

13º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP - 2022

ANÁLISE DA INTEGRIDADE DOS SUBSISTEMAS E COMPORTAMENTO ATMOSFÉRICO DO CUBESAT EDUCACIONAL, ICARUS-1

ADRIANO C. S. PEREIRA¹, JOÃO P. B. ALVES², KAYQUE B. OLIVEIRA³, KEVIN C. H. F. MARINHO⁴, DANIEL E. RAZERA⁵

¹ Graduando em Engenharia de Controle e Automação, IFSP, Campus São João da Boa Vista, cesar.sousa@aluno.ifsp.edu.br.

² Graduando em Engenharia Aeronáutica, UNESP, Campus São João da Boa Vista, jpb.alves@unesp.br.

³ Graduando em Engenharia de Controle e Automação, IFSP, Campus São João da Boa Vista, kayque.b@aluno.ifsp.edu.br.

⁴ Graduando em Engenharia Aeronáutica, UNESP, Campus São João da Boa Vista, kevin.marinho@unesp.br.

⁵ Professor da Área de Indústria, IFSP, Campus São João da Boa Vista, daniel.espanhol@ifsp.edu.br.

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 3.12.06.05-0 Satélites e Outros Dispositivos Aeroespaciais

RESUMO: O presente trabalho trata-se de um projeto de Cubesat, o qual teve participação na 1ª edição da Olimpíada Brasileira de Satélites, cujo propósito da missão é coletar dados dos sensores a fim de compreender o comportamento do satélite. São extraídos dados de temperatura, pressão, altitude, valores dos 3 eixos do giroscópio/acelerômetro, latitude, longitude, velocidade, conectividade com satélites e nível de bateria. A programação foi feita em linguagem C/C++ através da IDE Arduino para o microcontrolador ESP32. Estrutura modelada no programa *Autodesk Inventor Professional* e manufaturada em impressão 3D. Os periféricos utilizados são de baixo custo com aplicações em “Internet das Coisas” (IOT) com exceção de 6 termistores NTC utilizados para medir a temperatura interna proveniente das 5 faces do Cubesat sob influência da radiação térmica incidente, externa à estrutura, além de um sexto NTC próximo à bateria. Os dados são armazenados em cartão SD e transmitidos por Wi-Fi para uma sonda local. O objetivo do trabalho é estabelecer uma base de Cubesat para futuras melhorias, seja com ou sem participação na OBSAT. Possuir um satélite previamente pronto viabiliza a elaboração de missões com maior mérito científico, contribuição social e nacional, sem despendar tanto tempo para concepção básica de um satélite.

PALAVRAS-CHAVE: Cubesat; OBSAT; Radiação Térmica; IOT.

SUBSYSTEMS' INTEGRITY ANALYSIS AND ATMOSPHERIC BEHAVIOR FROM EDUCATIONAL CUBESAT, ICARUS-1

ABSTRACT: This paper is about a Cubesat project which was showed at 1st Brazilian Satellite Olympic and the mission purpose is collect datas from sensors to understand the satellite behavior. Datas about temperature, pressure, altitude, information about the 3 axis from gyroscope/accelerometer, latitude, longitude, speed, connectivity with other satellites and battery level. The programming used was C/C++ through IDE Arduino for ESP32 microcontroller. Structure made inside the Autodesk Inventor Professional programmer and manufactured by 3D printing. We used low price peripherals which have “internet of things” (IOT) applications except 6 NTC thermistors used for measure internal temperature from the 5 Cubesat faces/sides under radiation thermal incidence, externally from structure, and an other NTC next to the battery. All database are saved in a SD card and transmitted by Wi-Fi to a local probe. The goal paper is stabilishing a Cubesat base for future improvements, participating or not on OBSAT. By having a prebuilt satellite makes viable a higher scientific merit goal, social contribution and national, without wasting time to concept a basic satellite.

KEYWORDS: Cubesat; OBSAT; Thermal Radiation; IOT.

