

**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA CELSO SUCKOW DA
FONSECA
DEMEC
ENGENHARIA MECÂNICA**

TABATA CARRAVETTA MENNA BARRETO

**USO DE FIBRAS NATURAIS EM PROJETOS DE
FOGUETEMODELISMO COMO PARÂMETROS DE INOVAÇÃO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

RIO DE JANEIRO

2025

TABATA CARRAVETTA MENNA BARRETO

**USO DE FIBRAS NATURAIS EM PROJETOS DE
FOGUETEMODELISMO COMO PARÂMETROS DE INOVAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel Engenharia Mecânica, do DEMEC, do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca.

Orientador: Prof. Dr. Lais Amaral Alves

RIO DE JANEIRO

2025

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central do CEFET/RJ

M547 Menna, Tabata Carravetta
Uso de fibras naturais em projetos de foguetemodelismo como
parâmetros de inovação / Tabata Carravetta Menna – 2025.
42f. il. (algumas color.) + anexo , enc.

Projeto Final (Graduação). Centro Federal de Educação
Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, 2025.

Bibliografia: f. 41-42.

Orientadora: Lais Amaral Alves.

1. Engenharia Mecânica. 2. Compósitos Naturais. 3. Fibras
vegetais. 4. Foguetes (Aeronáutica) – Modelos. 5. Bambu. 6. Juta.
I. Alves, Lais Amaral (Orient.). II. Título.

CDD 620.1

Elaborada pelo bibliotecário Leandro Mota de Menezes – CRB/7 nº 5281

Dedico esse trabalho à minha mãe, que me ensinou o significado de determinação, resiliência e amor incondicional. Apesar de não estar mais aqui para compartilhar este momento, dedico esta conquista a você, que sempre foi meu maior alicerce e inspiração.

AGRADECIMENTOS

Reconheço que estas palavras talvez não sejam suficientes para expressar minha gratidão a todas as pessoas que contribuíram de forma significativa para esta importante etapa da minha vida. Ainda assim, registro aqui meus sinceros agradecimentos, com a consciência de que aqueles não mencionados diretamente ocupam um lugar especial em minha memória e em meu coração.

Agradeço profundamente ao meu namorado, Luiz Guilherme, minha mais profunda gratidão. Você esteve presente em cada surto, em cada problema e em cada comemoração ao longo nos últimos anos, sempre com paciência, carinho e apoio. Sua presença tornou esta caminhada mais leve e significativa, e sou imensamente grata por ter você ao meu lado.

Minha gratidão se estende ao Ramo Estudantil IEEE CEFET/RJ e, em especial, à equipe RocketWolf, que me proporcionaram não apenas aprendizado técnico, inclusive uma verdadeira família durante meus anos nesta instituição.

Quero registrar ainda meu reconhecimento à minha família, de sangue e de coração. Sem o apoio incondicional de vocês, vencer este desafio seria infinitamente mais difícil.

À minha orientadora, Prof. Dra. Lais Amaral, expresso meu profundo agradecimento por sua paciência, dedicação e orientação ao longo desta jornada. Seu apoio foi essencial para a concretização deste trabalho.

Por fim, agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização desta pesquisa, seja com palavras de incentivo, ensinamentos ou apoio nos momentos mais desafiadores. A todos, meu mais sincero obrigado.

"A ciência descreve; a engenharia
realiza." - Albert Einstein

RESUMO

MENNA BARRETO, Tabata. **USO DE FIBRAS NATURAIS EM PROJETOS DE FOGUETEMODELISMO COMO PARÂMETROS DE INOVAÇÃO**. 2025. 47p. Trabalho de Conclusão de Curso – Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca. Rio de Janeiro, 2025.

Investiga-se o uso de fibras naturais, especificamente a fibra de bambu e a fibra de juta, como alternativas sustentáveis e de alto desempenho para a substituição de materiais sintéticos, como a fibra de vidro, em competições de foguetemodelismo. Utiliza-se amplamente a fibra de vidro por equipes universitárias devido ao seu custo-benefício, mas o impacto ambiental associado motiva a busca por soluções mais ecológicas. Comparam-se as propriedades mecânicas e de desempenho da fibra natural laminada em relação à fibra de vidro, analisando-se parâmetros como estanqueidade e acabamento superficial. Realizam-se ensaios experimentais com componentes reais de foguetes para simular condições de voo, incluindo o teste de ejeção do paraquedas e a avaliação do arrasto aerodinâmico com o uso de um rugosímetro. Objetiva-se demonstrar o potencial de inovação das fibras naturais no desenvolvimento de compósitos aplicáveis ao foguetemodelismo. Os resultados indicam que a fibra de juta apresenta viabilidade técnica, vantagens ambientais e cerca de 28% mais econômica que fibra de vidro, enquanto a fibra de bambu requer tratamentos adicionais para superar suas limitações de aderência e impermeabilidade.

Palavras-chave: Foguetemodelismo. Compósitos Naturais. Fibra de Bambu. Fibra de Juta. Sustentabilidade.

ABSTRACT

MENNA BARRETO, Tabata. **USE OF NATURAL FIBERS IN ROCKETRY PROJECTS AS INNOVATION PARAMETERS**. 2025. 47p. Trabalho de Conclusão de Curso – Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca. Rio de Janeiro, 2025.

The use of natural fibers, specifically bamboo and jute fibers, is investigated as a sustainable and high-performance alternative to synthetic materials such as fiberglass in model rocketry competitions. Fiberglass, widely used by university teams for its cost-effectiveness, presents environmental challenges that drive the search for more ecological solutions. The mechanical and performance properties of laminated natural fibers are compared to those of fiberglass, analyzing parameters such as leak-tightness and surface finish. Experimental tests are conducted with real rocket components to simulate flight conditions, including parachute ejection testing and aerodynamic drag evaluation using a surface roughness tester. The study aims to show the innovative potential of natural fibers in the development of composites applicable to model rocketry. The results indicate that jute fiber demonstrates technical feasibility, environmental advantages and 28% more affordable than glass fiber, while bamboo fiber requires additional treatments to overcome its limitations in adhesion and permeability.

Keywords: Rocketry. Natural Composites. Bamboo Fiber. Jute Fiber. Sustainability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Como as Fibras foram Comercialização: a) Fibra de Bambu Crua e b) Fibra de Juta em Tela.	15
Figura 2 - Laminação do Helder 1 com Fibra de Vidro.	22
Figura 3 - Foto Durante a Laminação da Fibra de Bambu.	24
Figura 4 - Foto da Primeira Camada das Fibras no Molde, sendo a) Fibra de Bambu e b) Fibra de Vidro.	25
Figura 5 - Foguete da Equipe <i>RocketWolf</i> de 2023.	26
Figura 6 - Teste Estático Helder 1.	27
Figura 7 - Teste Foguetrônica Helder 1.	28
Figura 8 - Teste de Ejeção Helder 1.	28
Figura 9 - Chapa de Fibra de Bambu Laminada.	30
Figura 10 - Chapa de Fibra de Vidro Laminada.	30
Figura 11 - Tubo de Fibra de Juta Laminada.	31
Figura 12 - Envelopamento do Tubo de Fibra de Juta.	31
Figura 13 - Suporte de Recuperação do Helder 1.	32
Figura 14 - Teste de Ejeção Tubo de Fibra de Juta.	33
Figura 15 - Montagem do Helder 1 no <i>OpenRocket</i>	35
Figura 16 - Configurações do <i>OpenRocket</i> para Helder 1.	36
Figura 17 - Configurações do <i>OpenRocket</i> para Fibra de Juta.	36
Figura 18 - Configurações do <i>OpenRocket</i> para Rugosidade.	36
Figura 19 - Comparação das Simulações.	37
Figura 20 - Simulação de Voo Helder 1.	37
Figura 21 - Simulação de Voo Foguete de Juta.	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Tabela dos Resultados de Rugosidade.....	34
Tabela 2: Tabela da Média dos Resultados de Rugosidade.	34

