

15º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP - 2024

DESENVOLVIMENTO E ESTUDO DO SISTEMA DE RECUPERAÇÃO DE FOGUETE DE PROPELENTE SÓLIDO PARA 1 KM DE APOGEU

GABRIEL C. SOUZA¹, LIRIEL V. G. FERREIRA², CAUÊ SPANGER³, PEDRO BONDEZAN⁴, JOSÉ H. ARDENGHI NETO⁵, UMBERTO C. SILVA FILHO⁶, AILSON V. CUNHA⁷

¹ Técnico em Automação, IFSP, *Campus* Sertãozinho, souza.cardoso@aluno.ifsp.edu.br.

² Técnico em Automação, IFSP, *Campus* Sertãozinho, liriel.f@aluno.ifsp.edu.br.

³ Técnico em Automação, IFSP, *Campus* Sertãozinho, caue.s@aluno.ifsp.edu.br.

⁴ Técnico em Automação, IFSP, *Campus* Sertãozinho, p.bondezan@aluno.ifsp.edu.br.

⁵ Técnico em Química, IFSP, *Campus* Sertãozinho, a.neto@aluno.ifsp.edu.br.

⁶ Técnico em Química, IFSP, *Campus* Sertãozinho, umberto.coelho@aluno.ifsp.edu.br.

⁷ Professor de Física, IFSP, *Campus* Sertãozinho, avcunha@ifsp.edu.br.

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 3.12.06.02-6 Sistemas Aeroespaciais Foguetes

RESUMO: O presente trabalho tem como objetivo elaborar um sistema eficiente e acessível de ejeção e recuperação aplicado em foguetes experimentais sob a modalidade de um quilômetro de apogeu com propelente sólido na Latin American Space Challenge. O sistema deve ser capaz de, no momento mais adequado da trajetória, separar a coifa do tubo do corpo do foguete que contém sua carga útil e abrir o paraquedas. As dimensões do paraquedas deverão ser determinadas de modo que a velocidade de queda do foguete seja baixa o suficiente para não causar danos. Os materiais usados serão bateria, placa de microcontrolador, altímetro, servo motor, mola, que será dimensionada com base na massa do foguete posteriormente, fios de sustentação e tecido para o paraquedas. Este sistema deverá garantir a recuperação do foguete em perfeito estado, de modo que este possa ser montado e lançado novamente. A elaboração deste projeto trará conhecimentos acerca da *foguetrônica* e tornará a educação mais acessível a outros alunos de ensino médio que iniciarem suas pesquisas no setor aeroespacial.

PALAVRAS-CHAVE: foguetrônica; eletrônica; ejeção e recuperação.

DEVELOPMENT AND STUDY OF THE RECOVERY SYSTEM FOR A SOLID PROPELLANT ROCKET WITH A 1 KM APOGEE

ABSTRACT: The objective of this work is to develop an efficient and accessible ejection and recovery system for experimental rockets with a solid propellant, designed to achieve an apogee of one kilometer within the framework of the Latin American Space Challenge. The system should be capable of separating the nose cone from the rocket body containing its payload at the most suitable point in the trajectory and deploying the parachute. The parachute dimensions must be determined so that the rocket's descent speed is low enough to prevent damage. The materials used will include a battery, microcontroller board, altimeter, servo-motor, spring (which will be determined based on the rocket's mass at a later stage), support wires, and fabric for the parachute. This system must ensure the recovery of the rocket in a condition that allows it to be reassembled and launched again. The development of this project will enhance knowledge in rocketronics and make education more accessible to high school students initiating their research in the aerospace sector.

KEYWORDS: rocketronics; electronics; ejection and recovery.

INTRODUÇÃO

As competições acadêmicas e olimpíadas científicas vêm ganhando espaço nas escolas brasileiras, principalmente no ensino médio. Nos últimos anos, a Mostra Brasileira de Foguetes (MoBFog) ganhou destaque no cenário das competições acadêmicas. Organizada pela Sociedade Astronômica Brasileira (SAB) - com apoio da Agência Espacial Brasileira (AEB) e do CNPq - seu principal objetivo é instigar o interesse dos jovens pela Astronomia, Astronáutica e Física.

