

# **ESTUDO DOS EFEITOS DA ADIÇÃO DE PARTÍCULAS CERÂMICAS DE B<sub>4</sub>C EM COMPÓSITOS DE MATRIZ DE TITÂNIO BETA SOBRE MICROESTRUTURA E PROPRIEDADES MECÂNICAS A PARTIR DO PROCESSO DE MANUFATURA ADITIVA.**

**Palavras-Chave:** [[Titânio]], [[Propriedades Mecânicas]], [[Microestrutura]]

**Autores:**

**JOÃO AUGUSTO ARTHUS [UNICAMP]**

**Prof. Dr. RODRIGO JOSÉ CONTIERI (orientador) [UNICAMP]**

---

## **INTRODUÇÃO:**

As ligas de titânio beta apresentam um amplo conjunto de propriedades que dependem da microestrutura, sendo esta modificada por diferentes tratamentos térmicos, rotas de processamentos termomecânicos e variações na composição. A característica intrínseca de excelente razão entre resistência mecânica e peso, associada à resistência em temperaturas elevadas de algumas dessas ligas, atende os requisitos para várias aplicações na indústria aeroespacial.

Dentro deste grupo de ligas, significativos esforços têm sido dedicados à avaliação da adequação das ligas Ti-Nb para uso em aplicações que requerem alta resistência mecânica e à corrosão, bem como um baixo módulo de elasticidade

O sistema Ti-Nb é ideal para investigar a composição e os parâmetros estruturais da fase  $\omega$ , uma vez que a presença de Mo aumenta a estabilidade da fase  $\beta$  e resulta em um maior fator de espalhamento em comparação com o Ti [5]. No entanto, a combinação de diferentes potências de laser e velocidades de varredura gera valores de densidade de energia (DE) distintos com subseqüentes microestruturas e propriedades.

Com isso, a partir o tratamento térmico adequado, é possível obter uma microestrutura homogênea, tanto do ponto de vista de elementos de liga, quanto microestruturalmente. O processo de fusão para este sistema é complexo e leva a segregação de Nb, conseqüentemente, à formação de regiões com alta e baixa estabilidade da fase  $\beta$ .

Visto isso, o presente resumo destinado ao XXXII Congresso de Iniciação Científica da Unicamp, trata-se em investigar os impactos do processo de Manufatura Aditiva nos aspectos microestruturais e nas propriedades mecânicas de matriz metálica (Ti-42Nb) – B4C, reforçada com carbeto de boro (B4C) em diferentes % em peso e/ou volume. Por fim, mesmo que de modo preliminar, apresenta-se resultados dos efeitos dos parâmetros de processo no surgimento de defeitos, como porosidade e densificação irregular, bem como nas características microestruturais e de fases.

## **METODOLOGIA:**

A preparação das amostras da matriz metálica feita através da técnica de fusão seletiva a laser (Selective laser melting, SLM) em equipamento MEU, com pós pré-ligados da liga Ti-42%Nb, com atmosfera controlada por vácuo e gás argônio, com os teores apresentados, os quais foram definidos pela densidade de energia (DE) em busca do entendimento das respectivas variações e suas microestruturas e propriedades subsequentes.

| Amostra | B4C (%)           | Potência(w) | Velocidade (mm/s) |
|---------|-------------------|-------------|-------------------|
| 1       | 0,5<br>1,0<br>1,5 | 100         | 500               |
| 2       |                   |             | 700               |
| 3       |                   |             | 900               |
| 4       |                   | 200         | 500               |
| 5       |                   |             | 700               |
| 6       |                   |             | 900               |
| 7       |                   | 300         | 500               |
| 8       |                   |             | 700               |
| 9       |                   |             | 900               |

Tabela 1. Composição nominal das amostras.

Após a elaboração das amostras, elas foram cortadas ao meio longitudinalmente e realizou-se dois tipos de análises distintas com cada metade. A primeira passou por um embutimento a quente em baquelite das que apresentavam % de carbeto de boro semelhante. Em seguida, as mesmas foram lixadas em uma politriz

metalográfica em lixas d'água com abrasividade progressiva: 200, 400, 800 e 1200 mesh. Após isso, ocorreu outro processo de polimento no equipamento Metprep 3/PH-3. Por fim, para revelar a microestrutura foi feito um ataque com o reagente Kroll (2%HF, 10%HNO<sub>3</sub> e 88%H<sub>2</sub>O), e as amostras foram visualizadas no microscópio óptico Eclipse LV100 (NIKON), por meio da técnica de espectrometria de fluorescência de raios-X. Já a segunda metade, foi analisada diretamente por difração de raios-X (DRX) por meio da técnica de incidência da radiação em uma amostra e na detecção dos fótons difratados, em equipamento de marca PANalytical, modelo X'Pert<sup>3</sup> Powder.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO:**