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

LISTA DE SÍMBOLOS

Ra	Rugosidade Média
Ry	Rugosidade Máxima
Rz	Média das Distâncias Verticais
Rt	Média dos Picos Máximos
μm	Micrômetro

LISTA DE SIGLAS

LASC	<i>Latin American Space Challenge</i> (Desafio Espacial da América Latina)
PVC	Policloreto de Vinil
CEFET/RJ	Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca
UERJ	Universidade Estadual do Rio de Janeiro

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO.....	13
1.2 PROBLEMÁTICA.....	14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1 FOGUETEMODELISMO.....	16
2.1.1 Esforços na Estrutura	17
2.1.1.1 Esforços Mecânico.....	17
2.1.1.2 Esforços Térmicos	18
2.1.1.3 Esforços Dinâmicos e Vibrações.....	18
2.1.1.4 Considerações para o Foguete deste Trabalho	18
2.2 MATERIAIS COMPÓSITOS E SUSTENTABILIDADE.....	19
2.3 PROPRIEDADES DAS FIBRAS NATURAIS	19
2.4 APLICAÇÕES DE FIBRAS NATURAIS EM COMPÓSITOS.....	20
2.5 DESAFIOS E OPORTUNIDADES	20
3 MÉTODO EXPERIMENTAL DE LAMINAÇÃO	22
3.1 LAMINAÇÃO DO FOGUETE	22
3.2 LAMINAÇÃO DE BAMBU	23
3.3 LAMINAÇÃO DA JUTA.....	25
4 RESULTADOS EXPERIMENTAIS	26
4.1 TESTES DO FOGUETE	26
4.2 AVALIAÇÃO DAS FIBRAS NATURAIS (BAMBU E JUTA)	29
4.3 ENSAIO	32
4.3.1 Ensaio de Estanqueidade	32
4.3.2 Ensaio de Rugosidade.....	33
4.4 COMPARATIVO NO <i>OPENROCKET</i>	34
4.4.1 Introdução ao <i>OpenRocket</i>	34
4.4.2 Resultados Apresentados pelo <i>OpenRocket</i>	35
5 CONCLUSÃO	39
6 TRABALHOS FUTUROS	40
REFERÊNCIAS	41
APÊNDICE A - Roteiro da Entrevista Erro! Indicador não definido.	
ANEXO A - Direitos autorais - Lei nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998. Disposições preliminares	43

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Foguetemodelismo não é um tema muito tratado no cenário atual brasileiro, porém o Brasil é sede da segunda maior competição de foguetemodelismo do mundo, a *Latin America Space Challenge (LASC)*, porém essa competição traz equipes do mundo inteiro para competir em categorias de quinhentos metro, um quilômetro e três quilômetros de apogeu (altitude máxima atingida pelo foguete). No cenário das competições universitárias de foguetemodelismo, tanto no Brasil quanto internacionalmente, a escolha de materiais estruturais para foguetes é frequentemente limitada a opções como fibra de vidro, alumínio e fibra de carbono. No entanto, equipes brasileiras, especialmente aquelas vinculadas a universidades públicas com recursos restritos, tendem a optar pela fibra de vidro devido ao seu equilíbrio entre custo, leveza e desempenho. Embora eficaz, a fibra de vidro não é a única solução viável, e a busca por alternativas mais acessíveis e ambientalmente sustentáveis tem impulsionado avanços significativos no campo dos materiais compósitos naturais.

Diante dessa realidade, esta pesquisa explora o potencial de compósitos naturais como alternativas inovadoras e sustentáveis às fibras sintéticas amplamente utilizadas. Foram selecionadas, separadamente, as fibras de bambu e de juta, reconhecidas por suas características ecológicas e propriedades mecânicas promissoras. Este estudo compara as fibras naturais laminadas com a fibra de vidro, analisando parâmetros essenciais como resistência à estanqueidade e acabamento superficial. O objetivo é avaliar a viabilidade desses materiais no desenvolvimento de foguetes com apogeu de um quilômetro, contribuindo para soluções mais acessíveis e ambientalmente responsáveis no contexto do foguetemodelismo universitário. A decisão do apogeu, diâmetro e tamanho do foguete se deu graças ao foguete Helder 1, foguete em homenagem ao professor orientador da equipe RocketWolf do CEFET/RJ que sempre ajudou a equipe a superar desafios e criar novos projetos e que foi levado para a competição de 2023.

1.2 PROBLEMÁTICA

Compósitos naturais têm demonstrado vantagens ambientais significativas em relação aos de fibra de vidro. Essas vantagens incluem a diminuição do impacto ambiental com a redução do uso de polímeros mais poluentes, a melhoria na eficiência de combustível e redução de emissões em aplicações leves, já que essas fibras tornariam equipamentos mais leves, e a possibilidade de recuperação de energia e créditos de carbono no descarte [1]. Além disso, as fibras naturais são amplamente disponíveis, renováveis e biodegradáveis, permitindo decomposição sem danos ao meio ambiente [2].

Esta pesquisa busca ampliar as possibilidades de aplicação de fibras naturais no foguetemodelismo universitário, reduzindo a dependência de fibras sintéticas e promovendo soluções inovadoras. As fibras de bambu e as de juta foram selecionadas devido ao seu potencial para aplicações estruturais.

Entretanto, o uso de fibras naturais enfrenta desafios específicos no contexto do foguetemodelismo. Uma das principais dificuldades é a obtenção de fibras em formato adequado para aplicações aeroespaciais, uma vez que muitas fibras disponíveis no mercado são destinadas ao artesanato e podem conter contaminantes ou não atender aos padrões exigidos para aplicações estruturais. Por outro lado, materiais sintéticos, como a fibra de vidro, possuem produção padronizada e controle rigoroso de qualidade, tornando-os confiáveis e amplamente acessíveis. No entanto, avanços em técnicas de tratamento e processamento de fibras naturais oferecem oportunidades promissoras para superar essas barreiras e desenvolver materiais com desempenho competitivo e menor impacto ambiental.

O objetivo central deste estudo é avaliar o potencial das fibras de bambu e juta como alternativas sustentáveis e de alto desempenho no contexto do foguetemodelismo universitário. A proposta é determinar se essas fibras naturais podem competir com materiais sintéticos tradicionais, como a fibra de vidro, sem comprometer a eficiência ou o processo de fabricação dos foguetes. Para isso, as fibras naturais foram laminadas seguindo o mesmo processo utilizado na fabricação do foguete Helder 1, desenvolvido pela equipe *RocketWolf* em 2023 para a competição LASC. Posteriormente, foram realizados testes experimentais para verificar sua viabilidade e eficiência como substitutas de materiais sintéticos. A Figura 1 ilustra as fibras utilizadas no estudo.

Figura 1 - Como as Fibras foram Comercialização: a) Fibra de Bambu Crua e b) Fibra de Juta em Tela.



Fonte: Autoria Própria.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A busca por materiais sustentáveis de alto desempenho tem ganhado destaque em diversas áreas da engenharia, incluindo o setor aeroespacial e o foguetemodelismo. Neste capítulo, são discutidos os fundamentos teóricos e as pesquisas recentes que embasam o uso de fibras naturais como alternativas aos materiais sintéticos geralmente usados com foco nas fibras de bambu e juta. Além disso, são abordados os desafios e as oportunidades associados à aplicação desses materiais na área de foguetemodelismo.

2.1 FOGUETEMODELISMO

O foguetemodelismo é uma atividade que envolve o projeto, construção e lançamento de foguetes em escala reduzida, geralmente organizada em competições universitárias. As equipes são tradicionalmente divididas em cinco subáreas principais: estruturas, recuperação, propulsão, aerodinâmica e foguetrônica. Cada uma dessas áreas desempenha um papel crucial no sucesso do foguete, desde o lançamento até a recuperação segura.

