

MODELAGEM E ESTADO ESTACIONÁRIO DO REATOR DA INAP COM O RELAP5/MOD2

Mauricio Genta Maragni
Antonio Belchior Junior
Jorge Alexandre Onoda Pessanha

CTMSP - Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo
Depto. de Tecnologia de Reatores Nucleares
Av. Prof. Lineu Prestes, 2242 - Cid. Universitária
05508-900. São Paulo, Brasil

RESUMO

Neste trabalho é apresentada a modelagem da INAP para o RELAP5/MOD2 que está em desenvolvimento no CTMSP. O reator da INAP é do tipo PWR de pequeno porte, projetado para operar continuamente a uma potência térmica nominal de 48 MW_t. O RELAP5/MOD2 é um código com filosofia realista, que foi desenvolvido para a simulação de transientes e acidentes em reatores tipo PWR e sistemas associados. A inicialização do estado estacionário da planta foi obtida de forma satisfatória, consistindo na primeira etapa para que sejam efetivamente realizadas as análises de acidentes da planta com este código.

I. INTRODUÇÃO

Dentro do processo de licenciamento da INAP (Instalação Nacional de Água Pressurizada), cujo projeto está sendo desenvolvido pelo CTMSP (Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo), será necessário apresentar à CNEN o Relatório Preliminar de Análise de Segurança (RPAS). Um dos capítulos do RPAS irá tratar da análise dos Acidentes Básicos de Projeto (ABPs) para esta instalação. Neste contexto, o CTMSP vem realizando esforços visando realizar tal análise com o auxílio do código RELAP5/MOD2 [1]. Estes esforços contam também com a colaboração de FURNAS, da NUCLEN, do CDTN, do IPEN e da UFPE.

Este trabalho pretende mostrar os esforços realizados para a nodalização da INAP com o RELAP5/MOD2, bem como os resultados obtidos na convergência do estado estacionário e a comparação destes com os dados de projeto.

II. ASPECTOS GERAIS

A INAP tem como objetivo principal o desenvolvimento da tecnologia de reatores nucleares para propulsão naval. Essa instalação abrigará todos os sistemas que compõem a planta de propulsão, cujos projeto, fabricação e construção terão a participação de empresas nacionais, visando capacitá-las na produção dos itens

componentes da planta de propulsão e dos sistemas auxiliares e de apoio necessários à operação segura das instalações.

O reator da INAP é do tipo PWR de pequeno porte, projetado para operar continuamente a uma potência térmica nominal de 48 MW_t. O combustível do reator será UO₂ com 4,3% em peso de enriquecimento em ²³⁵U. O núcleo comportará 21 elementos combustíveis, cada um com 260 varetas de combustível ou de veneno queimável, 28 tubos-guias para varetas de controle e 1 tubo para instrumentação nuclear interna. O reator será refrigerado com água leve pressurizada a 131 bar, possuindo dois circuitos de refrigeração, cada um com três bombas de resfriamento, sendo que uma delas ficará em "standby".

O RELAP5/MOD2 é um código com filosofia realista, que foi desenvolvido para a simulação de transientes e acidentes em reatores tipo PWR e sistemas associados. Possui a capacidade de simular pequeno e grande LOCA, acidentes de perda de potência elétrica, perda da água de alimentação, perda de vazão, etc, através de um modelo de 7 equações (3 para cada fase + 1 para gases não condensáveis) e de uma equação adicional para boro.

A simulação de uma planta com o RELAP5/MOD2 requer a nodalização desta em componentes. Na modelagem procura-se fazer a representação geométrica mais realista possível, através de componentes próprios do código como PIPE, BRANCH, VALVE, PUMP e SEPARATR, entre outros. No arquivo de entrada de dados

também devem ser representadas as estruturas de troca de calor entre dois ou mais componentes ou com o ambiente, além dos sistemas de controle da planta, parâmetros de cinética, dados dos materiais envolvidos, etc.

A análise de acidentes da INAP com um código realista foi motivada pelos esforços conjuntos dos trabalhos realizados por ocasião da 1ª e 2ª JONATER [2,3], que tiveram como objetivo principal produzir um conjunto de dados de entrada de referência, multi-uso, aplicável à análise de segurança da Central Nuclear Angra 1 com o código RELAP5/MOD2. Estes eventos e seus desdobramentos geraram excelentes resultados, tanto a nível técnico como a nível de integração entre as 7 instituições do setor nuclear brasileiro que estiveram envolvidas.