A fim de avaliar o efeito da variação dos parâmetros do laser na microestrutura, análises de difração de raios-X (DRX) foram realizadas. Conforme identificado na Figura 1, o aumento da velocidade do laser resultou em uma tendência de aumento da porosidade nas amostras. Esse fenômeno é ainda mais evidente na Figura 2, onde a imagem “a”, representando a menor velocidade do laser e menor composição de B<sub>4</sub>C, exibe significativamente menos defeitos comparada à imagem “b”, que representa a maior velocidade do laser e maior volume de B<sub>4</sub>C. Isso provavelmente ocorre porque, com velocidades mais elevadas, o laser não consegue fundir completamente a matriz, gerando pequenos defeitos.

Outro ponto importante observado foi que, conforme a quantidade de B<sub>4</sub>C aumenta, há um refinamento microestrutural das amostras. Além disso, análises de DRX confirmaram a presença predominante da fase beta ( $\beta$ ) do titânio em todas as amostras, como esperado devido à presença de nióbio na liga. Na Figura 3, os picos característicos da fase  $\beta$  do titânio são claramente visíveis, enquanto os picos adicionais nas amostras com B<sub>4</sub>C são atribuídos às fases TiB e TiC. Observou-se um aumento na intensidade desses picos à medida que o teor de B<sub>4</sub>C aumentava, indicando a formação e estabilização dessas fases.

Esses resultados sugerem que a adição de B<sub>4</sub>C não só influencia a densificação e a porosidade das amostras, mas também promove mudanças significativas na microestrutura e nas fases presentes, contribuindo para propriedades mecânicas aprimoradas. A relação entre a quantidade de B<sub>4</sub>C e os parâmetros de processamento com os defeitos observados, como porosidade e densificação

irregular, é fundamental para entender o comportamento mecânico dos compósitos.

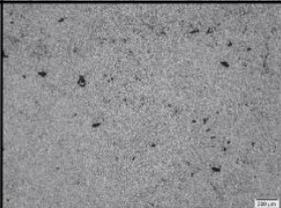
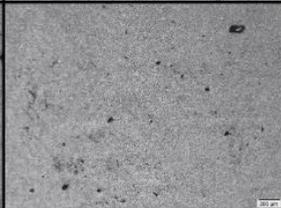
| Região /<br>Volume de B4C    | 0,5 %  | 1,0 %   | 1,5 %  |
|------------------------------|--|---|--|
| Amostra 1<br>100W - 500 mm/s |   |   |   |
| Amostra 2<br>100W - 700 mm/s |   |   |   |
| Amostra 3<br>100W - 900 mm/s |  |  |  |

