

## Estudo da Cerâmica $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{ZrO}_2$ para Proteção contra Radiação Espacial

Deborah M. Ciriaco, Silvio Manea, Daniel A. Nono, Maria C. A. Nono, Camila P. Mendes

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, Brasil

deborah.ciriaco@inpe.br

---

**Resumo.** *A radiação espacial ionizante é hostil para componentes eletrônicos embarcados em satélites. A exposição a altos níveis de radiação pode gerar danos irreversíveis em semicondutores, que por consequência afeta o funcionamento de IC's e então, a vida útil da missão espacial. Por esta razão, a busca por materiais que interajam com a radiação de modo a criar um escudo protetor é de extrema importância para o cumprimento dos requisitos em projetos de satélites. Este trabalho tem como objetivo propor o estudo de cerâmicas com propriedade de atenuação de dose absorvida. As simulações computacionais utilizando a configuração HZETRN (High Charge and Energy Transport) mostram que o compósito  $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{ZrO}_2$  pode aumentar a tolerância a radiação de componentes eletrônicos quando aplicado em encapsulamentos, e sugere o estudo utilizando corpos de prova a partir de rotas de processamento de cerâmica conhecidas pelo INPE.*

---

**Palavras-chave:** *Blindagem para Radiação; Dose; Materiais para Blindagem; Satélite; Componentes Eletrônicos.*

### 1. Introdução

O projeto de um satélite deve prever todos os riscos e perigos associados às fases de seu ciclo de vida. Uma das fontes de perigo para veículos em órbita está relacionada com os altos níveis de radiação encontrados no ambiente espacial (MARTINES, 2011).

A radiação espacial possui três principais componentes, os Eventos Solares, incluindo sua fase de Mínimo Solar e Máximo Solar, os Raios Cósmicos Galácticos (*GCR - Galactic Cosmic Rays*) e os Prótons e Elétrons Aprisionados no Campo Magnético Terrestre, que juntos compõem um ambiente hostil para materiais estruturais e principalmente, semicondutores (MARTINES, 2011).

Os componentes eletrônicos possuem chips de Circuito Integrado (*IC – Integrated Circuit*) que juntos executam funções essenciais para a missão do satélite, no entanto, a exposição à radiação ionizante pode gerar efeitos destrutivos, diminuindo sua vida útil (DUZELLIER, 2004; CLARO; SANTOS, 2005).

As duas principais alternativas para mitigar os danos em componentes eletrônicos são, o uso de componentes *rad-hard (radiation hardened)*, que são projetados e qualificados para resistir

doses de radiação iguais ou superiores a  $100krad$  e o desenvolvimento de escudos protetores utilizando materiais que interagem com a radiação através de absorção ou reflexão (CLARO; SANTOS, 2005).

No Brasil, o uso de *rad-hard components* ainda não é viável devido aos altos custos relacionados com a compra e desenvolvimento de componentes com essa característica, portanto, materiais que possam exercer funções de blindagem são utilizados para aumentar a tolerância dos ICs (CLARO; SANTOS, 2005).

Atualmente, os chips de ICs passam por um processo de encapsulamento cerâmico, que de modo geral, promove proteção e facilita sua inserção em placas de componentes eletrônicos. A cerâmica utilizada nessas cápsulas possui 80% de alumina comercial e são fabricadas em países como Japão e Rússia. Este trabalho propõe uma investigação de cerâmicas que possam substituir a alumina comercial de modo a aumentar a tolerância dos chips à radiação, sem acarretar em penalidades de massa.

O grupo de Micro e Nanotecnologia de Cerâmicas e Compósitos (TECAMB) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) possui uma biblioteca de estudos realizados com cerâmicas avançadas, quais estão disponíveis para aplicações específicas em satélites e Plataformas de Coleta de Dados (PCD). Dado os principais requisitos de projeto para o encapsulamento ((INPE), 2013), surgiu o interesse em investigar o comportamento do compósito  $Al_2O_3+ZrO_2$  quando submetido à altas doses de radiação.

O compósito  $Al_2O_3+ZrO_2$ , qual tem sido objeto de estudo para o grupo TECAMB possui propriedades de inércia química, valores de tensão de ruptura e de massa específica conhecidas e compatíveis com os dados da alumina comercial utilizada pelo grupo de Circuitos Integrados Tolerantes a Radiação (CITAR/INPE), no entanto, sua propriedade de proteção contra radiação ainda é desconhecida (NONO, 2016; (INPE), 2013). Portanto, este trabalho tem como objetivo, obter as propriedades protetivas contra radiação ionizante do compósito  $Al_2O_3+ZrO_2$ .

## 2. Metodologia

Para caracterizar a propriedade protetiva da alumina-zircônia serão utilizados corpos de prova processados com uma rota desenvolvida por Nono et al. (NONO, 2016).

A fim de analisar o poder de atenuação de dose absorvida da cerâmica, serão realizados ensaios de irradiação com fontes ionizantes. O detector de dose ficará alocado atrás do corpo de prova, de modo que seja absorvida apenas a dose que atravessou o material.

Para a caracterização morfológica, o material será caracterizado com a realização de medidas com Microscópio Eletrônico (MEV/FEG), Espectroscopia de Raios X por Dispersão de Energia (EDS) de modo que seja analisado possíveis mudanças estruturais após a interação com a radiação.