Assim como na JONATER, na análise de acidentes da INAP está sendo utilizada a versão migrada do RELAP5 para microcomputadores, feita no CTMSP a partir da versão RELAP5/MOD2 CY36.05 cedida à CNEN pelo Departamento de Engenharia de Reatores do Instituto "Jozef Stefan" da Eslovênia, com autorização da USNRC.

III. DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

Nodalização. Os trabalhos tiveram início com a nodalização da INAP em componentes conforme a estrutura requerida pelo RELAP5/MOD2. Procurou-se fazer uma modelagem multi-uso, ou seja, uma modelagem padrão que possa ser utilizada na simulação do maior número de acidentes. Entretanto, algumas alterações provavelmente deverão ser realizadas para acompanhar alguns fenômenos em problemas específicos. As principais considerações sobre a nodalização são as seguintes:

Vaso do Reator. A Figura 1 apresenta a nodalização efetuada para o vaso do reator. Conforme pode ser observado, o núcleo foi modelado com 2 canais, um deles representando os elementos centrais do núcleo e o outro representando os elementos periféricos, permitindo "crossflow" entre eles (componentes 170 a 178 e 180 a 188). O desvio do núcleo (componente 190) foi modelado por um componente PIPE com 5 volumes de controle. Os bocais de entrada e de saída foram representados nos componentes 100, 102, 290 e 292. Os componentes 240, 250 e 260 representam a câmara superior, enquanto que os componentes 140, 150 e 160 representam a câmara inferior, e os componentes 110, 120, 130, 136 e 138 representam a região anular.

Circuito Primário. As tubulações foram modeladas a partir dos isométricos do primário considerando explicitamente todos os trechos em que ocorre o escoamento de fluido. As bombas foram representadas pelo componente PUMP, com os parâmetros para o regime de operação normal e as curvas homologas monofásicas e bifásicas para o torque e a altura manométrica. As válvulas de isolamento e de retenção foram representadas pelo componente VALVE, com o tipo definido de acordo com seu princípio de

funcionamento. Foram consideradas junções em lugares específicos para a inclusão futura do Sistema de Resfriamento de Emergência.

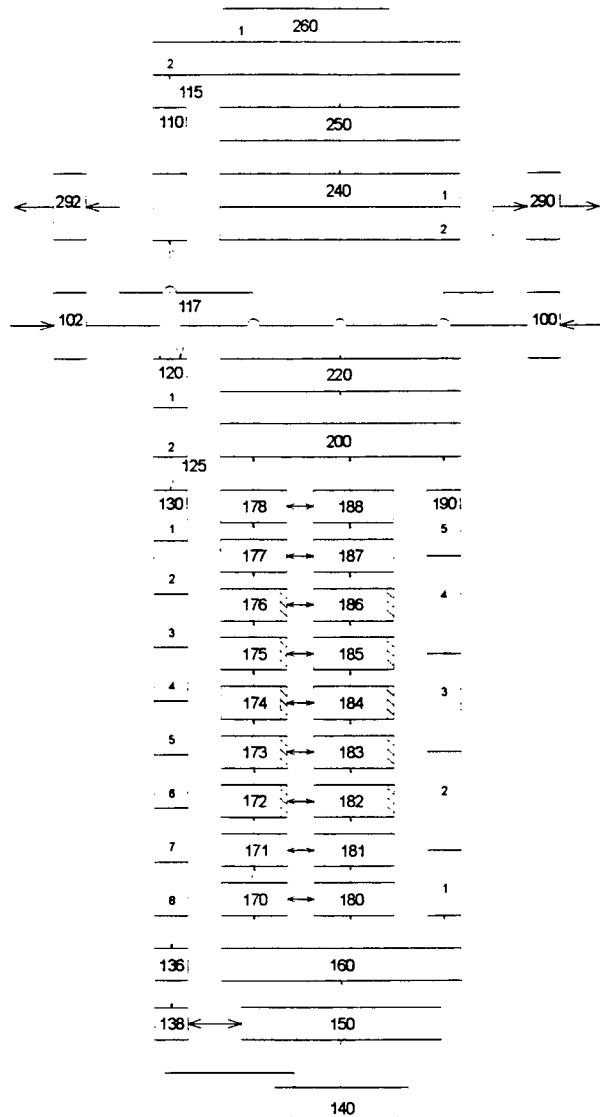


Figura 1. Nodalização em Componentes do Vaso do Reator da INAP.

