

16º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP - 2025

DESENVOLVIMENTO DE TECNOLOGIA PARA TRENS DE POUSO DE AERONAVES EM MATERIAIS COMPÓSITOS: UM MODELO PARA VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS

LEONARDO L. MACHADO¹, JOSÉ A. OTOBONI²

¹ Graduando em Engenharia Aeronáutica, Bolsista PIBIFSP, IFSP, Campus São Carlos ,leonardo.larocca@aluno.ifsp.edu.br.

² Professor EBTT, Orientador PIBIFSP, Campus São Carlos, joseotoboni@ifsp.edu.br.

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 3.12.03.03-5 Projeto de Estruturas Aeroespaciais

RESUMO: A proposta deste trabalho visa projetar, produzir e ensaiar um conjunto de trens de pouso fabricado com materiais compósitos, buscando reduzir sensivelmente peso, melhorando características aerodinâmicas e mantendo a resistência necessária ao projeto. A introdução dos materiais compósitos como resinas, fibras de vidro, carbono e kevlar, bem como técnicas avançadas de fabricação, permitiram a redução significativa do peso das aeronaves, tornando-as mais eficientes e econômicas. Apesar de existir aeronaves quase totalmente fabricadas em material compósito, os sistemas de trens de pouso, principalmente os providos de amortecimento, ainda são produzidos em ligas de aço e alumínio, gerando peso considerável, afetando sobretudo aeronaves de pequeno e médio porte, onde os trens de pouso representam proporção maior. Como plano de ensaio para experimentação, propõe-se utilizar como modelo uma aeronave não tripulada, onde a redução de peso é requisito fundamental para atingir os objetivos de operação. É esperado que os resultados positivos obtidos nesta proposta possam ser extrapolados para aeronaves tripuladas, otimizando não apenas o peso como também as questões de amortecimento e vibração.

PALAVRAS-CHAVE: Trens de Pouso; Materiais Compósitos, Veículo Aéreo Não Tripulado

DEVELOPMENT OF LANDING GEAR TECHNOLOGY FOR AIRCRAFT USING COMPOSITE MATERIALS: A MODEL FOR UNMANNED AERIAL VEHICLES

ABSTRACT: The purpose of this work is to design, manufacture, and test a landing gear assembly made of composite materials, aiming to significantly reduce weight, improve aerodynamic characteristics, and maintain the required structural strength. The introduction of composite materials such as resins, fiberglass, carbon, and Kevlar, along with advanced manufacturing techniques, has enabled a substantial reduction in aircraft weight, making them more efficient and economical. Although there are aircraft almost entirely manufactured with composite materials, landing gear systems, especially those equipped with shock absorption, are still produced from steel and aluminum alloys, generating considerable weight. This is particularly relevant in small and medium-sized aircraft, where the landing gear represents a greater proportion of the total mass. For the experimental testing phase, it is proposed to use an unmanned aerial vehicle as a model, in which weight reduction is a fundamental requirement to achieve operational objectives. It is expected that the positive results obtained in this proposal can be extrapolated to manned aircraft, optimizing not only weight but also damping and vibration performance.

KEYWORDS: Landing Gear; Composite Materials; Unmanned Aerial Vehicle.

INTRODUÇÃO

O projeto aeroespacial se fundamenta na busca contínua por eficiência e desempenho, impulsionando o desenvolvimento de tecnologias inovadoras (CAMARGO e HOFFMANN, 2019). A adoção de materiais avançados, como os compósitos, têm permitido uma significativa redução de peso nas aeronaves, tornando-as mais econômicas e eficientes (SIJPKES e VERGOUWEN, 2004). No entanto, enquanto a fuselagem, as asas e os estabilizadores já se beneficiam amplamente dessas inovações, os sistemas de trem de pouso ainda são, predominantemente, construídos com ligas de aço e alumínio (CAMARGO e HOFFMANN, 2019). Essa dependência de materiais metálicos pesados impacta diretamente o peso total da aeronave, comprometendo sua performance e elevando o consumo de combustível.

O trem de pouso é uma parte fundamental das aeronaves, pois é responsável por suportar e dissipar as cargas dinâmicas extremas durante o pouso e a decolagem (Pazmany, 1963). A resistência desses componentes é um requisito principal para uma boa performance, tanto em solo quanto em voo. A determinação do tipo de trem de pouso a ser adotado exige atenção especial, considerando fatores como carga, amortecimento, vibração e estabilidade (Rodrigues, 2011).

