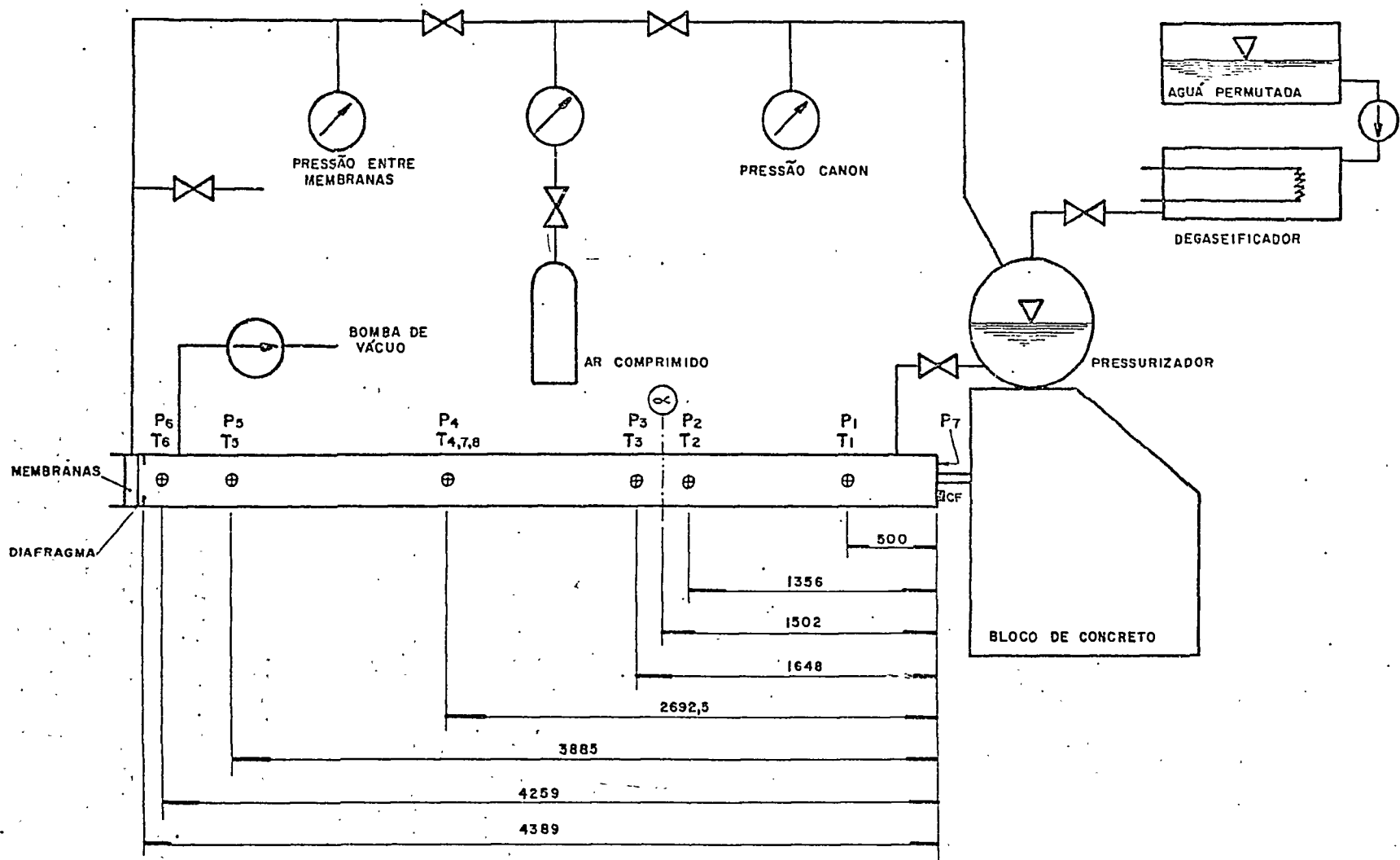


Fig:1- Esquema da Experiência CANON com Pontos de Medidas.

de comprimento e 100 mm de diâmetro interno, pressurizada a 150 bar com temperatura inicial da água, variando de 280 a 320°C. Testes também foram realizados à pressão de 32 bar e temperatura de 200 a 230°C⁽⁵⁾. A despressurização é obtida através da ruptura de uma membrana colocada numa das extremidades da seção de testes, estando a outra permanentemente fechada. Através de diafragmas colocados na parte aberta do tubo, pode-se variar o diâmetro interno da seção de testes (30, 50, 70, 100 mm), de modo a tornar mais lenta a despressurização.