Gerador de Vapor. A Figura 2 apresenta a nodalização em componentes de um dos geradores de vapor da planta. Observa-se que o lado primário (região dos tubos em U) foi representado por um PIPE com 24 volumes de controle (componente 312), além de 2 BRANCHs (310 e 314) representado respectivamente as câmaras de entrada e de saída. O lado secundário foi representado por componentes que simulam a região de líquido e de vapor (componentes 600 e 610), enquanto que o separador de vapor foi representado pelos componentes 620 e 630 e o secador de vapor pelo componente 670. O componente 660

representou a região existente entre o separador e o secador de vapor, enquanto que a válvula de alívio de vapor foi representada pelo componente 690 e a região anular pelos componentes 641 e 650. Foram usadas condições de contorno para a região de vapor (componente 810) e para a água de alimentação (componente 645), além de um controlador fictício para o nível de líquido (componentes 696 e 697).

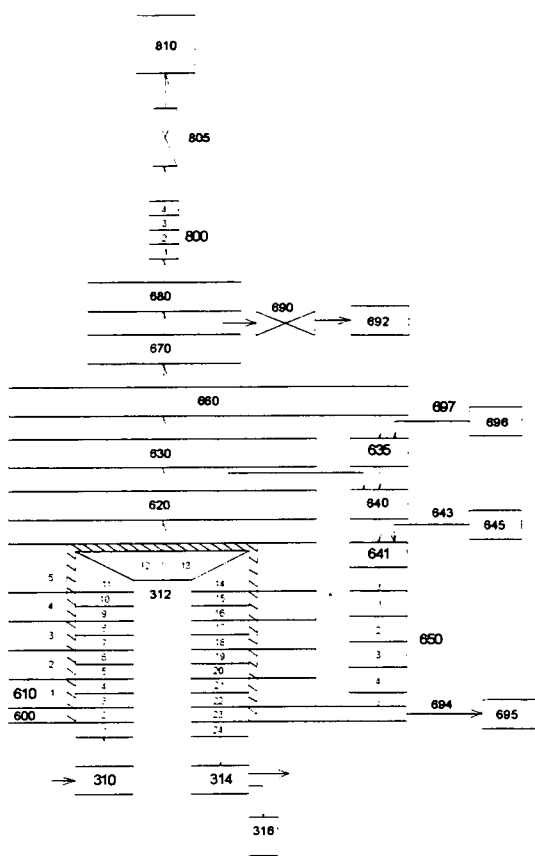


Figura 2. Nodalização em Componentes do Gerador de Vapor da INAP.

Pressurizador. Foi dividido de forma a considerar a região dos aquecedores e do nível de líquido em estado estacionário. Também foram modeladas as válvulas de alívio e de segurança, bem como o aspensor. Novamente foram usados controladores fictícios para o nível de líquido e para a pressão do sistema. Estes controladores fictícios visam facilitar a convergência destes parâmetros durante o processo de inicialização. Por fim, a linha de surto foi representada por um PIPE com 10 volumes de controle.

Modelagem. A modelagem da planta considerou, além da nodalização geométrica, o cálculo dos seguintes parâmetros requisitados pelo código:

Estruturas de Calor. Nesta fase foram modeladas apenas as estruturas de troca de calor do núcleo e dos tubos em U dos geradores de vapor. Em todos os casos considerou-se apenas uma estrutura subdividida nos vários volumes de controle em que ocorre transferência de calor. As demais estruturas de calor (de todos os internos e das perdas para o ambiente) serão incluídas na próxima etapa do trabalho.

Controle dos Trips. Foi desenvolvida a lógica de abertura e fechamento das válvulas de alívio e de segurança do Pressurizador, a lógica do acionamento e desligamento dos bancos de aquecedores, e a lógica do fechamento da válvula de isolamento do Reator e da válvula de alívio do Gerador de Vapor.

Propriedades Térmicas. Foram selecionadas na literatura as propriedades térmicas (condutividade térmica e capacidade de calor volumétrica) de todos os materiais envolvidos no sistema.

Variáveis de Controle. Foram desenvolvidas várias variáveis de controle para se determinar, entre outros, o inventário de massa no circuito, a potência térmica gerada no núcleo e algumas perdas de pressão ao longo do circuito.

IV. ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

Os dados mencionados anteriormente foram introduzidos no arquivo de entrada do RELAP5/MOD2. Utilizou-se a versão 1.08 para microcomputadores, distribuída pela CNEN em 31/10/96. Para se alcançar o estado estacionário, foram colocadas as bombas para funcionar nas condições nominais e feitos alguns ajustes nos coeficientes de perda de pressão para algumas junções críticas. Estes ajustes são necessários porque em alguns trechos o cálculo destes coeficientes é inviável, e apenas dessa forma se consegue inicializar o código para as vazões de projeto em todas as regiões do sistema. A transferência de calor do primário para o secundário foi acertada sem que se houvesse a necessidade de modificar os diâmetros hidráulicos calculados para as estruturas de calor dos tubos em U dos geradores de vapor.