Em resposta a essa necessidade, este projeto se fundamenta na hipótese de que a aplicação de materiais compósitos pode resultar em um trem de pouso mais leve e eficiente, sem comprometer a resistência e a segurança. O objetivo central é desenvolver e validar um trem de pouso feito integralmente com materiais compósitos para reduzir o peso e manter a resistência necessária. Para isso, serão usados métodos analíticos, como softwares de modelagem 3D e simulação estrutural, além do ensaio de protótipos em um VANT.

MATERIAL E MÉTODOS

Esta pesquisa envolve uma abordagem metodológica diversificada, combinando pesquisa bibliográfica, modelagem computacional e fase experimental. Inicialmente, será realizada uma pesquisa bibliográfica para estudar detalhadamente os esforços dinâmicos em trens de pouso e as características de materiais compósitos.

Para a modelagem e projeto, serão utilizados softwares de Modelagem 3D e CAD, como SolidWorks, Autodesk Inventor ou AutoCAD, a fim de criar modelos detalhados do trem de pouso do tipo triciclo e do drone. Adicionalmente, softwares de Simulação Estrutural, como ANSYS ou Abaqus, serão empregados para simular as cargas e forças atuantes, assegurando que o projeto suporte as condições operacionais esperadas.

Neste estudo, serão analisadas e comparadas as propriedades mecânicas de compósitos de fibra de carbono com resina epóxi e de ligas de alumínio, materiais amplamente utilizados na indústria aeronáutica.

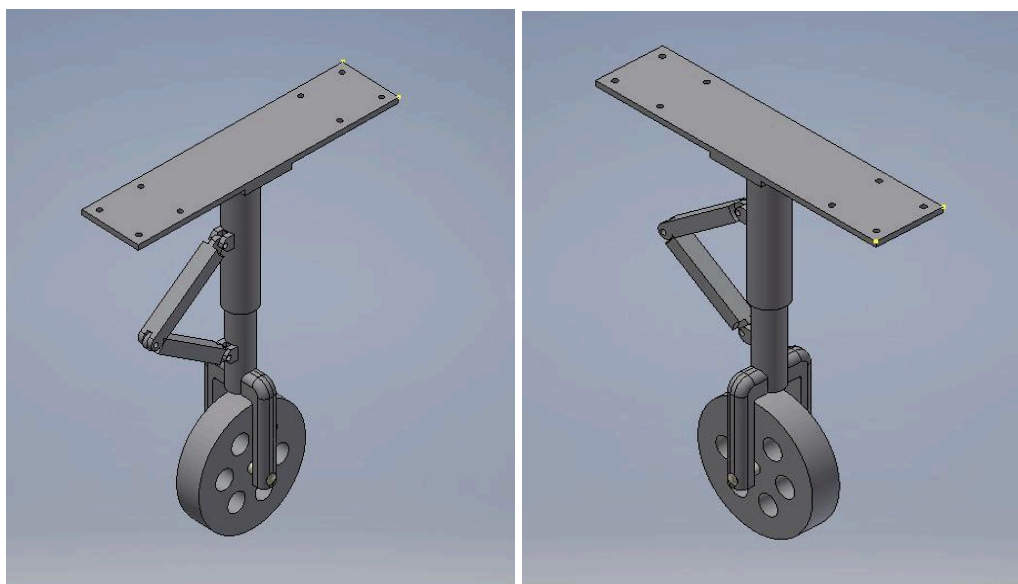
A parte experimental consistirá no projeto dimensional dos elementos a serem desenvolvidos, utilizando tecidos de fibras de carbono pré-impregnadas com resina epóxi. Os moldes para a confecção das peças serão feitos em impressoras 3D. O processo de fabricação seguirá as normas e procedimentos internacionais, utilizando a laminação a vácuo seguida de cura em estufa. Um especialista em materiais compósitos do IFSP supervisionará o processo. Para a execução dos ensaios, serão utilizados os critérios de avaliação e certificação da autoridade aeronáutica nacional e as normas ASTM. Os ensaios estáticos em corpos de prova obedecerão às normas ASTM E23 e ISO-179 para ensaios de resistência ao impacto. Também será utilizado o método da ASTM para ensaios de tração.

A análise dos dados será necessária para avaliar o aperfeiçoamento dos amortecedores e propor melhorias. O projeto utilizará amortecedores de aeronaves de pequeno porte disponíveis no hangar do IFSP, o que elimina a necessidade de financiamento.

A fase final incluirá ensaios dinâmicos em voo usando uma aeronave não tripulada com carga de aproximadamente 35 quilos, em condições de pista severa, para avaliar os resultados do trem de pouso.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos até o momento incluem a finalização do modelo tridimensional do trem de pouso, criado com o software Autodesk Inventor que pode ser analisado abaixo na imagem 1 e imagem 2. Este modelo servirá como base para os testes virtuais. A metodologia de ensaios já está estabelecida, prevendo a aplicação de tensões diretamente no componente por meio de ferramentas de análise estrutural.