Durante o transiente são registradas a pressão e a temperatura em diversos pontos da tubulação, assim como a fração de vazio a 1,5m da extremidade fechada através do método de difusão de nêutrons térmicos (Figura 1).

IV. Modelagem Através do Código TRAC-PD2

O Código TRAC-PD2 encontra-se implantado no computador CDC-175/750 do Instituto de Estudos Avançados do Centro Técnico Aeroespacial de São José dos Campos, em São Paulo. Um estudo da potencialidade do Código foi efetuado, visando sobretudo adquirir capacitação nas suas inúmeras aplicações.

Especificamente para a experiência CANON, foram realizados testes com o intuito de adequar corretamente às condições experimentais as opções propostas pelo Código como, por exemplo, o tipo de componente empregado, número de células usadas, escolha da correlação para o coeficiente de atrito e método numérico adotado.

A experiência CANON foi simulada pelos componentes PIPE, FILL e BREAK que correspondem, respectivamente, à seção de testes propriamente dita, à parte fechada do tubo com a condição de velocidade zero nesta posição e à interface com a pressão atmosférica na extremidade aberta.

Quanto à escolha apropriada do número de células foram feitos testes utilizando de 6 até 70 divisões, verificando-se que com 16 células a modelagem apresenta resultados satisfatórios, sem contudo acarretar excessivo espaço de memória. Para valores superiores a 70 células, não houve convergência numérica.

Todas as correlações utilizadas para o cálculo do coeficiente de atrito foram testadas, verificando-se que os resultados obtidos são bastante semelhantes entre si. Optou-se, todavia, pela correlação de Armand⁽⁶⁾, já que a mesma foi estabelecida para escoamento

em tubos horizontais e sendo a que mais se aproxima dos dados experimentais.

Finalmente, no tocante à resolução numérica das equações, foram testados tanto o método parcial quanto o totalmente implícito, adotando-se a segunda alternativa devido à sua melhor coerência com os valores experimentais.

V. Análise dos Resultados

A simulação da experiência CANON, através do Código TRAC-PD2, foi feita para diferentes condições experimentais, totalizando cerca de 30 comparações. É evidente que, devido à exiguidade de espaço, apenas alguns resultados serão apresentados.

As Figuras 2 a 9 mostram a comparação do Código TRAC-PD2 com a evolução experimental da fração de vazio e da pressão durante o transiente de despressurização, cujos resultados, numa primeira aproximação, são considerados satisfatórios.

Sistematicamente, o Código TRAC-PD2 superestima a evolução experimental de fração de vazio conforme é mostrado nas Figuras 2, 4, 6 e 8. Este resultado também foi obtido por Lekach ⁽⁷⁾ através do Código TRAC-P1A ⁽³⁾.

Por outro lado, nas figuras 3, 5, 7 e 9, pode-se verificar que os resultados obtidos para as curvas de pressão são subestimados. Como a pressão é controlada pela razão de geração de vapor e pelo escoamento crítico na saída da tubulação, os resultados encontrados são coerentes, uma vez que o Código "produz" mais vapor do que a experiência, provocando, assim, uma variação mais acentuada da pressão em relação aos dados experimentais.

Em vista disto, uma modelagem mais adequada da razão de geração de vapor deve ser introduzida no Código, não descartando a influência dos modelos de escoamentos crítico na saída da tubulação.

É bom ressaltar que o Código TRAC-PD2 descreve, de uma maneira bastante satisfatória, o início e o fim do transiente de despressurização.

