

ANÁLISE DE TRAJETÓRIA DE FOGUETE DE PROPULSÃO SÓLIDA DA TAU ROCKET TEAM

Davi Lima Mendes dos Santos

Nelson Ciancaglio Netto

João Felipe de Araújo Martos

Universidade Federal de Santa Maria. Avenida Roraima, nº 1000, Camobi. Santa Maria (RS)

E-mails: davi.mendes@acad.ufsm.br, nelson.ciancaglio@acad.ufsm.br, joao.martos@acad.ufsm.br.

Resumo. A simulação de trajetória de foguetes é algo de extrema relevância pois é um processo de controle de segurança da área de lançamento, com isso, objetiva-se realizar a simulação da trajetória de um foguete da equipe Tau Rocket Team. Por meio do estudo de bibliografias relacionadas à elaboração de superfícies aerodinâmicas e ao dimensionamento de paraquedas o trabalho foi direcionado visando alcançar os objetivos da missão. Por fim, superfícies aerodinâmicas de estabilidade de voo e o paraquedas foram projetados e seus dados de desempenho alimentaram o algoritmo de trajetória do foguete, obtendo soluções gráficas do seu percurso.

Palavras chave: Foguete. Trajetória. Simulação. Aerodinâmica. Paraquedas.

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de foguetes universitários tem sido amplamente fomentado por instituições e órgãos governamentais na última década, levando equipes de diversas universidades públicas e privadas do Brasil a se interessarem pelos processos de engenharia e segurança intrínsecos à elaboração de foguetes.

Nesse âmbito, a Tau Rocket Team desenvolveu o projeto conceitual do Foguete de Treinamento da Tau (FTT) de propulsão sólida com apogeu mínimo de 200m. Dentre vários requisitos para o desenvolvimento do FTT, dois se destacam: elaborar superfícies de redução de arrasto e que promovam estabilidade de forma a garantir uma trajetória de voo previsível e também desenvolver um paraquedas no qual seja possível calcular seu tempo de abertura e promover um voo de descida estável.

Com isso, se constrói o objetivo da análise de trajetória do lançamento do foguete, abordando a ascensão e a descida controlada até a recuperação.

2. METODOLOGIA

Por meio do estudo de bibliografias relacionadas à elaboração de superfícies aerodinâmicas e ao dimensionamento de paraquedas, o trabalho foi

direcionado visando alcançar os objetivos da missão. A comunicação entre os diferentes setores de projeto do FTT foi imprescindível.

Conforme a pesquisa avançava, era necessário a troca de informação para adequar as abordagens de engenharia propostas por diferentes grupos. Com isso, os setores de aerodinâmica e recuperação trabalharam em conjunto a fim de alcançar parte dos objetivos do FTT e a troca de dados foi a base para a coerência de projeto.

Diversos dados do funcionamento do paraquedas foram considerados para os cálculos de estabilidade do foguete, como sua massa e centro de gravidade antes de ser ejetado. De forma análoga, o setor de recuperação recebeu dados gerais do foguete para poder elaborar o *design* do paraquedas, como a massa total do foguete e altitude de ejeção.

2.1. Estudo das superfícies aerodinâmicas

O setor de aerodinâmica e trajetória possui como responsabilidade primordial o projeto das superfícies responsáveis pela redução do arrasto e otimização da estabilidade do veículo. Na concepção do FTT, a coifa e as aletas foram utilizados para essa finalidade.

Com base no estudo teórico realizado no início do projeto, a fim de eleger possíveis perfis para componentes

aerodinâmicos de modo a otimizar a performance do veículo lançador, foi decidido que a coifa teria formato elíptico conforme Crowell (1996), e as aletas teriam forma planar retangular, como recomenda Milligan (2017) com perfil transversal de aerofólio de acordo com Hennin (2012).

A estabilidade foi avaliada tendo como referência a margem estática (*static margin – sm*) que, de acordo com Newlands (2016), deve permanecer acima de 1,5 calibres para garantir um voo estável e abaixo de 2,0 calibres para evitar que o foguete se torne super estático.

Assim, foram realizadas várias simulações no software *OpenRocket* para encontrar o dimensionamento ideal das aletas e coifa. Também, por meio do software *xflr5*, foi analisado o desempenho aerodinâmico de diversos tipos de aerofólios e, por fim, escolhido o perfil simétrico NACA 0012 (*National Advisory Committee for Aeronautics*).

2.2. Análise de trajetória

Na posse do dimensionamento final das superfícies de redução de arrasto e tendo controlado a estabilidade do FTT para os regimes de vento esperados no dia do lançamento, pôde-se dar seguimento para as análises de trajetória.

Por meio do Simulador de Trajetória Tau Rocket Team, desenvolvido por Benoit (2022), foi realizada a análise de trajetória de ascensão em 6 graus de liberdade e da trajetória de descida e recuperação do veículo em 3 graus de liberdade (*Degrees of Freedom – DOF*).

2.3 Recuperação

Há diversas configurações de paraquedas na indústria aeroespacial destinados a várias aplicações. O paraquedas do tipo cônico e esférico são bastante empregados por equipes de foguetemodélismo por fornecer alto valor de C_d (coeficiente de arrasto, do inglês *Drag Coefficient*). Já o semielítico possui C_d similar ao semiesférico (que é outro modelo comum), mas tem a vantagem de requerer menos área de tecido fazendo com que a massa seja reduzida. O volume de tecido do dispositivo, depois de dobrado, também diminui como consequência da redução do uso de tecido e esses fatores fizeram com que o paraquedas semielítico fosse escolhido.