A MOBFOG é uma atividade que abrange a construção e o lançamento de foguetes, com modalidades diversas conforme o tipo de propulsão utilizada. Segundo Raffa et al. (2023), o uso de foguetes com propelente sólido oferece aos estudantes do ensino médio uma oportunidade única de aprofundar-se na construção de foguetes e se aproximar dos conceitos de astronáutica. Para Côrrea et al. (2021) o lançamento de foguetes pode ser uma experiência acessível além das grandes empresas e agências espaciais, permitindo que, até em cidades menores, estudantes vivenciem e experimentem lançamentos em proporções adequadas como uma ferramenta para enriquecer o aprendizado, permitindo-lhes aplicar conhecimentos teóricos em um contexto prático.

Outro nível de competição de foguetes trata-se da Latin American Space Challenge (LASC), importante competição que promove a tecnologia aeroespacial por meio da metodologia ABP (Aprendizagem Baseada em Problemas). Nesta, o objetivo é atingir o apogeu determinado com a maior precisão possível; no caso desta missão, a modalidade é de 1 km com propelente sólido. Assim, o objetivo da Missão SRT-1 é projetar, construir, testar e lançar um foguete com propelente sólido que alcance com sucesso 1 km de apogeu na Latin American Space Challenge (LASC) 2024. Para tal, a parte técnica da missão, que abrange detalhes práticos diretamente relacionados ao foguete, como projetos de motor, sistemas eletrônicos, dimensionamento de componentes e base de testes, dentre outros, foram subdivididas em propulsão, estrutura e foguetrônica.

Assim, este trabalho tem como objetivo desenvolver e integrar sistemas eletrônicos de recuperação para a Missão SRT-1, visando assegurar o retorno seguro do foguete e preservar sua integridade estrutural.

MATERIAL E MÉTODOS

Elaborar o sistema de recuperação do foguete, o que inclui a eletrônica e o dimensionamento da ejeção e do paraquedas é um processo complexo que abrange diversas considerações. No projeto do Foguete de Treinamento TAU (FTT), estudantes da equipe TAU Rocket Team desenvolveram um subsistema de aviônica modular com o objetivo de reduzir custos por meio do uso de componentes acessíveis e técnicas simples de soldagem e confecção de circuitos. Esse sistema permitiu a coleta, armazenamento, transmissão e recepção de dados atmosféricos e de geolocalização, com capacidade modular que facilita a adaptação para futuras missões e novos elementos de carga (Bearzi et al., 2023).

O projeto de um sistema de recuperação para foguetes de pequeno porte desenvolvido por Vasques de Souza e Silva (2021) estabeleceu uma metodologia completa, incluindo dimensionamento do corpo, análise de estabilidade e simulação de voo. O sistema foi projetado para alcançar até 1200 m de altitude, utilizando motores sólidos por sua simplicidade e baixo custo. A simulação em MATLAB possibilitou um processo iterativo eficaz para a escolha do motor e otimização do desempenho, atendendo ao objetivo de viabilizar o uso do foguete como sonda atmosférica.

Miranda (2021) propôs um sistema de recuperação para minifoguetes, essencial para garantir a integridade do veículo e segurança durante a queda e aterrissagem. O projeto inclui um paraquedas hemisférico de 2,53 m com um *spill hole* para controle da descida, acionado por um *stratologger* após o foguete atingir 1 km de apogeu. Para otimizar o raio de busca dentro do limite de 500 m, o sistema permite que o foguete caia em queda livre nos últimos 100 m, reduzindo o tempo de descida. A estrutura foi composta por PETG e fibra de carbono, combinando leveza e resistência, e foi projetada com facilidade de montagem e compatibilidade com a vibração do voo.