INTRODUÇÃO

A indústria aeroespacial tem crescido de forma exponencial nas últimas décadas, estimulada pelo setor privado “com expectativa de movimentar, ao menos, US\$ 1 Trilhão até 2030” (ALVES, 2021) e o Brasil nos últimos anos têm feito o mesmo, como de exemplo a 1ª edição da Olimpíada Brasileira de Satélites (OBSAT, 2021), o primeiro satélite desenvolvido por uma startup brasileira, PION-BR1 da PionLabs (PIONLABS, 20--) e alguns chamamentos públicos para apoio à pesquisa em Cubesats (AEB, 2022) e projetos do setor aeroespacial (AEB, 2022).

Um satélite artificial é um dispositivo, composto essencialmente por sistemas eletrônicos e mecânicos, que orbita em torno de um planeta (PORTO EDITORA, 2003). Esses equipamentos tornaram-se fundamentais para uso de tecnologias na Terra, comunicação e estudos sobre o planeta (SILAS, 20--).

O Cubesat ICARUS-1 é um nanosatélite de 10x10x10 cm feito com componentes de baixo custo (como “internet das coisas” ou IoT, do inglês *Internet of Things*) e estabelece uma base para futuros projetos acadêmicos. Um dispositivo com tecnologia IoT nada mais é do que um eletrônico que consegue se comunicar com outros sistemas por meio de uma conexão sem fio (TOTVS, 2021).

Dado o exposto, para programar os componentes, é utilizado um ambiente de programação: IDE do Arduino e para o desenvolvimento do software que será inserido na placa para realizar as atividades programadas (NOLETO, 2021), sendo necessária para a programação do microcontrolador escolhido.

Os componentes possuem comunicação I2C, SPI e serial RX/TX. É necessário que o microcontrolador tenha capacidade de leitura de dados dos sensores por comunicação I2C, SPI, comunicação por TX/RX, Wi-Fi, alta frequência de CPU, conversores ADC e baixo consumo de energia para durar o maior tempo possível operacional.

MATERIAL E MÉTODOS

O processo de leitura é feito a cada 10 segundos, assim como armazenamento dos dados. O microcontrolador liga e desliga (função *Deep Sleep*) entre os intervalos de escrita/leitura. A transmissão dos dados é feita em intervalos de 4 minutos, como critério da OBSAT.

Caracterização dos subsistemas:

- **Processamento:** Foi escolhido o ESP32 NODEMCU por ser de melhor custo-benefício. O MCU possui 240 MHz de clock de CPU, dual-core, 38 pinos, wi-fi, bluetooth, SPI, I2C, conversores ADC ajustável de 9-12 bits, RX/TX, baixo consumo de energia e funções de programação para hibernar/desligar;
- **BMP280:** o módulo foi utilizado para realizar medida de temperatura, pressão e altitude, sendo a temperatura e altitude critério avaliativo da 2ª fase da OBSAT, porém com limitação de até 9km de altitude, o que impede leituras de pressão/temperatura necessárias;
- **Módulo GPS:** a fim de contornar o problema do sensor BMP280, foi escolhido o GPS Ublox NEO6M-V2, o qual realiza conectividade com satélites para obter dados de latitude, longitude, altitude e conexões realizadas. A Eq. 1 para calcular a pressão tem como parâmetro a altitude, esta fornecida pelo GPS.

$$p = 101325(1 - 2.25577 \times 10^{-5}h)^{5.25588} \quad (1)$$

Em que 101325, representa a pressão atmosférica ao nível do mar na atmosfera padrão (Pa); p , pressão atmosférica; h , altura acima do nível do mar (m). (ENGINEERING TOOLBOX, 2003).

- **Termistor (NTC):** para a temperatura, os termistores NTC utilizados foram calibrados utilizando um termômetro de bulbo como padrão. O sensor é necessário para o estudo do comportamento térmico proveniente das faces do satélite. Vale destacar que foi utilizado um MUX 16x4 para a leitura dos 6 termistores;
- **Giroscópio/Acelerômetro:** para realizar as leituras dos 3 eixos do giroscópio e acelerômetro, foi utilizado o módulo MPU6050, sendo de baixo custo e preciso. É possível utilizá-lo medindo de forma estática e dinâmica. Os dados do acelerômetro e giroscópio também são critérios avaliativos da 2ª fase da OBSAT, além de realizar medida de temperatura, esta utilizada após 9km de altitude, substituindo a leitura do BMP280;