Um passo importante é o a determinação do valor de C_d inicial para a concepção desse sistema e foi constatado que o valor de 1,5 é bastante empregado como parâmetro de partida, mas por falta de experiência de construção, decidiu-se trabalhar com o valor de C_d igual a 0,75, conforme aponta Gilbey (2009) e Knacke (1992).

A ejeção do paraquedas é realizada por um sistema explosivo que o impulsiona para fora do FTT no apogeu da

trajetória e quando ele infla a velocidade de descida alcança um valor terminal.

2.4 Equações de queda

Com o avanço do trabalho foi encontrado que o diâmetro projetado (d_o) para o paraquedas seria de 1,30 m e isso é fundamental para encontrar outros dados importantes.

$$V_{queda} = \sqrt{\frac{2mg}{C_{Do}S_o\rho}} = \sqrt{\frac{8mg}{\pi C_{Do}d_o^2\rho}}$$

Na equação acima, C_{Do} é o coeficiente de arrasto, m é a massa suportada pelo paraquedas, g é o valor da gravidade local, S_o é a área projetada do paraquedas e ρ é a massa específica do ar (GILBEY, 2009). Sabendo que a massa máxima é de 4,1 kg, a gravidade local vale 9,7927 m/s² e a massa específica do ar é 1,1959 kg/m³, obtém-se um módulo de velocidade de aproximadamente 8 m/s.

Além disso, é possível obter o tempo de abertura após a ejeção (KNACKE, 1992).

$$t_f = \frac{nd_o}{V_D}$$

Aplica-se a velocidade de queda a V_D e sabendo que n é um parâmetro de enchimento do paraquedas que vale 12, encontra-se o tempo de abertura t_f de 1,95 segundo.



Figura 1. Visão isométrica do paraquedas inflado

A figura acima ilustra a configuração final do paraquedas projetado. Como seu diâmetro é de 1,30 metro, é recomendado que ele tenha 12 gomos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As simulações foram realizadas considerando um dia de brisas leves e, com isso, foi possível obter uma margem estática interessante para o foguete assim que ele sai do trilho de lançamento ($sm > 1,35$) e ideal para o restante do voo.

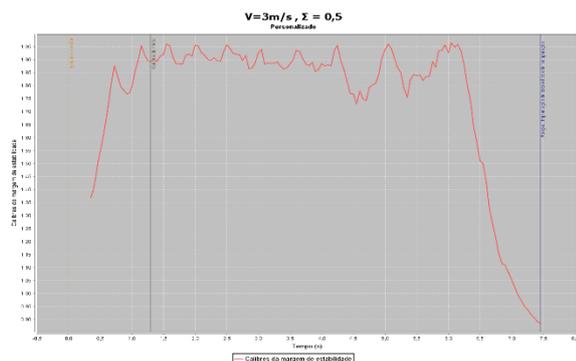


Figura 2. Simulação de margem estática *OpenRocket*

Das simulações de trajetória tanto no *OpenRocket*, quando no simulador da equipe, foram obtidos resultados bem similares. Em vermelho é representada a trajetória de ascensão do foguete; em azul, a trajetória de descida.

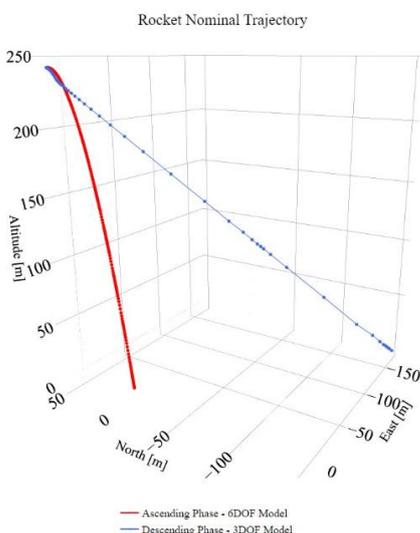


Figura 3. Simulação de trajetória TAU

Por fim, o estágio de manufatura do FTT está em andamento e alguns de seus componentes já estão prontos. As superfícies de redução de arrasto e controle da estabilidade foram manufaturadas por meio de impressão 3D em filamento de Ácido Poliláctico (Polylactic Acid - PLA) e estão ilustradas na imagem a seguir.



Figura 4. Coifa e as quatro aletas do FTT

4. CONCLUSÕES

Por conseguinte, foi encontrado o dimensionamento ótimo das aletas e da coifa para o regime de voo em que o FTT opera. Além disso, o paraquedas foi projetado e configurou uma velocidade de descida de 8 m/s.

Os dados de desempenho do foguete foram utilizados para alimentar o algoritmo de simulação de trajetória e, assim, foi possível elaborar a esquematização gráfica do voo do foguete, alcançando o objetivo do trabalho.

5. REFERÊNCIAS

- BENOIT, Andres. Simulador de Trajetória Tau Rocket Team. 2022. Disponível em: <https://github.com/Andres2704/RocketTrajectorySimulation>.
- CROWELL, Gary A. The Descriptive Geometry of Nose Cones. 1996.
- GILBEY, R. W. Aerodynamics of parachutes. The Royal Aeronautical Society, 2009.
- HENNIN, Bart. Why Should You Airfoil Your Rocket's Fins?. Peak of Flight, issue 305. Colorado, 2012. Disponível em: <https://www.apogeerockets.com/education/downloads/Newsletter305.pdf>.
- KNACKE, Theo. Parachute recovery systems design manual. Para Publishing, 1992.
- MILLIGAN, Tim Van. What is the best fin shape for a model rocket?. Peak of Flight, issue 442. Colorado, 2017. Disponível em: https://www.apogeerockets.com/Technical_Publication_16.
- NEWLANDS, Rick. Rocketry aerodynamics. Aspire Space, 2016. Disponível em: <http://www.aspirespace.org.uk/downloads/Rocketry%20aerodynamics.pdf>.