Os materiais utilizados neste projeto serão um microcontrolador da série ESP32 (FIGURA 1), que é relativamente barata e, portanto, acessível, além de vir com diversas funções como Wi-Fi integradas, uma bateria de 9V, que alimentará o sistema, módulos BMP280 e acelerômetro 6050, que serão utilizados para determinar a altitude do foguete, resistores, um micro servo motor posicional (FIGURA 2), usado como gatilho que ativará o sistema de ejeção, um altímetro Firefly (FIGURA 3), exigido pela competição para registro de altitude, uma mola, um conjunto de fios de sustentação e

tecido, os quais serão dimensionados posteriormente conforme outras necessidades específicas do projeto. Além disso, também é possível que, futuramente, seja implementado um sistema GPS para localização do foguete.



FIGURA 1: ESP32. Fonte: ROBOEQ(2020).

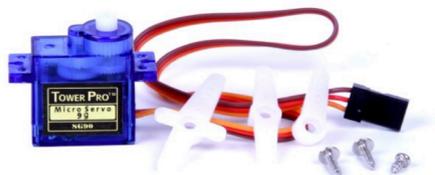


FIGURA 2: Servo motor. Fonte: MI PC(2014).



FIGURA 3: Altímetro Firefly. Fonte: PERFECTFLITE(2017).

O sensor de pressão BMP280 coleta continuamente dados de pressão, temperatura e altitude, enquanto o acelerômetro e giroscópio MPU6050 registra a aceleração nas três direções e os ângulos em cada eixo de rotação. Combinando esses dados por meio de um filtro, é possível obter uma estimativa de altitude com erro inferior a 50 cm. Ao final do voo, o ESP32 armazena um dicionário de dados com informações de aceleração, altitude e rotação registradas a cada 500 ms, possibilitando uma análise detalhada do percurso do foguete posteriormente. Ele pode ser conectado ao microcontrolador através de uma entrada analógica para a leitura da altitude.

O servo motor é um atuador composto por três entradas, a alimentação Vcc, o GND e a entrada de comunicação. A alimentação Vcc e o GND serão conectados com seus respectivos pinos na placa com o microcontrolador e a comunicação será conectada com qualquer pino que possa ser determinado como pino de saída para a emissão do comando ao servo motor.

Na programação, as principais bibliotecas utilizadas foram: para o servo motor, a biblioteca ESP32Servo.h que auxilia no uso do servo motor com funções que simplificam o código e, para o bmp 280 e acelerômetro mpu6050 foi utilizado a biblioteca de sensores Adafruit_BMP280.h e Adafruit_MPU6050.h.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Assim, é possível montar uma simulação que representa um protótipo de circuito (FIGURA 4). Este consiste em um microcontrolador, o ESP32 simulado por Arduino UNO, que lê os dados do altímetro, representado no simulador por um potenciômetro e, caso o valor lido atinja o desejado, o

pino A1 comunicará com o servo motor de modo que ele mude sua posição em 90 graus imediatamente. Desta forma, a mola será acionada para que a coifa e o paraquedas sejam ejetados.

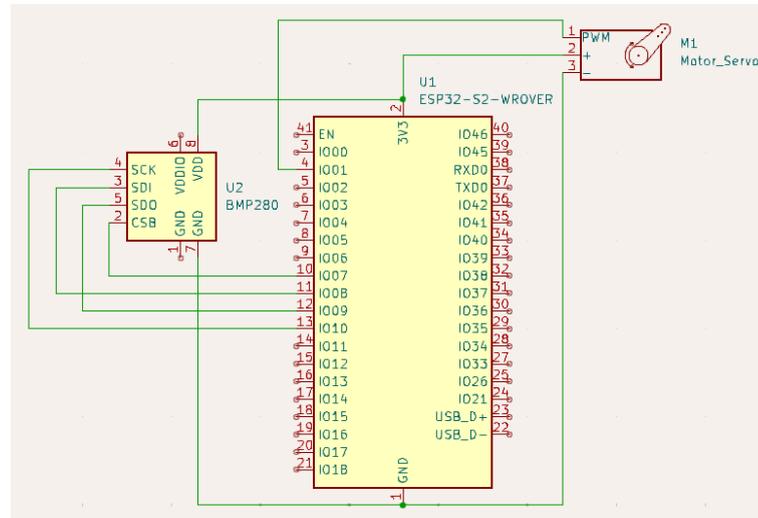


FIGURA 4: Esquema elétrico do protótipo do circuito de ativação do servo motor. Fonte: Autoria própria.