A equipe de recuperação é responsável por garantir que o foguete retorne ao solo de forma segura, utilizando sistemas como paraquedas ou airbags. A equipe de propulsão desenvolve o motor e o propelente, que pode ser sólido, híbrido ou líquido, dependendo das necessidades do projeto. A equipe de aerodinâmica projeta a coifa (o "bico" do foguete) e as aletas, além de realizar simulações computacionais para garantir a estabilidade e o desempenho do voo. A equipe de foguetrônica desenvolve e programa placas eletrônicas para coletar dados do voo, acionar o sistema de recuperação no momento adequado e, em alguns casos, localizar o foguete após o pouso. Por fim, a equipe de estruturas é responsável pelo corpo

externo do foguete, pelos componentes de separação das subáreas e pelos suportes internos necessários para integrar todas as partes do projeto.

Este trabalho concentra-se na estrutura externa do foguete, que está diretamente relacionada à subárea de estruturas. A escolha do material utilizado na estrutura externa pode influenciar não apenas o processo de fabricação, inclusive outras subáreas. Por exemplo, a mudança do material pode afetar a rugosidade superficial, que tem impacto direto no arrasto aerodinâmico e, conseqüentemente, no desempenho do voo.[3] Isso demonstra a interdisciplinaridade do foguetemodelismo, onde alterações em uma área podem gerar efeitos significativos em outras.

Adicionalmente, o foguetemodelismo é uma atividade que gera uma grande quantidade de resíduos, principalmente devido ao uso de materiais sintéticos como fibra de vidro e fibra de carbono. Esses materiais, embora eficazes, têm um impacto ambiental considerável, desde a produção até o descarte. Diante disso, pesquisas que buscam alternativas mais sustentáveis, como o uso de fibras naturais, são de grande relevância para a área. Este trabalho, ao explorar o potencial de fibras naturais como o bambu e a juta, contribui para a redução do impacto ambiental do foguetemodelismo, alinhando-se às demandas globais por práticas mais ecológicas e sustentáveis.

2.1.1 Esforços na Estrutura

A estrutura externa do foguete deve ser projetada para resistir a diferentes tipos de esforços mecânicos, térmicos, dinâmicos e de vibrações ao longo de todo o ciclo de voo, desde o lançamento até a atingir o solo. Esses esforços influenciam diretamente a escolha dos materiais e o dimensionamento da estrutura.

2.1.1.1 Esforços Mecânico

Durante o lançamento, o foguete está sujeito a forças aerodinâmicas significativas devido à resistência do ar, que atuam diretamente sobre a estrutura externa. Essas forças geram esforços de compressão, tração e flexão, especialmente nas regiões próximas às aletas e à coifa. O corpo do foguete também

precisa resistir à carga axial imposta pelo empuxo do motor, que pode gerar deformações estruturais se o material e o *design* não forem adequados.

Além disso, a estrutura deve ser capaz de absorver as cargas geradas durante a fase de recuperação. Quando o sistema de recuperação é acionado, seja por um mecanismo pirotécnico ou pneumático, ocorre uma liberação súbita de energia que gera uma onda de choque na estrutura, podendo causar fadiga e até falhas mecânicas se não for devidamente projetada. O impacto da abertura do paraquedas também exerce tensões adicionais na estrutura, exigindo reforços nos pontos de ancoragem.

2.1.1.2 Esforços Térmicos

O foguete também está exposto a variações extremas de temperatura. Durante o acionamento do motor, o calor gerado pode atingir a parede interna da estrutura, exigindo materiais resistentes a altas temperaturas para evitar degradação ou falha estrutural. Se o sistema de recuperação utilizar pólvora para pressurizar e ejetar a coifa, a temperatura da explosão pode ser um fator crítico, exigindo materiais resistentes à combustão ou revestimentos térmicos para minimizar danos.

2.1.1.3 Esforços Dinâmicos e Vibrações

Outro fator relevante são as vibrações induzidas pelo motor do foguete e pelo fluxo aerodinâmico durante o voo. Essas vibrações podem comprometer a integridade estrutural ao longo do tempo, causando microfissuras ou desajustes em componentes críticos. Para mitigar esses efeitos, a seleção de materiais e técnicas de fabricação deve considerar não apenas a resistência mecânica, mas também propriedades como amortecimento estrutural e tenacidade.

2.1.1.4 Considerações para o Foguete deste Trabalho

No caso do foguete analisado neste estudo, a altura máxima de voo é de aproximadamente 1 quilômetro. Isso significa que os efeitos da variação de pressão atmosférica podem ser considerados desprezíveis em comparação com os esforços

mecânicos e térmicos predominantes. Dessa forma, a atenção principal deve ser direcionada à resistência estrutural durante o lançamento, ao impacto da abertura do paraquedas e à dissipação térmica nas proximidades do motor e do sistema de recuperação.

Com base nesses aspectos, a escolha de fibras naturais como alternativa sustentável deve levar em consideração a capacidade desses materiais de suportar os esforços mencionados, garantindo um desempenho estrutural adequado ao foguete sem comprometer a segurança da missão.

2.2 MATERIAIS COMPÓSITOS E SUSTENTABILIDADE

Materiais compósitos são amplamente utilizados em aplicações que exigem alta resistência mecânica e baixo peso, como na indústria aeroespacial, automotiva e de construção civil. Tradicionalmente, fibras sintéticas, como a fibra de vidro e a fibra de carbono, têm sido as escolhas predominantes devido às suas propriedades mecânicas superiores e à facilidade de processamento. No entanto, o impacto ambiental associado à produção e ao descarte desses materiais tem motivado a busca por alternativas mais sustentáveis. [4]

Fibras naturais, como bambu, juta, sisal e coco, têm ganhado atenção por serem renováveis, biodegradáveis, de baixo custo e por contribuírem para a redução da dependência de recursos não renováveis, como o petróleo, utilizado na produção de fibras sintéticas.

2.3 PROPRIEDADES DAS FIBRAS NATURAIS

As fibras naturais são compostas principalmente de celulose, hemicelulose e lignina, que conferem resistência mecânica e flexibilidade. No entanto, a composição e as propriedades dessas fibras variam conforme a espécie vegetal e o método de extração. A fibra de bambu, por exemplo, é conhecida por sua alta resistência à tração e rigidez, comparável à de algumas fibras sintéticas. [5] Já a fibra de juta se destaca por sua flexibilidade, durabilidade e facilidade de processamento, sendo amplamente utilizada em aplicações têxteis e industriais. [6] Ao longo dessa

pesquisa foi notado uma resistência da fibra de bambu com relação a resina e endurecedor e a facilidade no caso da fibra de juta.

Apesar das vantagens, as fibras naturais apresentam desafios, como a variabilidade em suas propriedades mecânicas, a susceptibilidade à umidade e a baixa adesão a matrizes poliméricas. Para superar essas limitações, tratamentos químicos e físicos, como a alcalinização e a aplicação de compatibilizadores, têm sido investigados para melhorar a interface fibra-matriz e aumentar a resistência dos compósitos . [7]

2.4 APLICAÇÕES DE FIBRAS NATURAIS EM COMPÓSITOS

O uso de fibras naturais em compósitos tem sido explorado em diversas aplicações, desde componentes automotivos até materiais de construção. Na indústria automotiva, fibras naturais, como juta e sisal, têm sido amplamente estudadas e utilizadas em compósitos para painéis internos, revestimentos e peças estruturais, visando reduzir o peso dos veículos e minimizar as emissões de gases de efeito estufa. [8] No setor aeroespacial, pesquisas recentes têm investigado o potencial de fibras naturais em componentes secundários, como painéis e revestimentos, devido às suas propriedades de isolamento térmico e acústico. [9]

No contexto do foguetemodelismo, o uso de fibras naturais ainda é incipiente, mas apresenta um potencial significativo para reduzir custos e impactos ambientais. A leveza e a resistência mecânica desses materiais são particularmente relevantes para a construção de foguetes de alta performance, que exigem estruturas robustas e de baixa densidade. [10]

2.5 DESAFIOS E OPORTUNIDADES

A aplicação de fibras naturais em compósitos estruturais para foguetemodelismo enfrenta desafios técnicos e logísticos. A obtenção de fibras com qualidade consistente e em formatos adequados para laminação é um dos principais obstáculos, uma vez que muitas fibras disponíveis no mercado são destinadas a aplicações artesanais ou têxteis. Além disso, a necessidade de tratamentos prévios para melhorar a adesão e a resistência à umidade pode aumentar o custo e a

complexidade do processo de fabricação, [11] porém nesse trabalho não foi feito tratamento algum nas fibras naturais desse trabalho por ter como objetivo agregar a equipes universitárias competitivas, que tem temporadas curtas em relação a tempo e recursos escassos.

