

## **DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO EXPERIMENTAL DE UM SISTEMA GIMBAL PARA CONTROLE VETORIAL DE EMPUXO EM MOTORES FOGUETE DE PROPELENTE SOLIDO**

João Pedro Barbosa Krugner<sup>1</sup>; Edson Henrique Torsatto Neto<sup>1</sup>

O avanço tecnológico observado nas últimas décadas no setor aeroespacial tem impulsionado o desenvolvimento de sistemas cada vez mais sofisticados voltados ao controle e estabilidade de veículos de voo. Nesse contexto, o controle vetorial de empuxo destaca-se como uma das soluções mais eficientes para o direcionamento da trajetória durante o voo propulsado, especialmente em veículos foguete. Entre as diferentes abordagens existentes, a utilização de tubeiras móveis por meio de sistemas do tipo gimbal representa uma alternativa consolidada, capaz de fornecer controle ativo de atitude sem a necessidade de superfícies aerodinâmicas adicionais.

Diante dessa necessidade tecnológica, foi desenvolvido o projeto de um sistema de gimbal aplicado a motores foguete de propelente sólido, concebido com o objetivo de possibilitar o controle direcional do empuxo e ampliar a capacidade de estabilização e guiagem de veículos espaciais de pequeno porte. O sistema foi projetado para ser modular e adaptável, permitindo sua integração em diferentes plataformas experimentais e veículos subescala, contribuindo para a evolução de tecnologias nacionais voltadas à propulsão e controle aeroespacial.

O desenvolvimento do projeto concentrou-se na criação de uma estrutura mecânica capaz de suportar os esforços térmicos e estruturais provenientes da operação de um motor sólido, mantendo simultaneamente precisão angular e confiabilidade operacional. O mecanismo utiliza graus de liberdade controlados que permitem a deflexão da tubeira em eixos ortogonais, possibilitando a vetoração do empuxo conforme comandos previamente definidos. Essa abordagem permite corrigir desvios de trajetória em tempo real, aumentando a estabilidade dinâmica do veículo durante a fase propulsiva.

A etapa inicial do projeto foi conduzida por meio de testes de bancada, destinados à validação estrutural e funcional do sistema. Esses ensaios tiveram como finalidade avaliar o comportamento mecânico do conjunto, verificar amplitudes angulares alcançáveis, identificar possíveis pontos de falha e analisar a resposta do sistema sob condições representativas de operação. Os testes também permitiram ajustes iterativos no projeto, garantindo maior robustez e repetibilidade de movimento antes da implementação em voo.

Como etapa futura de validação, está previsto o embarque do sistema em um foguete subescala, onde serão avaliados parâmetros reais de desempenho em ambiente

operacional. O voo experimental permitirá analisar a resposta do gimbal sob condições reais de aceleração, vibração e cargas aerodinâmicas, fornecendo dados essenciais para o aprimoramento do sistema e futuras aplicações em veículos de maior porte.

Ainda que os resultados em voo estejam em fase de planejamento, o desenvolvimento do gimbal representa um avanço relevante na capacitação tecnológica voltada ao controle ativo de foguetes no contexto acadêmico e experimental. A iniciativa contribui para a formação técnica em engenharia aeroespacial e para o fortalecimento da autonomia nacional no desenvolvimento de sistemas de guiagem e controle, ampliando as possibilidades de pesquisa e inovação em veículos espaciais de pequeno porte.

**Palavras-chave:** Controle Vetorial de Empuxo; Gimbal; Motor Foguete Sólido; Guiagem; Tecnologia Aeroespacial Nacional.