O estado estacionário foi alcançado após 91,6 s de simulação. Na Tabela 1 são apresentados os desvios percentuais em relação aos valores de projeto dos principais resultados obtidos na inicialização.

Observa-se que os resultados, em geral, estão em excelente acordo com os dados de projeto. As únicas diferenças ocorreram na razão de recirculação do gerador de vapor e nos inventários de massa do circuito primário e do secundário do gerador de vapor. Estes pequenos desvios eram esperados, pois alguns dados geométricos utilizados na modelagem com o RELAP5/MOD2 foram diferentes dos utilizados nos cálculos de projeto devido a algumas alterações que ocorreram posteriormente ao cálculo inicial. Além disso, constatou-se que no cálculo do valor de projeto para o inventário de massa foi tomado o volume do circuito

multiplicado pela densidade da água calculada na temperatura média deste. O cálculo do RELAP5 não faz esta aproximação, pois calcula o inventário de massa em cada volume de controle com a densidade calculada a partir da temperatura local.

TABELA 1. Desvios Percentuais do Principais Resultados Obtidos na Inicialização do Estado Estacionário da INAP com o RELAP5/MOD2

PARÂMETRO	DESVIO (%)
Reator	
. Potência	0.0
. Temperatura na entrada do vaso	+ 0.02
. Temperatura na saída do vaso	+ 0,03
. Variação de temperatura no vaso	+ 0,36
. Pressão na entrada do vaso	- 0.31
. Pressão na saída do vaso	- 0.23
. Vazão mássica no reator	- 0.04
. Vazão mássica no núcleo	- 0,04
. Vazão mássica no desvio do núcleo	- 0,01
. Vazão mássica na câmara superior	+ 0,01
Gerador de Vapor	
. Pressão de saída de vapor	- 0,37
. Vazão mássica de vapor	- 0.17
. Razão de recirculação	+ 2,38
. Potência retirada em cada GV	+ 0.07
. Inventário de massa do secundário	+ 3,89
Pressurizador	
. Pressão	- 0.02
. Nível de líquido	+ 0.02
. Inventário de massa	- 0.41
Circuito Primário	
. Temperatura da perna quente	+ 0,03
. Temperatura da perna fria	+ 0.02
. Vazão mássica	- 0,10
. Inventário de massa	+ 1,26

V. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos até aqui foram satisfatórios, e servem de motivação para a continuidade dos trabalhos nesta linha. A convergência do estado estacionário foi alcançada com pequenos ajustes em alguns coeficientes de perda de pressão, o que é bastante aceitável dada a dificuldade de se medir esses valores experimentalmente. Comprova-se dessa forma a qualidade da modelagem feita do reator da INAP para o RELAP5/MOD2, dado que desde o início procurou-se fazer a representação mais realista da planta, tanto a nível geométrico, quanto a nível dos demais parâmetros simulados.

Dessa forma, a próxima fase do trabalho consiste em incluir na modelagem as estruturas de calor de todos os internos, as perdas para o ambiente, os dados de cinética (razão β/Λ e coeficientes de reatividade) e a lógica de controle e de desligamento da planta, entre outros. Além disso, pretende-se fazer a modelagem das linhas de vapor, do Tanque de Blindagem que envolve o vaso do reator e do Sistema de Resfriamento de Emergência, a fim de possibilitar a simulação de diversos transientes/acidentes na INAP.

REFERÊNCIAS

- [1] Ransom, V. H. et. al., **RELAP5/MOD2 Code Manual**, NUREG/CR-4312, EGG-2396, December, 1985.
- [2] Grupo de Trabalho da 1ª JONATER, **1ª Jornada Nacional em Termo-hidráulica de Reatores - Relatório de Atividades**, CDTN, Belo Horizonte, MG, Maio, 1995.
- [3] Grupo de Trabalho da 2ª JONATER, **2ª Jornada Nacional em Termo-hidráulica de Reatores - Relatório de Atividades**, UFPE, Recife, Junho, 1996.

ABSTRACT

This work presents a model developed for the INAP power plant to be used in the RELAP5/MOD2 code. The INAP is a small PWR type designed to operate continuously at 48 MW thermal power output. The RELAP5/MOD2 is a best-estimate computer code developed to simulate transients in PWR and associated systems. The calculated steady-state was obtained in a satisfactory manner when compared to the INAP data.