No entanto, avanços recentes em técnicas de processamento e a crescente disponibilidade de fibras naturais de alta qualidade têm aberto novas oportunidades para o desenvolvimento de compósitos competitivos. A combinação de fibras naturais com resinas biodegradáveis ou de origem renovável, por exemplo, pode resultar em materiais com desempenho superior e menor impacto ambiental. [9]

3 MÉTODO EXPERIMENTAL DE LAMINAÇÃO

Este capítulo descreve os métodos e procedimentos utilizados para a laminação dos compósitos de fibra de vidro, bambu e juta, bem como as características dos materiais e os ensaios preliminares realizados para avaliar sua viabilidade. O objetivo é fornecer uma visão detalhada do processo de fabricação e das particularidades de cada material, destacando suas origens, propriedades e desafios técnicos. A Figura 2 mostra um processo de laminação da equipe RocketWolf.

Figura 2 - Laminação do Helder 1 com Fibra de Vidro.



Fonte: Autoria Própria.

3.1 LAMINAÇÃO DO FOGUETE

A equipe RocketWolf, do CEFET-RJ, utiliza tubos de PVC como moldes para a fabricação de compósitos, empregando tradicionalmente fibra de vidro. O processo inicial envolve o posicionamento do tubo de PVC em um suporte de laminação projetado pela equipe, facilitando a fabricação do compósito cilíndrico. Em seguida, o tubo é tratado para evitar a adesão da resina à superfície, garantindo sua remoção após a cura. Esse tratamento inclui a aplicação de um desmoldante líquido Marbocote PR 5050 para resinas Epóxi Poliéster e Borracha Silicone da Redelease, em conformidade com as normas de segurança. Após a secagem, o tubo é envolto

em duas a três camadas de papel celofane, assegurando uma desmoldagem eficiente.

Com o tubo preparado, inicia-se o processo de laminação. A primeira etapa consiste na pesagem da fibra que será usada, esse peso é usado para calcular o peso total da mistura resina e endurecedor, sendo este 2/3 do peso da fibra. Em seguida é feita a pesagem e mistura da Resina 2001 Epóxi com Endurecedor 3154 da Redelease nas proporções 2:1, sendo duas partes de resina para uma parte de endurecedor. O tempo útil para a aplicação é de aproximadamente trinta minutos, durante os quais a resina é cuidadosamente distribuída sobre as fibras para garantir a homogeneidade do compósito antes do início da reação exotérmica. Qualquer interferência após esse período compromete a integridade do material.

Após a aplicação da mistura na fibra, é colocado uma camada de *PeelPly*. Esse tecido de *nylon* auxilia a finalização da laminação, esse ajuda no acabamento superficial do tubo e a evitar bolhas e excesso de resina. Em seguida, a estrutura passa por uma cura inicial de 24 horas, período em que não deve ser manipulada. Após esse tempo, o tubo é removido do molde e a camada de *PeelPly* é retirada e o compósito é deixado em repouso por mais 24 a 48 horas, completando o ciclo de cura. O método adotado pela RocketWolf baseia-se em pesquisas com professores, artigos acadêmicos, outras equipes e vídeos técnicos disponíveis *online* [12, 13].

3.2 LAMINAÇÃO DE BAMBU

A fibra de bambu utilizada neste estudo foi obtida a partir de fibras naturais comerciais, comumente empregadas em aplicações artesanais e têxteis. O bambu é uma planta de origem asiática, mas amplamente cultivada no Brasil devido ao seu rápido crescimento e versatilidade. Suas fibras são valorizadas por sua alta resistência à tração e rigidez, características que as tornam promissoras para aplicações estruturais. No entanto, a fibra de bambu crua apresenta desafios, como a impermeabilidade e a baixa adesão a resinas poliméricas, o que exige tratamentos prévios para viabilizar seu uso em compósitos. Na Figura 3 mostra como foi o processo de laminação dessa fibra.

Figura 3 - Foto Durante a Laminação da Fibra de Bambu.



Fonte: Autoria Própria.

Nesta pesquisa, a laminação inicial foi realizada em chapas planas para analisar, de forma detalhada, as propriedades das fibras de vidro e bambu antes de avançar para um formato cilíndrico, que requer maior complexidade técnica. O processo de laminação em chapas é mais simples, permitindo uma análise precisa das propriedades mecânicas dos materiais.

O procedimento foi realizado em uma base de madeira, tratada previamente com duas camadas de desmoldante líquido Marbocote PR 5050 para resinas Epóxi Poliéster e Borracha Silicone da Redelease para facilitar a remoção após a cura. Pedacos de madeira e alumínio foram fixados à base, delimitando o tamanho das chapas e criando um molde retangular. Essa estrutura permitiu a aplicação de pressão durante o processo, assegurando a uniformidade da resina e evitando seu extravasamento pelas bordas.

Com a moldura pronta, a manta de fibra de vidro foi posicionada na base, e a mistura de resina epóxi e endurecedor foi aplicada em camadas, rotacionando a manta 90° a cada aplicação para garantir resistência multidirecional. No caso da fibra de bambu, que não está disponível em formato de manta, o material foi cortado em pedacos pequenos e uniformes, dispostos de forma aleatória e homogênea na base.

A determinação de quantidade de fibra, resina e endurecedor segue o mesmo processo que a laminação da equipe, assim como a janela de 30 minutos para

manipulação. Durante esse período, a mistura foi espalhada uniformemente, garantindo a completa impregnação do material. Após a laminação, a chapa foi deixada em repouso por 24 horas para cura inicial, sem ser manipulada. Em seguida, o compósito foi removido da base de madeira e submetido a um ambiente controlado para finalizar a cura, que durou mais 24 horas, assegurando propriedades estruturais ideais. Na Figura 4 tem se a comparação lado a lado da fibra de vidro e bambu, quando laminadas em chapa.

Figura 4 - Foto da Primeira Camada das Fibras no Molde, sendo a) Fibra de Bambu e b) Fibra de Vidro.



Fonte: Autoria Própria.

3.3 LAMINAÇÃO DA JUTA

A laminação da fibra de juta foi feita com o mesmo processo do foguete Helder 1, sendo assim usando tudo que foi descrito na seção 1 do capítulo 3 com exceção do cálculo para a quantidade de resina e endurecedor. Fibras naturais são mais permeáveis que fibras sintéticas, fazendo com que a quantidade de resina e endurecedor usados na laminação sejam consideravelmente maiores. Para determinar essa quantidade foi usado uma inspeção visual durante a laminação para ponderar se necessitava ou não de mais mistura, ao final foi feito com 2,5x mais resina e endurecedor do que uma laminação feita com a mesma quantidade de fibra de vidro.

4 RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Neste projeto, buscou-se avaliar se as fibras naturais seriam capazes de suportar um voo de minifoguetes com apogeu de 1 km. Para isso, as fibras deveriam resistir à explosão da pólvora, garantir a pressurização para a ejeção do paraquedas e apresentar uma superfície menos ou igualmente texturizada que a do foguete de fibra de vidro lançado pela equipe em 2023, mostrado na Figura 5.

