

AVALIAÇÃO DAS CONSTANTES ELÁSTICAS DO COMBUSTÍVEL NUCLEAR DE ALTA QUEIMA (U_{1-y},Gd_y)O₂

Luciana Torres Leite e Marcio Soares Dias
Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear - CDTN

INTRODUÇÃO

Em condições de alta queima e transientes, a vareta combustível está sujeita ao efeito de interação mecânica entre combustível e revestimento. Na avaliação desta interação são utilizadas as constantes elásticas do combustível. A modelagem e atualização da base de dados das propriedades elásticas do combustível (U_{1-y},Gd_y)O₂ têm então os seguintes impactos: a) **Científico**: ampliação da base de conhecimento das propriedades de combustíveis nucleares; b) **Tecnológico**: otimização dos cálculos de projeto e de desempenho da vareta combustível em condições de alta queima; c) **Econômico**: aumento da queima de descarga e otimização do desempenho operacional. d) **Social**: benefícios para a sociedade com a redução dos custos da geração de energia elétrica, e) **Ambiental**: redução da taxa de geração de rejeitos radioativos com a extensão da queima.

OBJETIVO

O trabalho objetivou o desenvolvimento de modelos que, uma vez ajustados às propriedades elásticas do UO₂, do Gd₂O₃, do material de referência Al₂O₃, permitam a interpolação e a extrapolação em faixas de composições, porosidades e temperaturas do combustível (U_{1-y},Gd_y)O₂.

METODOLOGIA

A avaliação foi conduzida em três etapas: **1) Pesquisa da teoria**: determinou as formas funcionais que considerem os efeitos da porosidade e da temperatura nas propriedades elásticas de cerâmicos; **2) Pesquisa de dados**: foram realizadas as pesquisas e coletas regressivas e

progressivas das medidas experimentais disponíveis na literatura aberta para as propriedades elásticas do UO₂, Gd₂O₃, Al₂O₃ e (U_{1-y},Gd_y)O₂; **3) Tratamento dos dados**: foram realizadas a avaliação básica, análise relacional e modelagem. As incertezas dos parâmetros ajustados foram determinadas para limites de confiança de 95% e os valores foram validados em testes de aceitação ($P > |t|$) com o programa Table Curve 3D [Systat, 2002].

RESULTADOS

Pesquisa da Teoria: No contexto de um procedimento heurístico é assumida a hipótese de que a separação de variáveis descreva as dependências dos módulos elásticos **M** com a porosidade **p** e com a temperatura **T** [Munro, 2004], ou seja:

$$M(p, T) = M(p) \cdot M(T) \quad (1)$$

Entre diversos modelos para a dependência das constantes elásticas com a porosidade e a temperatura foi utilizado o modelo do variacional relativo [Dias, 2007].

As medidas dos módulos elásticos foram então reduzidas na forma de funções de distribuição:

$$\frac{M}{M_{ref}} = \sum_{i=1}^n f_{Ni} \cdot a_i \cdot F_i \quad (2)$$
$$F_i = \frac{y_i^3}{(1+y_i^3)} \cdot \left(\frac{b_i^3 + c_i^3}{b_i^3} \right)$$
$$f_{Ni} = \left(\frac{1}{2} \left(1 - \frac{|x - b_i|}{x - b_i} \right) \right)$$

onde **n** é o número de distribuições na modelagem da propriedade, **a_i** contribuição da distribuição **i** para o valor de referência

M_{ref} , F_i função de distribuição normalizada, F_{fi} função de forma da componente i ($= 0$ para $x > b_i$ e $= 1$ para $x < b_i$), $y_i = |x - b_i|/c_i$ é a variável reduzida da grandeza x ($x =$ **porosidade** ou **temperatura**); b_i e c_i representam valores de referência ajustados da distribuição.

Pesquisa de Dados: A pesquisa e coleta de totalizaram 1329 medidas experimentais, sendo que 36 delas com desvios absolutos maiores que $\pm 3\sigma$ foram descartadas no processo de avaliação básica dos dados.