### 2.1. Materiais

Para o processamento do compósito, serão utilizados os seguintes materiais:

- Alumina alfa reativa CT 3000 SG;
- Zircônia Y-TZP ZS-1;
- Álcool Etilico;

- Nitrato de Mg Hexahidratado;
- Ácido Oleico;
- Álcool Polivinílico; e
- PABA (ácido 4-amino benzoico).

## 2.2. Procedimento Experimental

Os parâmetros de processamento das cerâmicas adotados para esse trabalho foram baseados nos estudos realizados por (NONO, 2016) para o compósito de  $Al_2O_3+ZrO_2$ , e está descrito no fluxograma da Figura 1.



**Figura 1. Fluxograma do Procedimento Experimental**

Fonte: Adaptado de (NONO, 2016)

## 2.3. Atenuação de Dose Absorvida

Os ensaios com fonte de radiação ionizante para analisar a variação de dose absorvida serão realizados a fim de mensurar a capacidade protetiva do compósito, e será calculada através de Equação 1.

$$D_r = \left( \frac{D_e - D_d}{D_e} \right) \times 100 \quad (1)$$

onde,  $D_r$ ,  $D_e$  e  $D_d$  são respectivamente, a dose retida pelo material, dose emitida pela fonte e dose absorvida pelo detector.

## 3. Resultados Esperados

A fim de realizar uma análise prévia em relação a propriedade de atenuação de dose recebida entre a  $Al_2O_3$  comercial e o compósito  $Al_2O_3+ZrO_2$  foi realizada uma simulação utilizando a interface OLTARIS (*The On-Line Tool for the Assessment of Radiation in Space*), desenvolvido pela Agência de Administração Nacional Aeronáutica e Espaço (NASA).

Para obter os valores de dose foi utilizada uma configuração de órbita circular com  $700km$  de altitude, inclinação de 18 e período em órbita de 01/01/2014 a 01/01/2018 considerando o calendário de Máximo Solar. As cerâmicas foram simuladas em geometria esférica, considerando a exposição não direcional à radiação, e com espessura de  $2mm$ .

Os valores de dose absorvida em um detector de silício (Si) para a alumina pura e o compósito alumina-zircônia se encontram na Tabela 1.

**Tabela 1. Materiais simulados, massa específica adotada ( $\rho$ ), dose total da missão, dose considerando apenas os prótons aprisionados (TP) e considerando apenas os raios cósmicos (GCR).**

Material	$\rho$ [g/cm <sup>3</sup> ]	Dose Total [rad]	Dose TP [rad]	Dose GCR [rad]
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,95	1,232x10 <sup>3</sup>	1,230x10 <sup>3</sup>	1,911
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +ZrO <sub>2</sub>	4,07	1,236x10 <sup>3</sup>	1,235x10 <sup>3</sup>	1,953

Com isso, a parte experimental desse trabalho espera obter os seguintes resultados específicos:

1. Obter maior tolerância a radiação ionizante para componentes eletrônicos nacionais com a implementação de cerâmicas avançadas;
2. Contribuir para a realização completa do encapsulamento no Brasil;
3. Caracterizar propriedades de proteção contra radiação ionizante para o compósito Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+ZrO<sub>2</sub>; e
4. Contribuir com a comunidade científica nacional e global.

#### 4. Conclusão

As simulações realizadas mostraram que a implementação da zircônia na alumina não diminuiu expressivamente a dose recebida pelo componente eletrônico. No entanto, a interface OLTARIS considera materiais ideais, incluindo o Si do detector. Além disso, sabe-se que 80% do material das cápsulas é composto por alumina (informação fornecida pelo fabricante), sendo 20% de material desconhecido, o que pode sugerir resultados diferentes.

Por isso, é importante que a parte experimental seja realizada para validar a relação entre as cerâmicas e aumentar o conhecimento sobre o compósito, na busca de expandir sua aplicabilidade ao INPE.

**Agradecimentos:** Os autores não possuem conflitos de interesse. O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Realizado também com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

#### Referências

- CLARO, L. H.; SANTOS, J. A. Danos da radiação em componentes eletrônicos nas aplicações aeroespaciais. In: *INTERNATIONAL NUCLEAR ATLANTIC CONFERENCE (INAC)*. Santos, SP: [s.n.], 2005.
- DUZELLIER, S. Radiation effects on electronic devices in space. *Aerospace Science and Technology*, v. 9, p. 93–99, 2004.
- (INPE), I. N. de P. E. *ETE/ETE-ET-003: Especificação de Requisitos Técnicos - Meta 2: Projeto CITAR*. São José dos Campos: INPE/ETE, 2013. 23 p.
- MARTINES, L. M. S. Dissertation (Master of Science in Engineering Physics), *Analysis of LEO Radiation Environment and its Effects on Spacecraft's Critical Electronic Devices*. Daytona Beach, Florida: [s.n.], 2011. 102 p.
- NONO, D. A. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia Espaciais - Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais), *Análise Comparativa dos Processos Comparativos de Obtenção das*



13º Workshop em Engenharia e Tecnologia Espaciais

*Cerâmicas da Alumina Alfa, da Zircônia-3YTZP e do Compósito Alumina Alfa + 18,5% Zircônia-3YTZP para Aplicação em Satélites como Blindagem para Impactos com Detritos Espaciais.* São José dos Campos, SP: [s.n.], 2016. 221 p.