Figura 5 - Foguete da Equipe RocketWolf de 2023.



Fonte: Autoria Própria.

4.1 TESTES DO FOGUETE

O desenvolvimento do foguete incluiu uma série de testes rigorosos destinados a validar sua funcionalidade e segurança antes da competição. Os testes realizados foram: teste estático, teste de ejeção do paraquedas, teste da foguetrônica e teste de recuperação.

No teste estático, mostrado na Figura 6, o objetivo é avaliar o empuxo gerado pelo motor. Células de carga são posicionadas na parte posterior do suporte do motor, e o mesmo é acionado com grãos (combustível sólido do foguete). Este teste foi realizado pela equipe em ambiente aberto e isolado, com todos os participantes devidamente equipados e seguindo protocolos de segurança rigorosos. Esse teste foi realizado mais de uma vez pela equipe antes da competição, porém

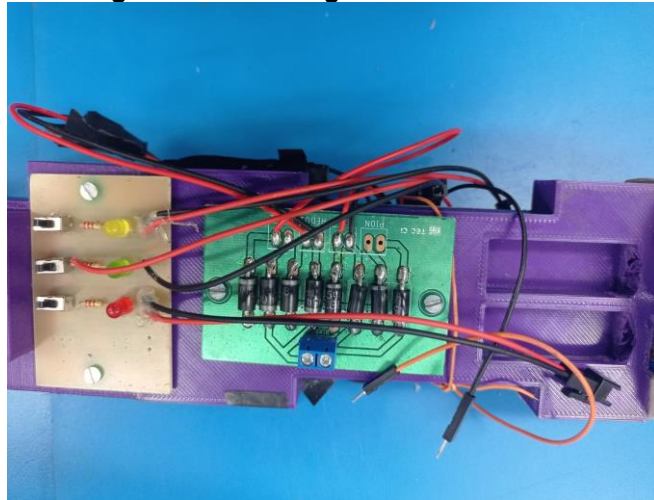
não foi adquirido resultados numéricos devido a problemas na eletrônica da base, contudo o vídeo do acionamento do motor era o suficiente para a competição.

Figura 6 - Teste Estático Helder 1



Fonte: Autoria Própria.

A verificação da foguetrônica constitui em avaliar as placas eletrônicas instaladas no foguete. Este teste é feito com o suporte de eletrônica e as placas que foram utilizadas na eletrônica embarcada no foguete, como está mostrado na Figura 7. O teste é feito para assegurar o funcionamento adequado do sistema de recuperação e a capacidade de coleta e armazenamento de dados de voo. Esse teste foi realizado inúmeras vezes durante o desenvolvimento das placas para garantir, principalmente, o acionamento da recuperação, através da ignição do fosforo eletrônico (*skib*) a partir de um sinal do altímetro (sensor de pressão).

Figura 7 - Teste Foguetrônica Helder 1.

Fonte: Autoria Própria.

O teste de ejeção do paraquedas, mostrado na Figura 8, tem como objetivo determinar a quantidade ideal de pólvora necessária para ejetar o paraquedas e testar a resistência da estrutura no processo de explosão da pólvora e pressurização do modulo e verificar se o paraquedas estava protegido contra danos potenciais causados pela pólvora, como queimaduras. O teste realizado pela equipe inúmeras vezes trouxe sempre resultados promissores em questão de estrutura, a pólvora calculada teoricamente teve que ser ajustada por falta de pureza do explosivo e a equipe testou algumas opções de proteção do paraquedas até achar uma adequada feita com um papel toalha mergulhado numa mistura a base de água com bicarbonato de sódio. [14]

Figura 8 - Teste de Ejeção Helder 1.

Fonte: Autoria Própria.

No teste de recuperação é analisado a velocidade de descida do paraquedas em uma simulação que utiliza o peso do foguete sem combustível para verificar questões de arrasto de vento e precisão do *software* de simulação de voo. Esse ensaio é essencial para garantir uma aterrissagem segura, de acordo com os parâmetros estabelecidos pela competição. Esse teste foi realizado na UERJ (Universidade Estadual do Rio de Janeiro), por conta da altura do prédio, com pesos de mochilas para atingir o peso do foguete e provou que o paraquedas estava adequado para o projeto.

Esse conjunto de testes demonstrou para a equipe, professores e organizadores da competição que o foguete estava em condições de completar a missão sugerida, fazendo com que a equipe RocketWolf pudesse ir participar da LASC 2023 em Tatuí representando o CEFET/RJ (Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca).

4.2 AVALIAÇÃO DAS FIBRAS NATURAIS (BAMBU E JUTA)

Durante a pesquisa, foi observado que a laminação da fibra de bambu crua apresentou problemas significativos, principalmente pela falta de aderência da resina à fibra. Enquanto a fibra de vidro absorve eficientemente o líquido formado pela resina e endurecedor, o bambu demonstrou uma característica impermeável, que fez com que a resina acumulasse no fundo da placa sem penetrar adequadamente no tecido. Esse fator comprometeu as propriedades mecânicas do compósito e inviabilizou a laminação para aplicação no foguete.

A literatura, no entanto, sugere que o tratamento alcalino da fibra de bambu poderia melhorar suas propriedades mecânicas. Esse tratamento removeria ligninas e outras substâncias da superfície da fibra que promovem a impermeabilidade, facilitando a adesão da resina e possibilitando melhores propriedades estruturais ao compósito [15]. As laminações da fibra de bambu e vidro tiveram o resultado mostrado nas Figuras 9 e 10.

Figura 9 - Chapa de Fibra de Bambu Laminada.



Fonte: Autoria Própria.

Figura 10 - Chapa de Fibra de Vidro Laminada.



Fonte: Autoria Própria.

Já a fibra de juta mostrou-se mais promissora devido à facilidade de ser encontrada em formato de tela, o que facilitou a laminação de cilindros. Para os testes realizados, a fibra de juta foi laminada com o mesmo processo utilizado no foguete Helder 1, com exceção da quantidade de resina e endurecedor usado, devido a permeabilidade de fibra natural comparada com a sintética, fazendo com que a fibra natural necessite de mais dessa mistura para a laminação ser bem sucedida. O resultado da laminação de juta é mostrado na Figura 11 e pode ser observado um formato cilíndrico e sem bolhas ou deformações, além de ter uma boa resistência a tração e flexão, assim como os tubos de fibra sintética.

Figura 11 - Tubo de Fibra de Juta Laminada.



Fonte: Aatoria Própria.

Após a laminação, a fibra foi lixada, limpada com acetona e envelopada, resultando em um acabamento superficial superior, como mostra a Figura 12. A escolha do envelope foi feita devido a falta de opções disponíveis para a equipe, sendo assim uma de baixo custo e fácil acesso seria o envelope usado em móveis de cozinha.

Figura 12 - Envelopamento do Tubo de Fibra de Juta.



Fonte: Aatoria Própria.

4.3 ENSAIO

4.3.1 Ensaio de Estanqueidade

O ensaio de estanqueidade, inicialmente planejado como um teste hidrostático, foi substituído pelo teste de ejeção devido à indisponibilidade de equipamentos necessários e à permeabilidade das fibras naturais. O teste foi conduzido com tubos de fibra de vidro e fibra de juta, utilizando os mesmos parâmetros: 4 g de pólvora, 17 cm de comprimento do tubo e distância equivalente entre o paraquedas e o suporte de recuperação, mostrado na Figura 13.

Figura 13 - Suporte de Recuperação do Helder 1.



Fonte: Aatoria Própria.

Ambos os tubos obtiveram sucesso na ejeção do paraquedas, demonstrando a viabilidade do sistema. A Figura 14 foi tirada no início do teste na fibra de juta.

Figura 14 - Teste de Ejeção Tubo de Fibra de Juta.



Fonte: Autoria Própria.