VI. Conclusões

Este trabalho apresenta a comparação dos cálculos efetuados pelo Código TRAC-PD2 com os resultados da experiência CANON, a qual simula um Acidente de Perda de Refrigerante Primário, através da

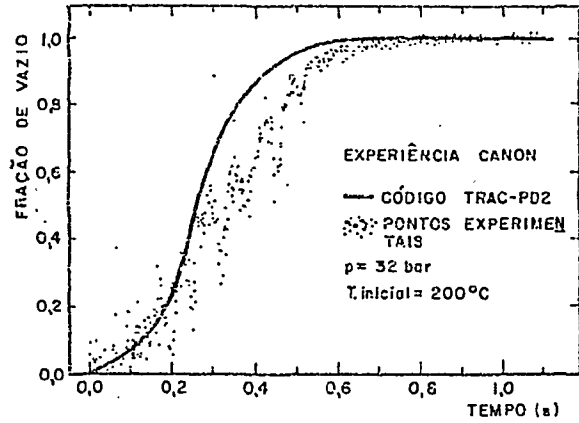


Fig:2 - Evolução da Fração de Vazio.
Abertura Total do Tubo (100mm).

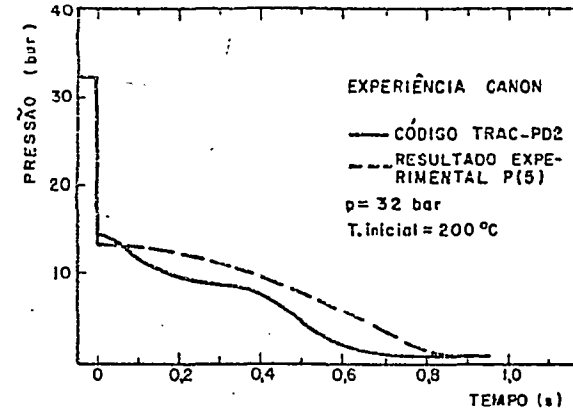


Fig:3 - Evolução da Pressão.
Abertura Total do Tubo (100mm).

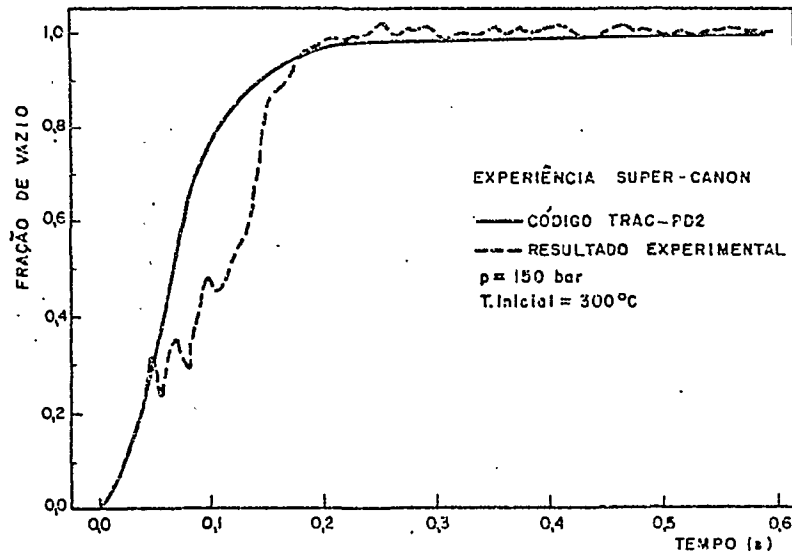


Fig:4 - Evolução da Fração de Vazio. Abertura Total do Tubo (100mm).

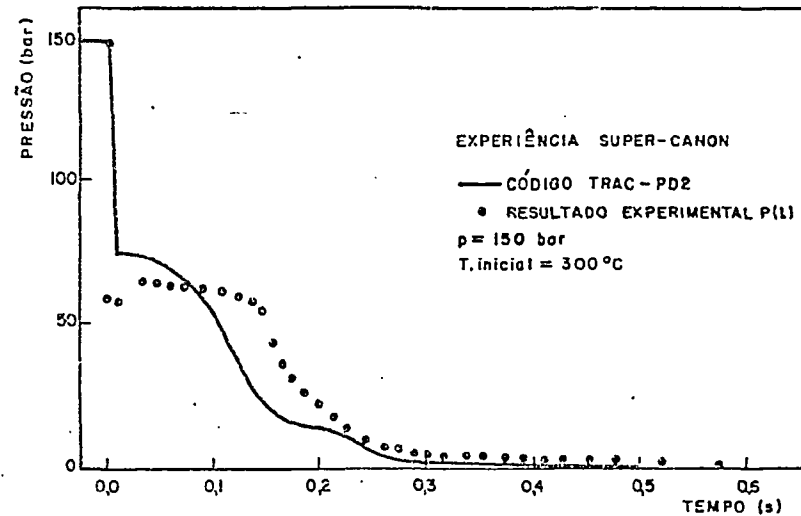


Fig:5 - Evolução da Pressão. Abertura Total do Tubo (100mm).

