

# INVESTIGAÇÃO DO USO DE METODOLOGIA MULTICRITÉRIO PARA A SELEÇÃO DE LIGAS DE ALTA ENTROPIA EM APLICAÇÕES ESTRUTURAIS PARA VEÍCULOS HIPERSÔNICOS

Rodrigo Andrade Paes<sup>1</sup>; Valéria Serrano Faillace Oliveira Leite<sup>2</sup>; Kátia Regina

Cardoso<sup>3</sup>; Getúlio de Vasconcelos<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Estudos Avançados. ([ranpaes@yahoo.com.br](mailto:ranpaes@yahoo.com.br)).

<sup>2</sup> Instituto de Estudos Avançados. ([valeriavsfol@fab.mil.br](mailto:valeriavsfol@fab.mil.br)).

<sup>3</sup> Universidade Federal de São Paulo. ([krcardoso@unifesp.br](mailto:krcardoso@unifesp.br)).

<sup>4</sup> Instituto de Estudos Avançados. ([getuliovas@gmail.com](mailto:getuliovas@gmail.com)).

**Resumo:** Estruturas de veículos hipersônicos operam sob condições termomecânicas extremas, nas quais o aquecimento aerodinâmico pode elevar as temperaturas superficiais a patamares superiores a 1500 °C, exigindo materiais com elevada resistência mecânica, dureza adequada, estabilidade microestrutural e capacidade de deformação controlada. A seleção de ligas metálicas para essas aplicações constitui um problema industrial crítico, pois as decisões baseadas em propriedades isoladas podem conduzir a escolhas tecnicamente inadequadas. No caso das ligas de alta entropia (*High Entropy Alloys* – HEAs), a ampla diversidade composicional e microestrutural amplia significativamente o espaço de alternativas, tornando indispensável o uso de metodologias estruturadas de apoio à decisão para a seleção de materiais. Nesse contexto, este trabalho objetivou aplicar o método multicritério PROMETHEE II para estabelecer um ranqueamento objetivo de ligas de alta entropia para aplicações estruturais em ambientes hipersônicos, com base em critérios quantitativos de propriedades mecânicas. Para isso, foram selecionadas e avaliadas 16 ligas de alta entropia a partir de uma base de dados com 1713 entradas iniciais, incluindo sistemas equimolares e não equimolares com microestruturas CFC, CCC ou multifásicas. A matriz de decisão foi construída com quatro critérios mecânicos mensuráveis: dureza Vickers (HV), limite de escoamento ( $\sigma_y$ ), resistência última à tração ( $\sigma_{UTS}$ ) e alongamento (%), todos tratados no sentido de maximização. O método PROMETHEE II foi empregado para calcular os fluxos positivos ( $\Phi^+$ ), negativos ( $\Phi^-$ ) e o fluxo líquido ( $\Phi$ ), permitindo o ranqueamento completo e a comparação direta entre as alternativas. Essa abordagem possibilitou avaliar simultaneamente o desempenho mecânico, reduzindo a subjetividade típica dos processos convencionais de seleção de materiais. Como resultado, o *ranking* indicou como alternativa de melhor desempenho global a liga AlCoCrFeTi<sub>0.5</sub>Ni ( $\Phi = 0,2635$ ), que combina dureza elevada (~760 HV), limite de escoamento da ordem de 1990 MPa, resistência última próxima a 2610 MPa e alongamento moderado (~14%), com microestrutura multifásica CFC e CCC. Em segundo lugar, destacou-se a liga AlCoCrFeNiTi<sub>0.5</sub> ( $\Phi = 0,2400$ ), com resistência ainda superior ( $\sigma_y \sim 2260$  MPa;  $\sigma_{UTS} \sim 3140$  MPa), porém com menor dureza e maior ductilidade (~24,4%). Ligas baseadas exclusivamente em sistemas CFC apresentaram fluxos líquidos negativos, evidenciando desempenho inferior quando avaliadas sob múltiplos critérios simultaneamente. A análise demonstrou que pequenas variações no equilíbrio entre a resistência mecânica e a ductilidade impactam significativamente o *ranking* final, ressaltando a sensibilidade e a consistência do método. Portanto, a aplicação do método

PROMETHEE II se mostrou eficaz para hierarquização objetiva de ligas de alta entropia com base em propriedades mecânicas, oferecendo uma ferramenta quantitativa para triagem inicial de materiais destinados a aplicações estruturais severas. A metodologia permite reduzir incertezas na fase preliminar de seleção de materiais, estruturar o processo decisório e direcionar campanhas experimentais para ligas com maior potencial de desempenho estrutural.

**Palavras-chave:** Ligas de alta entropia; PROMETHEE II; Seleção multicritério; Estruturas de alta temperatura; Veículos hipersônicos.