4.3.2 Ensaio de Rugosidade

O rugosímetro é um instrumento utilizado para avaliar o perfil da superfície e medir parâmetros relacionados à rugosidade, como Ra, Rz, Ry e Rt. Esses parâmetros são essenciais para caracterizar as irregularidades presentes em uma superfície. O parâmetro Ra representa a rugosidade média da superfície, sendo a média aritmética dos desvios em relação à linha média e é amplamente utilizado para análise de acabamento superficial. O parâmetro Rz refere-se à altura média máxima do perfil, calculada como a média aritmética de cinco valores de rugosidade parcial. Já Ry indica a rugosidade máxima, ou seja, o maior desvio parcial em um percurso de medição, enquanto Rt corresponde à rugosidade total, medindo a distância entre o pico mais alto e o vale mais profundo no percurso analisado. [16]

Para realizar as medições, o rugosímetro percorre a superfície com um apalpador que carrega uma agulha sensível, permitindo registrar com precisão as variações de altura em intervalos específicos. No ensaio realizado, foi analisado o gráfico gerado durante a medição antes dos ruídos serem dispensados para determinar o Ra, Ry, Rz e Rt, fazendo assim um cálculo baseado na variação do maior pico e do menor vale para atribuir esse valor como rugosidade da superfície. Foi utilizado o rugosímetro Mitutoyo S210 para medir a rugosidade de três tipos de tubos: um tubo de fibra de vidro pintado com tinta automobilística (foguetes Helder 1), um tubo de fibra de vidro envelopado com proteção automobilística (foguetes Helder 2 em processo de fabricação) e um tubo de fibra de juta envelopado com material para móveis de cozinha.

Este ensaio foi particularmente importante para avaliar o impacto da rugosidade no arrasto superficial, que influencia diretamente o desempenho do voo dos foguetes por conta da redução do arrasto aerodinâmico em aplicações de foguetemodelismo. [3] Cada tubo foi submetido a cinco medições, cujos resultados estão indicados na Tabela 1, mostram que o tubo de juta apresentou a menor rugosidade média dos três tubos, apresentada na Tabela 2, com um valor de 30 μm . Além disso, os dados obtidos tinham como objetivo serem utilizados para melhorar a precisão das simulações realizadas no software OpenRocket, contribuindo para a análise de desempenho aerodinâmico dos foguetes.

Tabela 1: Tabela dos Resultados de Rugosidade.

Vidro + Envelope	Vidro + Pintura	Juta + Envelope
45 μm	30 μm	30 μm
25 μm	100 μm	20 μm
65 μm	40 μm	20 μm
75 μm	60 μm	50 μm
50 μm	80 μm	65 μm

Tabela 2: Tabela da Média dos Resultados de Rugosidade.

Média		
Vidro + Envelope	Vidro + Pintura	Juta + Envelope
52 μm	62 μm	37 μm

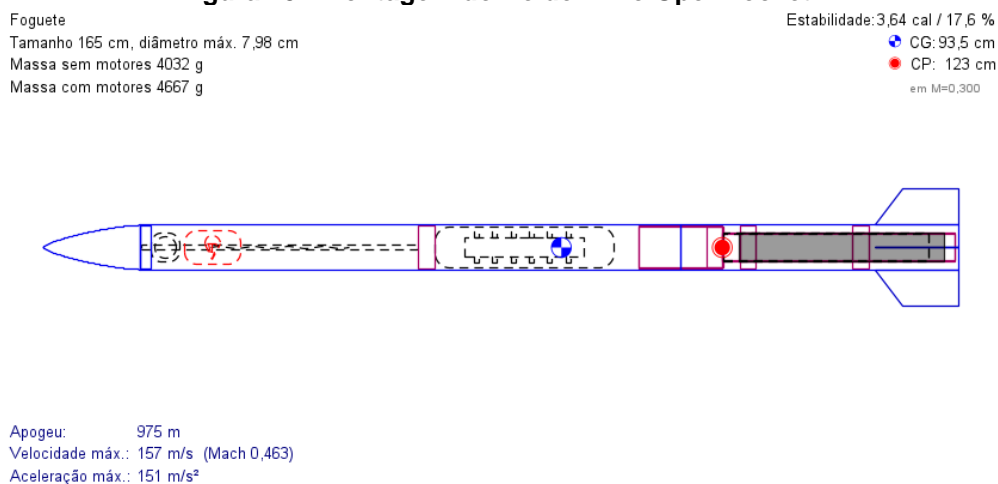
4.4 COMPARATIVO NO *OPENROCKET*

4.4.1 Introdução ao *OpenRocket*

O *OpenRocket* é um *software open source*, sendo assim, é um programa que permite que qualquer pessoa acesse, modifique e distribua o seu código fonte. Nele a equipe faz simulação para modelagem e análise de voos de foguetes. O foguete é desenvolvido com as propriedades dos materiais e dimensionamento de todas os componentes do foguete e com esses dados ele simula um voo do foguete a partir da angulação da base, tipo de motor, tipo de combustível e condições climáticas. Nessa simulação é analisado a sua trajetória e identificar potenciais

falhas ou obstáculos para um voo bem-sucedido. No presente estudo, o software foi utilizado para simular a trajetória de dois modelos: o foguete Helder 1, lançado em 2023, que está mostrado na Figura 15, e um modelo hipotético construído com fibra de juta.

Figura 15 - Montagem do Helder 1 no OpenRocket.



Fonte: Autoria Própria.

4.4.2 Resultados Apresentados pelo OpenRocket

Para essa comparação foram mudados somente dados da estrutura externa entre o foguete Helder 1 e o foguete de fibra de juta, sendo assim mantendo os dados de motor, eletrônica, recuperação, coifa, aletas e componentes da estrutura interna do foguete que são feitos de materiais plásticos como impressão 3D em PLA e nylon.

Nas alterações feitas para o foguete de juta incluía mudança da densidade do material para determinar o peso. Esse dado permitiu ao software calcular o peso do foguete, influenciando aspectos críticos do voo, como a posição do centro de massa e a quantidade de propelente necessária para atingir o apogeu desejado, porém o OpenRocket não possui a fibra de juta em sua base de materiais, foi utilizada a densidade calculada após a laminação ($1,037 \text{ g/cm}^3$), um valor próximo ao do poliestireno. Essa abordagem permitiu avaliar as diferenças de desempenho entre os materiais, demonstrando a viabilidade da fibra de juta em substituição à fibra de vidro. As configurações de material e acabamentos estão demonstradas na Figura 16 e 17.

Figura 16 - Configurações do OpenRocket para Helder 1.

Material

Material componente:
Fibra de vidro (1,85 g/cm³)

Acabamento de componentes:
Pintura regular (60 µm)

Fonte: Autoria Própria.

Figura 17 - Configurações do OpenRocket para Fibra de Juta.

Material

Material componente:
Poliestireno (1,05 g/cm³)

Acabamento de componentes:
Pintura regular (60 µm)

Fonte: Autoria Própria.

Além da densidade do material foi aparente uma melhora significativa na rugosidade da estrutura externa, porém por limites do software não foi possível, mostrado na Figura 18, mudar o parâmetro da estrutura para melhorar o acabamento superficial e melhorar a estabilidade do voo.

Figura 18 - Configurações do OpenRocket para Rugosidade.

Acabamento de componentes:

Pintura regular (60 µm)

Rough unfinished (250 µm)

Inacabado (150 µm)

Pintura regular (60 µm)

Pintura lisa (20 µm)

Optimum paint (5 µm)

Polido (2 µm)

Finished/polished surface (0,5 µm)

Mirror surface (0 µm)

Fonte: Autoria Própria.

As simulações mostraram diferenças mínimas nos resultados de voo entre os dois modelos, como pode ser observado na Figura 19, 20 e 21. Isso indica que, com ajustes na fabricação e no tratamento das fibras naturais, é possível

desenvolver foguetes de desempenho competitivo utilizando materiais mais sustentáveis.