Figura 1 – Resultados de Microscopia Óptica das amostras de (Ti-42Nb) – B4C

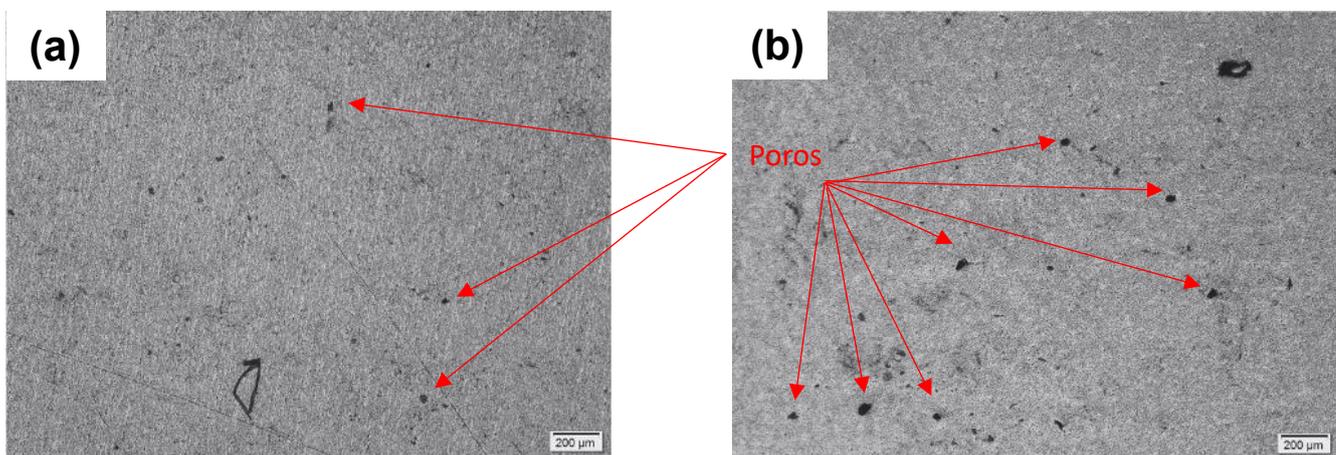


Figura 2 – representação da divergência de defeitos nos parâmetros extremos da análise de amostras por Microscopia Óptica

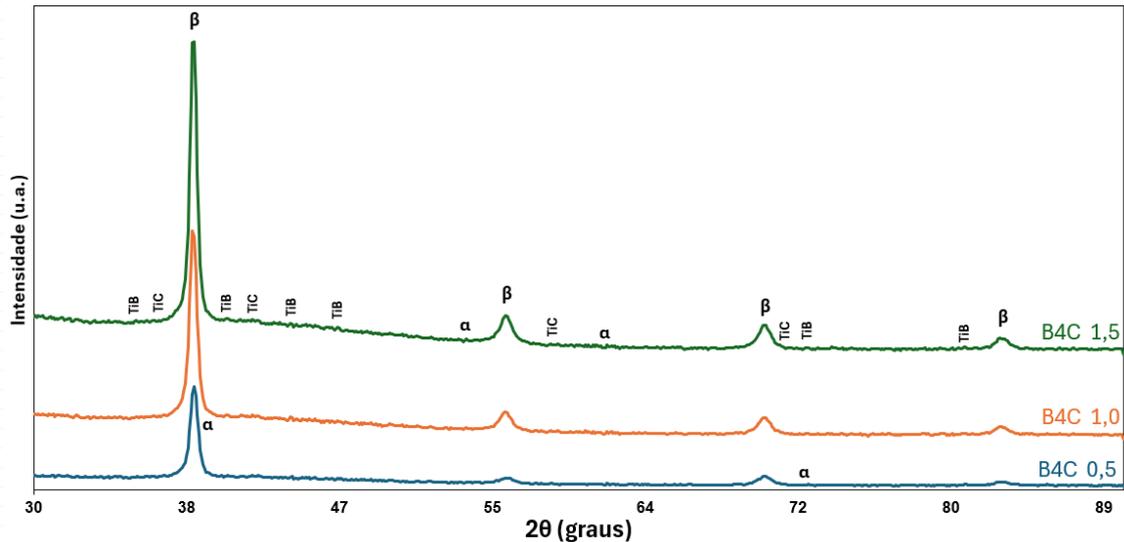


Figura 3 – Resultado de difração de raios-X (DRX) das amostras de (Ti-42Nb) – B4C

## CONCLUSÕES:

A partir dos resultados e análises preliminares elaboradas até aqui, dentro de um escopo maior de pesquisa, podemos concluir que: Viabilidade do Processamento: O desenvolvimento de compósitos Ti-42Nb-B4C por fusão seletiva a laser (SLM) é viável, permitindo a criação de amostras com diferentes proporções de B4C e explorando variabilidades na densidade de energia; Impacto do B4C: Pequenas adições de B4C impactam significativamente a microestrutura, densificação, defeitos, composições de fases e propriedades mecânicas dos compósitos. A maior velocidade do laser aumentou a porosidade, evidenciando a necessidade de controle rigoroso dos parâmetros de processamento; Refinamento Microestrutural: A adição de B4C resultou em microestruturas mais refinadas, independentemente dos parâmetros de laser, devido à formação das fases TiB e TiC, que melhoraram as propriedades mecânicas.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] M. Sabeena, A. George, S. Murugesan, R. Divakar, E. Mohandas, M. Vijayalakshmi J. Alloy. Compd., 658 (2016), pp. 301-315
- [2] M. Sabeena, S. Murugesan, R. Mythili, A.K. Sinha, M.N. Singh, M. Vijayalakshmi, S.K. Deb Trans. Indian Inst. Met., 68 (2015), pp. 1-6
- [3] X.H. Min, S. Emura, T. Nishimura, K. Tsuchiya, K. Tsuzaki Mater. Sci. Eng. A, 527 (2010), pp. 5499-5506