Tratamento dos dados: Os ajustes com a equação (2) para o UO_2 e o Gd_2O_3 são resumidos na Figura 1.

Na forma do modelo do variacional relativo, no presente trabalho é proposta a seguinte correlação para os módulos elásticos do combustível nuclear $(U_{1-y}, Gd_y)O_2$:

$$M = M_{Gd_2O_3} - 2 * (M_{UO_2} - M_{Gd_2O_3}) \cdot \frac{d^3}{1 + d^3} \quad (3)$$

com a massa específica reduzida d na forma de $d = \frac{d_{(U_{1-y}, Gd_y)O_2} - d_{Gd_2O_3}}{d_{UO_2} - d_{Gd_2O_3}}$

e onde $M_{Gd_2O_3}$ e M_{UO_2} são os módulos elásticos do Gd_2O_3 e do UO_2 em função da porosidade p e da temperatura T .

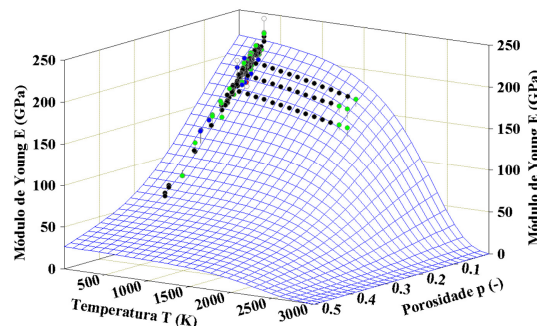
CONCLUSÕES

O modelo do variacional relativo foi aplicado no desenvolvimento de uma avaliação de constantes elásticas do combustível nuclear $(U_{1-y}, Gd_y)O_2$. A adequação deste modelo foi verificada em relação à base de dados do Al_2O_3 . Esta base é mais ampla e extensa do que a base de dados do UO_2 e do Gd_2O_3 . Estes materiais constituem os limites de composição do combustível $(U_{1-y}, Gd_y)O_2$. No contexto de um procedimento heurístico ficou demonstrada a hipótese de que a separação de variáveis possa ser aplicada na descrição das dependências dos módulos elásticos M com a porosidade p ,

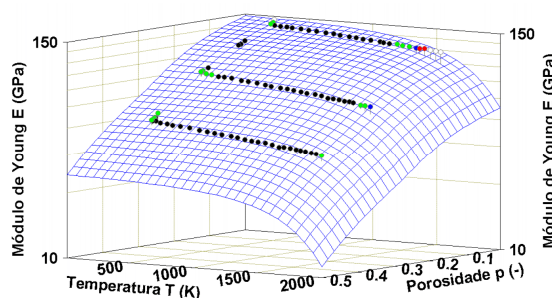
com a temperatura T para os materiais Al_2O_3 , UO_2 e Gd_2O_3 .

Os módulos elásticos do combustível nuclear $(U_{1-y}, Gd_y)O_2$ são então avaliados na forma da equação (3).

A massa específica reduzida d introduz o efeito da composição y na avaliação das constantes elásticas do combustível nuclear $(U_{1-y}, Gd_y)O_2$.



(a) $E(p, T)$ do UO_2



(a) $E(p, T)$ do Gd_2O_3

Figura 1- Ajustes aos dados $(E(p, T))$ da Urânia e da Gadolína.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]Dias, M.S.; Jordão, E.; Vasconcelos, V., Desenvolvimento de modelos..., 2007. DSc Thesis, Campinas State Univ., SP.
- [2]Munro, R.G., *J. Res. Nat. Inst. Standards and Tech.*, v. 109, p. 497-503, 2004.
- [3]SYSTAT Software Inc. TABLE CURVE 3D – version 4.0 for Windows, Richmond, CA, USA, 2002.

APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

CNPq e CNEN