A Figura 19 mostra uma consistência em dados importantes como apogeu, um dos principais critérios da competição, tempo de voo e velocidade ao atingir o solo. Esses dados estáveis acrescentam credibilidade no uso da fibra natural num projeto de foguetemodélismo universitário.

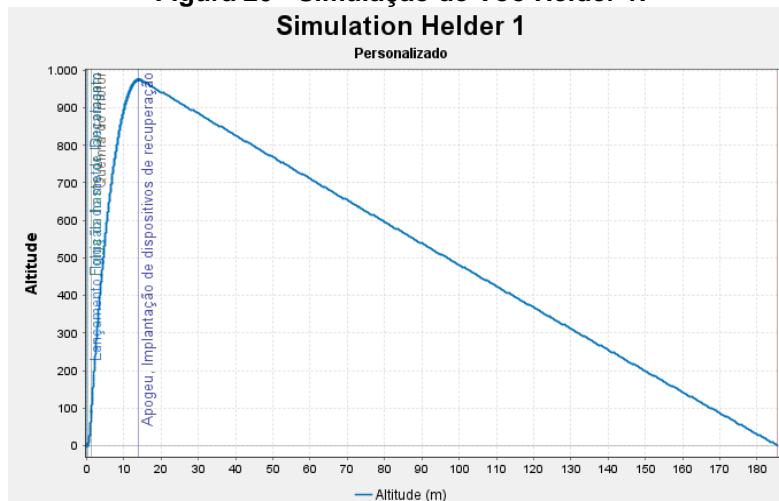
Figura 19 - Comparação das Simulações.

Nome	Configuration	Velocidade fora da haste	Apogeu	Velocidade no lançamento	Optimum delay	Velocidade máxima	Aceleração máxima	Tempo para o apogeu	Tempo de voo	Velocidade ao atingir o solo
✓ Simulação Juta	[Held-3587-P]	13,3 m/s	975 m	2,51 m/s	12,8 s	157 m/s	151 m/s ²	14 s	186 s	5,56 m/s
✓ Simulaton Helder 1	[Held-3587-P]	13,3 m/s	975 m	2,27 m/s	12,8 s	157 m/s	151 m/s ²	14 s	186 s	5,56 m/s

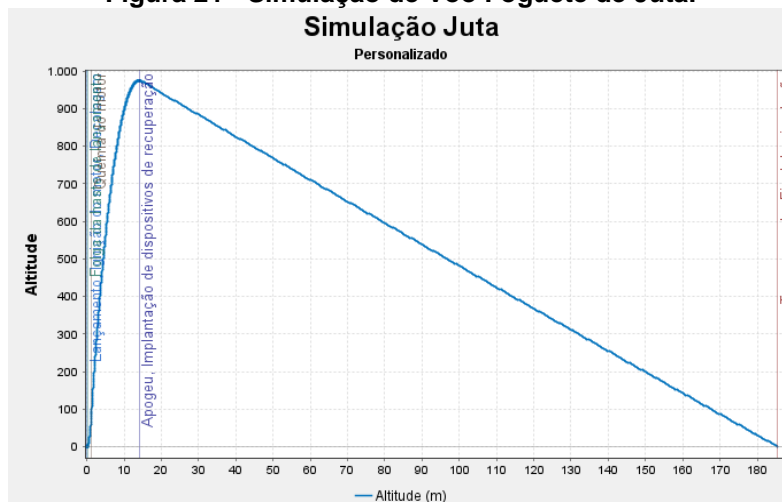
Fonte: Autoria Própria.

Os gráficos mostrados na Figura 20 e 21 mostram a similaridade nos voos do foguete Helder 1 e do foguete da fibra de juta, assim de uma forma mais visual demonstrando os dados expostos na Figura 19.

Figura 20 - Simulação de Voo Helder 1.
Simulation Helder 1



Fonte: Autoria Própria.

Figura 21 - Simulação de Voo Foguete de Juta.

Fonte: Autoria Própria.

5 CONCLUSÃO

O uso de fibras naturais no foguetemodelismo universitário apresenta-se como uma alternativa promissora, especialmente devido ao seu potencial para reduzir custos e minimizar impactos ambientais. Esta pesquisa, no entanto, revelou que a fibra de bambu crua, em seu estado natural, não é adequada para aplicação em compósitos estruturais. Sua característica impermeável, aliada à ausência de tratamento prévio e à indisponibilidade de uma tecelagem adequada, inviabiliza seu uso direto. Essa limitação é particularmente desafiadora para equipes universitárias, que frequentemente operam sob restrições de tempo e recursos, dificultando a realização de tratamentos ou adaptações necessárias para viabilizar o material.

Por outro lado, a fibra de juta mostrou-se uma alternativa eficaz, apresentando resultados positivos em simulações e testes práticos. Além de ser cerca de 28% mais econômica do que a fibra de vidro, a juta demonstrou maior acessibilidade, facilidade no processo de laminação e propriedades que, em algumas aplicações, podem superar as da fibra de vidro. Essa combinação de vantagens torna a fibra de juta uma opção viável para a construção de estruturas de foguetes, promovendo uma solução técnica e sustentável.

Conclui-se, portanto, que a utilização de compósitos naturais na fabricação de foguetes é uma alternativa viável e promissora para equipes universitárias. Além de oferecer benefícios ambientais, esta abordagem permite a redução de custos sem comprometer a eficiência ou a competitividade do processo de desenvolvimento, representando um passo significativo na busca por soluções mais sustentáveis no foguetemodelismo.

6 TRABALHOS FUTUROS

Com base nos resultados desta pesquisa, diversas oportunidades de aprofundamento e expansão podem ser exploradas para avançar o uso de compósitos naturais no foguetemodelismo universitário. As seguintes sugestões de trabalhos futuros são apresentadas:

- Tratamento de Fibras Naturais: Investigar métodos de tratamento químico ou físico para melhorar a aderência da resina em fibras como bambu e juta. Estudos sobre tratamentos alcalinos, compatibilizadores e nanotecnologia podem fornecer dados valiosos para otimizar o desempenho mecânico desses materiais.
- Comparação com Outras Fibras Naturais: Testar o desempenho de outras fibras naturais, como sisal, linho ou coco, para determinar quais são mais adequadas para diferentes partes do foguete.
- Desenvolvimento de Resinas Compatíveis: Investigar a criação ou modificação de resinas que sejam mais compatíveis com fibras naturais, promovendo uma laminação eficaz e resistente.
- Simulação de Diferentes Rugosidades Superficiais da Estrutura do Foguete no Ansys: devido às limitações do OpenRocket, não é possível analisar como diferentes níveis de rugosidade superficial da estrutura do foguete influenciam seu desempenho em voo. No entanto, essa simulação pode ser realizada no software Ansys, que permite uma análise mais detalhada do impacto da rugosidade no arrasto aerodinâmico e na estabilidade do foguete.