Esta simulação é eficaz por permitir a elaboração de um código de programação (FIGURA 5) que permite a prototipagem do circuito de recuperação. Assim, este pode ser alterado conforme as necessidades do usuário ao longo do projeto. O dimensionamento da mola, do tecido do paraquedas e do material da linha deverá ser feito após a confirmação da massa do foguete, uma vez que as exigências acerca das propriedades mecânicas dos materiais utilizados mudarão a depender do projeto.

A versão atual do circuito é feita a partir de um módulo BMP, um sensor de pressão, utilizado para determinar a altitude utilizando as bibliotecas da IDE

```

#include <ESP32Servo.h> // Biblioteca para controle de servos no ESP32
#include <ESP32PWM.h> // Biblioteca para PWM no ESP32
#include <Wire.h>
#include <SPI.h>
#include <Adafruit_BMP280.h> // Biblioteca para sensor de pressão BMP280

// Definição de pinos para comunicação SPI do BMP280
#define BMP_SCK (13)
#define BMP_MISO (12)
#define BMP_MOSI (11)
#define BMP_CS (10)

int alt1; // Variável para armazenar a altitude inicial
int alt2; // Variável para armazenar a altitude em uma segunda leitura

Servo tumb; // Objeto para controle do servo motor
Adafruit_BMP280 bmp; // Objeto do sensor BMP280 para comunicação I2C

void setup() {
  Serial.begin(9600); // Inicia a comunicação serial
  while ( !Serial ) delay(100); // Aguarda USB (caso seja um USB nativo)

  Serial.println(F("BMP280 test")); // Mensagem inicial para teste do sensor

  unsigned status;
  status = bmp.begin(0x76); // Inicializa o sensor BMP280 no endereço padrão 0x76
  if (!status) {
    // Caso o sensor não seja encontrado, exibe uma mensagem de erro
    Serial.println(F("não foi possível encontrar o sensor, verifique as conexões!"));
    while (1) delay(10); // Aguarda indefinidamente
  }

  tumb.attach(4); // Define o pino do servo no pino 4
  tumb.write(0); // Define a posição inicial do servo em 0 graus
}

void loop() {
  alt1 = bmp.readAltitude(1011); // Lê a altitude com base na pressão de 1011 hPa (ajuste conforme necessário)
  delay(1000); // Espera 1 segundo
  alt2 = bmp.readAltitude(1011); // Lê a altitude novamente

  // Imprime a altitude lida
  Serial.print(F("altitude = "));
  Serial.print(alt1); // Primeira leitura de altitude
  Serial.print(" | ");
  Serial.print(alt2); // Segunda leitura de altitude
  Serial.println(" m");

  // Se a segunda leitura for menor que a primeira, ativa o servo
  if (alt2 < alt1) tumb.write(180); // Ajusta o servo para 180 graus

  delay(100); // Espera 100 ms antes de repetir o loop
}

```

FIGURA 5: Código de programação para o último protótipo do circuito. Fonte: Autoria própria, através do Arduino IDE.

CONCLUSÕES

Este trabalho pesquisou os desafios e soluções envolvidos na produção de um sistema eletrônico eficiente para o funcionamento e recuperação de um foguete de propelente sólido com alcance de 1 km. Como conclusão, os resultados apontaram a necessidade de um planejamento rigoroso no desenvolvimento da eletrônica, especialmente no que diz respeito à precisão dos sensores, integração dos sistemas de comunicação e capacidade de recuperação do foguete. Verificou-se que a escolha dos componentes e a otimização do circuito eletrônico são cruciais para garantir a segurança e o sucesso da missão, além de minimizar falhas durante o voo.

Ademais, foram encontrados desafios como a falta de recursos financeiros e tecnológicos, exigindo soluções alternativas e buscas por parcerias com instituições e empresas da área. A próxima etapa visa a realização de testes para validar o funcionamento da eletrônica antes do lançamento.