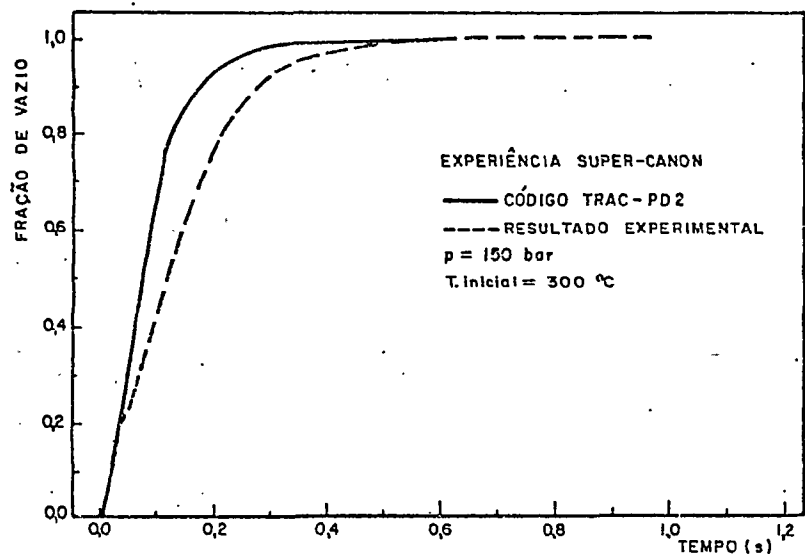


Fig:6 - Evolução da Fração de Vazio. Abertura Parcial do Tubo (70mm)

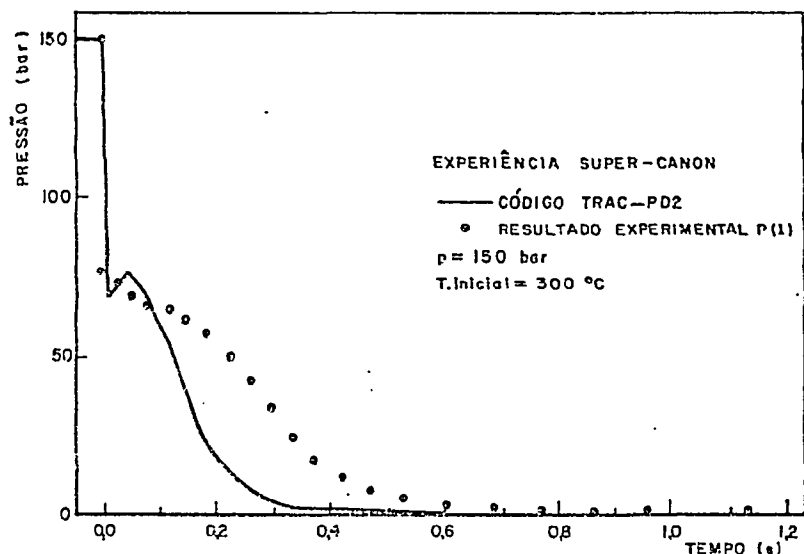


Fig:7 - Evolução da Pressão. Abertura Parcial do Tubo (70mm)