REFERÊNCIAS

- [1] OSHI, S. V.; DRZAL, L. T.; MOHANTY, A. K.; ARORA, S. **Are natural fiber composites environmentally superior to glass fiber reinforced composites?** *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, USA, v. 35, p. 371-376, 2004.
- [2] SHAKER, K.; NAWAB, Y.; JABBAR, M. **Bio-composites: Eco-friendly Substitute of Glass Fiber Composites.** In: *Handbook of Nanomaterials and Nanocomposites for Energy and Environmental Applications*, 2020. p. 1-25.
- [3] BAILLIE, C. **Green composites: polymer composites and the environment.** [S.l.]: CRC Press, 2005.
- [4] JOHN, M. J.; THOMAS, S. **Biofibres and biocomposites.** *Carbohydrate Polymers*, v. 71, n. 3, p. 343-364, 2008.
- [5] OSORIO, L. et al. **Bamboo fiber reinforced composites: A review.** *Materials Today: Proceedings*, v. 5, n. 2, p. 2747-2755, 2018.
- [6] ALVES, C. et al. **Jute fiber composites: A review.** *Journal of Natural Fibers*, v. 17, n. 10, p. 1419-1432, 2020.
- [7] KALIA, S. et al. **Surface modification of plant fibers using environment friendly methods for their application in polymer composites, textile industry and antimicrobial activities.** *Journal of Environmental Chemical Engineering*, v. 1, n. 3, p. 97-112, 2009.
- [8] FARUK, O. et al. **Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000–2010.** *Progress in Polymer Science*, v. 39, n. 9, p. 1552-1596, 2014.
- [9] RAJAK, D. K. et al. **Fiber-reinforced polymer composites: Manufacturing, properties, and applications.** *Polymers*, v. 13, n. 19, p. 3271, 2021.
- [10] SILVA, L. J. et al. **Natural fiber composites in aerospace applications: A review.** *Composites Part B: Engineering*, v. 225, p. 109315, 2022.
- [11] MOHANTY, A. K. et al. **Composites from renewable and sustainable resources: Challenges and innovations.** *Science*, v. 362, n. 6414, p. 536-542, 2018.
- [12] BPS.space. **High-Strength Composite Rocket Fins - Building Lumineer.** YouTube, 1 jun. 2021. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=ttqEsg7qf_w. Acesso em: 10 jul. 2024.
- [13] SAURAS, Alan. **Core Sound 15 Fiberglass Tube.** YouTube, 8 ago. 2014. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=JO_-sbbBRBM Acesso em: 10 jul. 2024.
- [14] **How To Make Fire-Resistant Rocket Wadding (For Pennies) | Parachute Wadding & Wadding Alternatives.**, 2016. Disponível em: <https://youtu.be/yA5N8tReqO4?si=Td_B-CPGolhXliqq>. Acesso em: 5 fev. 2025.
- [15] COSTA JUNIOR, A. E.; NASCIMENTO, D. M.; OLIVEIRA JUNIOR, S. C.; DEUS, E. P.; MAZZETTO, S. E. **Estudo das propriedades mecânicas e térmicas das fibras de bambu antes e após tratamento químico.** In: 67º Congresso ABM - Internacional, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2012.

- [16] INSTRUSUL. **Rugosímetro: Como funciona. 2017. Disponível em: <https://blog.instrusul.com.br/rugosimetro-como-funciona/>. Acesso em: 21 jan. 2025**
- [17] NPTELHRD. **Mod-01 Lec-01 Introduction.** YouTube, 25 jun. 2012. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=vQilt-jX0BM&list=PL99EA5ECCC34949DB&index=2>. Acesso em: 15 mar. 2024.
- [18] STINE, G. H.; STINE, B. **Handbook of model rocketry.** Hoboken, NJ: Wiley, 2004.
- [19] ANDERSON, J. D. **Fundamentals of Aerodynamics. 6. ed.** New York, NY: McGraw Hill Education, 2017.
- [20] BENSON, T. **Beginner's Guide to Rockets.** Disponível em: <https://www.grc.nasa.gov/WWW/K-12/rocket/>. Acesso em: 15 mar. 2024.
- [21] OPENROCKET. Versão 15.03. **Desenvolvido por Sampo Niskanen e contribuidores.** Disponível em: <http://openrocket.info/>. Acesso em: 10 out. 2023.

ANEXO A - Direitos autorais - Lei nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998. Disposições preliminares

Presidência da República

Casa Civil

Subchefia para Assuntos Jurídicos

LEI Nº 9.610, DE 19 DE FEVEREIRO DE 1998.

Mensagem de veto Altera, atualiza e consolida a legislação sobre direitos autorais e dá outras providências.

O PRESIDENTE DA REPÚBLICA Faço saber que o Congresso Nacional decreta e eu sanciono a seguinte Lei:

Título I

Disposições Preliminares

Art. 1º Esta Lei regula os direitos autorais, entendendo-se sob esta denominação os direitos de autor e os que lhes são conexos.

Art. 2º Os estrangeiros domiciliados no exterior gozarão da proteção assegurada nos acordos, convenções e tratados em vigor no Brasil.

Parágrafo único. Aplica-se o disposto nesta Lei aos nacionais ou pessoas domiciliadas em país que assegure aos brasileiros ou pessoas domiciliadas no Brasil a reciprocidade na proteção aos direitos autorais ou equivalentes.

Art. 3º Os direitos autorais reputam-se, para os efeitos legais, bens móveis.

Art. 4º Interpretam-se restritivamente os negócios jurídicos sobre os direitos autorais.

Art. 5º Para os efeitos desta Lei, considera-se:

I - publicação - o oferecimento de obra literária, artística ou científica ao conhecimento do público, com o consentimento do autor, ou de qualquer outro titular de direito de autor, por qualquer forma ou processo;

II - transmissão ou emissão - a difusão de sons ou de sons e imagens, por meio de ondas radioelétricas; sinais de satélite; fio, cabo ou outro condutor; meios óticos ou qualquer outro processo eletromagnético;

III - retransmissão - a emissão simultânea da transmissão de uma empresa por outra;

IV - distribuição - a colocação à disposição do público do original ou cópia de obras literárias, artísticas ou científicas, interpretações ou execuções fixadas e fonogramas, mediante a venda, locação ou qualquer outra forma de transferência de propriedade ou posse;

V - comunicação ao público - ato mediante o qual a obra é colocada ao alcance do público, por qualquer meio ou procedimento e que não consista na distribuição de exemplares;

VI - reprodução - a cópia de um ou vários exemplares de uma obra literária, artística ou científica ou de um fonograma, de qualquer forma tangível, incluindo qualquer armazenamento permanente ou temporário por meios eletrônicos ou qualquer outro meio de fixação que venha a ser desenvolvido;

VII - contrafação - a reprodução não autorizada;

VIII - obra:

a) em co-autoria - quando é criada em comum, por dois ou mais autores;

b) anônima - quando não se indica o nome do autor, por sua vontade ou por ser desconhecido;

c) pseudônima - quando o autor se oculta sob nome suposto;

d) inédita - a que não haja sido objeto de publicação;

e) póstuma - a que se publique após a morte do autor;

f) originária - a criação primígena;

g) derivada - a que, constituindo criação intelectual nova, resulta da transformação de obra originária;

h) coletiva - a criada por iniciativa, organização e responsabilidade de uma pessoa física ou jurídica, que a publica sob seu nome ou marca e que é constituída pela participação de diferentes autores, cujas contribuições se fundem numa criação autônoma;

i) audiovisual - a que resulta da fixação de imagens com ou sem som, que tenha a finalidade de criar, por meio de sua reprodução, a impressão de movimento, independentemente dos processos de sua captação, do suporte usado inicial ou posteriormente para fixá-lo, bem como dos meios utilizados para sua veiculação;

IX - fonograma - toda fixação de sons de uma execução ou interpretação ou de outros sons, ou de uma representação de sons que não seja uma fixação incluída em uma obra audiovisual;

X - editor - a pessoa física ou jurídica à qual se atribui o direito exclusivo de reprodução da obra e o dever de divulgá-la, nos limites previstos no contrato de edição;

XI - produtor - a pessoa física ou jurídica que toma a iniciativa e tem a responsabilidade econômica da primeira fixação do fonograma ou da obra audiovisual, qualquer que seja a natureza do suporte utilizado;

XII - radiodifusão - a transmissão sem fio, inclusive por satélites, de sons ou imagens e sons ou das representações desses, para recepção ao público e a transmissão de sinais codificados, quando os meios de decodificação sejam oferecidos ao público pelo organismo de radiodifusão ou com seu consentimento;

XIII - artistas intérpretes ou executantes - todos os atores, cantores, músicos, bailarinos ou outras pessoas que representem um papel, cantem, recitem, declamem, interpretem ou executem em qualquer forma obras literárias ou artísticas ou expressões do folclore.

Art. 6º Não serão de domínio da União, dos Estados, do Distrito Federal ou dos Municípios as obras por eles simplesmente subvencionadas.