Espera-se que este trabalho contribua para futuras pesquisas no campo aeroespacial escolar, oferecendo diretrizes para o aprimoramento dos projetos de foguetes de propelente sólido. O desenvolvimento de sistemas eletrônicos mais eficientes e acessíveis é uma perspectiva futura, que poderá facilitar a implementação desses projetos em outros contextos educacionais.

O sistema de recuperação do foguete ainda se encontra em fase de desenvolvimento, no qual foram realizados testes utilizando diversos mecanismos de pistão e mola, bem como integrados novos módulos que permitirão maior eficiência e acessibilidade do sistema. Muitos testes e alterações serão realizadas até a versão final e o avanço é satisfatório.

CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

G.C.S., P.B., J.H.A.N., U.C.S.F. e C.S. contribuíram com a seleção, análise dos dados, na discussão metodológica e na análise dos dados L.V.G.F. contribuiu na análise de dados e na elaboração do trabalho A.V.C. contribuiu na proposição da pesquisa, na discussão metodológica e na análise dos dados. Todos os autores contribuíram com a revisão do trabalho e aprovaram a versão submetida.

AGRADECIMENTOS

Ao grupo Estelar Educacional, por apoiar e fazer possível a Missão SRT1, à Nova Smar SA e Marvitubos por contribuir com materiais para a confecção do projeto, e ao IFSP *Campus* Sertãozinho.

REFERÊNCIAS

BEARZI, Carlos Roberto, et. al. Implementação de aviônica modular para um foguete universitário de competição com apogeu de 250 m. **I Simpósio Gaúcho de Engenharia Aeroespacial e Mecânica**, 2023.

BOSCH SENSORTEC. **BST-BMP280-DS001-11**. BMP280 Datasheet. mai. 2015. Adafruit, <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/BST-BMP280-DS001-11.pdf>. Acesso em 28 out. 2024.

CORRÊA, Ana Carolina Luciani et al. Desenvolvimento de foguetes de baixa altitude para auxiliar no ensino. **Anais do Computer on the Beach**, v. 12, p. 547-550, 2021.

MI PC. **SERVO MOTOR SG90 DATA SHEET**. Datasheet PDF. 2014, http://www.ee.ic.ac.uk/pcheung/teaching/DE1_EE/stores/sg90_datasheet.pdf. Acesso em 21 out. 2024.

MIRANDA, Maíra Fernanda Oliveira de. **Desenvolvimento de um sistema de recuperação para um minifoguete**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Aeronáutica) - Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2021.

MIYADAIRA, Alberto Noboru. **Microcontroladores PIC18: Aprenda e programe em linguagem C**. Editora Érica - Sob Demanda, 2013.

PERFECTFLITE. **Firefly Altimeter**. 2017, Disponível em <http://www.perfectflite.com/Firefly.html>. Acesso em: 08 set. 2024.

RAFFA, Rodrigo Felipe et al. Construção de um motor de foguete de propelente sólido no Ensino Médio. **Entre caminhos: reflexões sobre educação, arte, ciência e**, p. 26, 2023.

ROBOEQ. **DOIT Esp32 DevKit v1**. Datasheet PDF. 2020. Roboeq.ir, Foxit PhantomPDF Printer, Disponível em: <https://roboeq.ir/files/id/4034/name/ESP32%20MODULE.pdf/>. Acesso em: 21 out. 2024.

SIEPERT, Bryan. **MPU6050 6-axis Accelerometer and Gyro**. Datasheet PDF. 06 nov. 2019. Adafruit, <https://cdn-learn.adafruit.com/downloads/pdf/mpu6050-6-axis-accelerometer-and-gyro.pdf>. Acesso em 28 out. 2024.

VASQUES, Brunno Barreto; DE SOUZA, Luis Carlos Gadelha; SILVA, Maurício G. **Projeto de um sistema de recuperação para foguetes de pequeno porte**. Monografia. São José dos Campos: INPE, 2021.