Imagens 1 e 2: Trem de pouso desenvolvido através do Autodesk Inventor.

O objetivo é verificar o comportamento do trem de pouso sob esforços mecânicos, avaliando a concentração de tensão, deformação e resistência global. A análise será realizada separadamente para o modelo de alumínio e para o de fibra de carbono, permitindo uma comparação direta de desempenho.

Embora as simulações ainda não tenham sido executadas, o estudo já permitiu uma análise comparativa preliminar das propriedades dos materiais. A fibra de carbono com resina epóxi apresenta vantagens notáveis em termos de resistência mecânica, menor densidade e maior estabilidade dimensional quando comparada ao alumínio. Com os dados obtidos sobre as propriedades da fibra de carbono e das ligas de alumínio 6061 e 7075, foi possível estruturar a base para as análises numéricas. As propriedades dos materiais considerados estão detalhadas nas Tabela 1 e Tabela 2.

Além da análise virtual, as próximas etapas preveem a fabricação do protótipo final após os ensaios no Autodesk Inventor. O projeto seguirá com a realização de testes mecânicos com o trem de pouso finalizado, para uma validação prática do desempenho.

TABELA 1. Propriedades da Fibra de Carbono

Propriedade	Unidade	Direção Longitudinal	Direção Transversal
Massa Específica	g/cm ³	1,6	1,6
Módulo de Elasticidade	GPa	145	10
Resistência à Tração	MPa	1240	41

** : MPa - Megapascal; GPa - Gigapascal; g/cm³ - grama por centímetro cúbico.

TABELA 2. Propriedades de Ligas de Alumínio

Propriedade	Unidade	Alumínio 6061	Alumínio 7075
Massa Específica	g/cm ³	~2,7	~2,8
Módulo de Elasticidade	GPa	68,9	10
Resistência à Tração	MPa	290–310	572

** : MPa - Megapascal; GPa - Gigapascal; g/cm³ - grama por centímetro cúbico.

CONCLUSÕES

Foi demonstrada a viabilidade de utilizar materiais compósitos para o desenvolvimento de um sistema de trem de pouso, validando a proposta inicial. A abordagem virtual se mostrou eficaz para o design e a análise do componente.

Com base no que foi feito até agora, o projeto atingiu seus objetivos de modelagem e planejamento. A finalização do modelo 3D e o estabelecimento da metodologia para testes virtuais permitirão uma avaliação detalhada do desempenho estrutural antes da fabricação. A análise preliminar das propriedades dos materiais confirmou que os compósitos de fibra de carbono oferecem vantagens significativas em relação às ligas de alumínio, especialmente em resistência mecânica e redução de peso.

Esses resultados, embora ainda precisem ser validados por simulações, fornecem uma base sólida para a próxima etapa do projeto que se concentrarão na validação desses dados por meio das simulações computacionais e, posteriormente, na fabricação e nos testes mecânicos do protótipo final.

CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

L.L.M. foi responsável pelo estudo sobre materiais metálicos e compósitos, pelo aprendizado e uso do software Autodesk Inventor para a modelagem inicial do trem de pouso, além da elaboração dos desenhos técnicos e relatórios parciais do projeto. J.A.O. orientou todas as etapas do trabalho, auxiliando na definição dos objetivos, no direcionamento metodológico e na revisão crítica das atividades desenvolvidas.

AGRADECIMENTOS

Este projeto foi desenvolvido com o apoio do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP), por meio da verba de Iniciação Científica, contribuindo para o avanço desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

BAIÃO, Francisco José. **FUNCIONALIDADES E TECNOLOGIAS DA IMPRESSORA 3D**. Itatiba: Universidade de São Francisco, 2012. p.46.

CAMARGO, G. M.; HOFFMANN, W. A. M. . **Panorama da indústria aeronáutica paulista: Uma análise com foco na gestão da certificação do produto**. Revista Brasileira de gestão e Desenvolvimento Regional, v. 15, p. 208-221, 2019.

Instituto de Aviação Civil (IAC). **Célula de Aeronaves**. 2. ed. Rio de Janeiro: Faa, 2002.

PAZMANY, L., **Light Airplane Design**. San Diego, California, United States of America. 1963.

SIJKES, J. B.; VERGOUWEN, R. **Composites in Aircraft Design**. Amsterdam: Amsterdam University Press, 2004.

RODRIGUES, E. F. **Projeto e Construção de um Veículo Aéreo Não Tripulado de Asa Fixa**. Tese de Doutorado, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2011.