

# **Avaliação dos Parâmetros Relacionados ao Revestimento em Código de Desempenho de Combustível**

**Leandro Tadashi Hirota e Claudia Giovedi  
Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo - CTMSP**

## **INTRODUÇÃO**

O projeto de um reator nuclear de potência passa necessariamente por uma etapa de avaliação do desempenho do combustível sob as condições previstas de operação do reator e em alguns transientes operacionais. Para tal, utilizam-se códigos de desempenho do combustível, os quais devem contemplar as características particulares do reator, como por exemplo, geometria, materiais utilizados e dimensionamento.

A partir de informações referentes às características de fabricação da vareta combustível e do seu histórico de operação (evolução temporal da potência de operação da vareta e das condições termohidráulicas do refrigerante), o código calcula os efeitos inter-relacionados de: temperaturas do combustível e do revestimento, pressão interna da vareta, deformações do combustível e do revestimento, liberação dos produtos de fissão, inchamento e densificação do combustível, expansão térmica, corrosão e crescimento induzido pela radiação no revestimento, e formação de depósito na parede do revestimento.

Como dados de saída, o código fornece uma estimativa das temperaturas, da pressão interna e das tensões e deformações observadas no combustível e no revestimento ao longo de toda a vareta. O código também estima a fragilização do revestimento por oxidação e hidratação durante a irradiação e prediz a probabilidade da ocorrência de falha na vareta combustível.

Para a realização dos cálculos, os códigos utilizam bancos de dados contendo informações sobre as propriedades dos

materiais que compõem o combustível e o revestimento. No caso específico do revestimento, os códigos comerciais contêm dados referentes apenas a ligas à base de zircônio, já que estes são os materiais convencionalmente utilizados em reatores dos tipos PWR e BWR.

Sendo assim, a realização de simulações que contemplem materiais não convencionalmente utilizados, como por exemplo, aço inoxidável como material de revestimento, passa necessariamente por uma etapa de adaptação do código de forma a atender a tais necessidades.

## **OBJETIVO**

O trabalho tem por objetivos a avaliação dos parâmetros relacionados ao revestimento em código de desempenho de combustível visando à sua modificação para uma versão que contemple a utilização de aço inoxidável 348 como material de revestimento e a realização de testes com a versão modificada do código.

## **METODOLOGIA**

Inicialmente foram consultados documentos de arquivo do CTMSP de modo a avaliar as informações já existentes sobre o assunto. Em seguida, foram avaliados arquivos digitais referentes ao código fonte de modo a identificar as subrotinas ligadas ao revestimento e, foi realizada pesquisa bibliográfica sobre as propriedades do aço inoxidável 348.

As modificações necessárias foram implementadas no código fonte em trabalho paralelo desenvolvido na instituição em parceria com o IPEN. A nova versão foi então testada e os resultados foram

confrontados aos obtidos utilizando a versão original do código.

## RESULTADOS

A pesquisa tanto nos documentos antigos do CTMSP quanto nas subrotinas do código fonte indicaram ser necessário proceder à alteração das seguintes propriedades associadas ao revestimento: deformação devido ao crescimento axial; coeficiente de anisotropia; calor específico; módulo de elasticidade; parâmetros  $k$  (coeficiente de resistência),  $m$  (expoente de sensibilidade à taxa de deformação) e  $n$  (expoente de encruamento) para a equação de estado do revestimento; dureza Meyer; deformação por *creep*; módulo de cisalhamento; condutividade térmica; expansão térmica radial e axial; razão de Poisson; temperatura de fusão; calor de fusão; emissividade térmica; e condutividade térmica do óxido de aço inoxidável. Dentre essas propriedades, há algumas em que se utilizaram dados referentes ao aço inoxidável 347 ou 304, devido à ausência na literatura de dados correspondentes ao aço inoxidável 348.

As modificações listadas acima foram implementadas, a nova versão do código foi testada e os resultados foram comparados aos obtidos utilizando a versão original do código.

Os resultados obtidos indicaram que a previsão de desempenho do combustível para a versão aço inoxidável foi compatível ao esperado. Por exemplo, a temperatura central do combustível na versão aço apresentou valores sempre superiores (da ordem de 100°C) aos obtidos na versão original do código, o que é esperado devido à expansão térmica do aço sob irradiação ser maior que a das ligas à base de zircônio, assim o *gap* entre a pastilha e o revestimento na vareta com revestimento em aço é sempre maior, dificultando a transferência de calor e, conseqüentemente, aumentando a temperatura do combustível. Porém, os valores obtidos em todas as condições

estudadas ficaram sempre dentro dos limites de segurança estabelecidos.

Outro parâmetro importante avaliado com a nova versão do código foi a pressão interna da vareta combustível em diferentes condições. Também nesse caso, os dados obtidos ficaram de acordo com o esperado ao utilizar aço inoxidável como material de revestimento ao invés de ligas à base de zircônio, ou seja, as pressões obtidas foram menores para a vareta em aço inoxidável devido à maior expansão do revestimento observada neste caso.

## CONCLUSÕES

A pesquisa bibliográfica realizada permitiu a obtenção de importantes informações relacionadas ao objeto do estudo, as quais foram utilizadas na implementação da versão adaptada do código.

Os testes realizados com a versão adaptada do código indicaram que os resultados obtidos condizem com o desempenho esperado para o combustível ao se alterar o material de revestimento de ligas à base de zircônio para aço inoxidável. No entanto, deverá ser dada continuidade ao trabalho de avaliação da versão adaptada, estudando-se outros parâmetros importantes, tais como, as propriedades mecânicas do revestimento durante a irradiação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] H. S. Aybar e P. Ortego, "A Review of Nuclear Fuel Performance Codes", *Progress in Nuclear Energy*, vol. 46, p. 127-141 (2005).
- [2] A. Teixeira e Silva, "Adequação dos códigos de comportamento do combustível para o projeto", Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo (1984).

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

PIBITI/CNPq