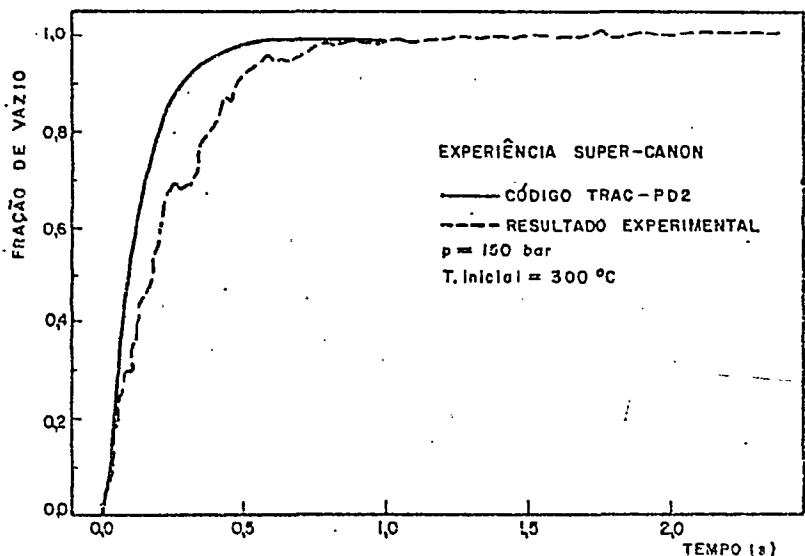


Fig:8 - Evolução da Fração de Vazio. Abertura Parcial do Tubo (30mm)

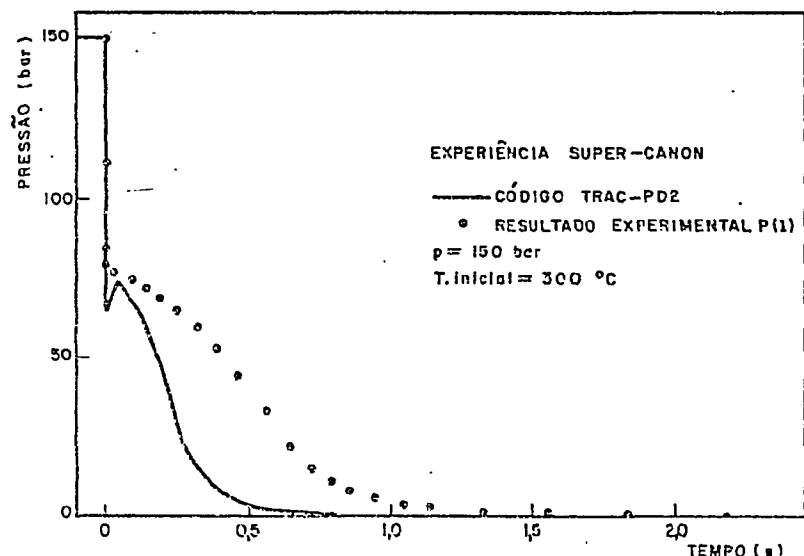


Fig:9 - Evolução da Pressão. Abertura Parcial do Tubo (30mm)

despressurização de um tubo horizontal, contendo água a diferentes temperaturas.

O Código TRAC-PD2 prediz satisfatoriamente a evolução experimental de fração de vazio e pressão, necessitando, contudo, de uma modelagem mais apurada sobre o termo que calcula a razão de geração de vapor e o escoamento crítico na saída da tubulação rompida.

A aplicação do Código TRAC-PD2 na simulação da experiência CANON representa um estágio intermediário para a sua utilização na análise de acidentes em centrais nucleares.

Bibliografia

- (1) "TRAC-PD2: An Advanced Best Estimate Computer Program for Pressurized Water Reactor Loss-of-Coolant Accidents Analysis," Los Alamos National Laboratory, Report LA-8709-MS (April 1981).
- (2) "TRAC-P1": An Advanced Best Estimate Program for PWR LOCA Analysis. Vol. I. Methods, Models, User Information, and Programming Details," Los Alamos Scientific Laboratory, Report LA-7279-MS, Vol. I (June 1978).
- (3) "TRAC-P1A": An Advanced Best-Estimate Computer Program for PWR LOCA Analysis," Los Alamos Scientific Laboratory, Report LA-7777-MS (May 1979).
- (4) RIEGEL, B., "Compte rendu des essais à 150 bars. Experience Super-Canon", CENG/TT/SETRE/79-2-B/BR, (1979).
- (5) RIEGEL, B. et MARECHAL, A. "Experience CANON: Despressurization d'une Capacité en Double Phase Eau-Vapeur," CEA-CENG Note TT n° 547 (Avril, 1977).
- (6) ARMAND, A.A., "The Resistance During the Movement of a Two-Phase System in Horizontal Pipes," Atomic Energy Research Establishment, Report AERE-Trans 828 (1959).
- (7) LEKACH, S.V. Calculation of the CANON experiment using the TRAC code. Trans. Am. Nucl. Soc., 34: 455-6, 1980.