- **Leitor SD:** para salvar os dados coletados, foi utilizado um módulo de cartão SD de 2 GB, o qual armazenada dados a cada 10 segundos. O módulo é de baixo custo e atende às necessidades da missão;
- **Comunicação:** a comunicação é feita por Wi-Fi, além de coletar os dados, estes são transmitidos para uma sonda local a qual retransmite os dados para solo. A transmissão é feita por um endereço http fornecido pela OBSAT e conectividade Wi-Fi local com baixa latência. A conectividade por wi-fi é critério avaliativo da OBSAT;
- **Blindagem eletromagnética:** foi feita uma gaiola de Faraday utilizando arame em forma de hexágonos, isolando os periféricos de medida, evitando que distúrbios de ondas eletromagnéticas influenciem na leitura dos sensores. A gaiola de Faraday foi aterrada;
- **Estrutura:** a estrutura foi feita com filamento PLA em impressão 3D, modelada através do software Autodesk Inventor Professional. O material utilizado atende às necessidades do protótipo. A estrutura do Cubesat segue às dimensões de 10x10x10cm, relativo a 1U e massa total inferior a 2 kg (NASA, 2017);
- **Subsistema de potência:** foram utilizadas duas baterias de íon lítio de celular, as duas possuindo 2000 mAh de carga e tensão de 3,7 V conectadas em série. As baterias são recarregáveis, através de 2 circuitos de recarga, módulo TP4056 com conexão micro-USB para USB;
- **Isolamento térmico:** para manter a temperatura interna equilibrada, foi adicionado espuma ethafoam entre as faces externas e estrutura interna do satélite, além de fita metalizada nas faces externas para refletir a radiação térmica incidente nas faces;
- **Proteção e isolamento:** a fim de garantir a segurança do satélite e demais satélites vizinhos, as baterias foram cobertas de uma camada de ethafoam e fita isolante. O circuito também recebeu camadas de fita isolante e fita metalizada para evitar curto-circuito por umidade elevada ou a própria gaiola de Faraday.

Além do processo de programação, a organização da equipe foi feita através da plataforma Miro, lousa digital gratuita e armazenamento em nuvem com recursos para a organização/elaboração de projetos. Para a organização dos objetivos, dependências de projeto, caracterização dos subsistemas foi utilizado mapa mental com figuras, datasheet, tutoriais de programação e demais exemplos; para o cronograma foi utilizado uma tabela de objetivos semanais.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados coletados e transmitidos estão presentes na tabela 1 a seguir.

TABELA 1. Dados coletados e transmitidos ao servidor de testes OBSAT.

Envio	Bateria (%)	Temperatura BMP280 (°C)	Pressão (Pa)	Giroscópio (x;y;z)(°/s)	Acelerômetro (x;y;z)(m/s ²)	Data/hora de envio	Tamanho (bytes)
1°	74	18,7	95320,05	-0,05; 0,01; 0,01	1,21; -0,01; 10,16	24/09/2022 21:30:14	56
2°	75	19,39	95309,02	-0,05; 0,01; 0,01	1,21; -0,01; 10,13	24/09/2022 21:26:15	56

Observa-se desvios entre as leituras de temperatura (tabela 1, 2 e 3), devido à precisão dos sensores, mas também a precisão da calibração dos termistores.

Os valores medidos no giroscópio são coerentes aos testes realizados de forma estática. A aceleração também representa coerência dos dados, mesmo estático realiza leituras, porém próximas de zero.

A tabela 2 a seguir representa os dados do *payload* ou carga útil que não compõem critérios da OBSAT, mas sim demais sensores embarcados do satélite.

TABELA 2. Dados do *payload* coletados e transmitidos ao servidor de testes OBSAT.

Envio	Latitude e Longitude	Velocidad e (km/h)	Satélites conectados	Altura (m)	Pressão (Pa)	Temperatura MPU6050 (°C)
1°	-22,8/-47,3	0,87	8	581,7	94529,31	22,22

2°	-22,8/-47,3	0,19	6	572,8	94630,43	23,4
----	-------------	------	---	-------	----------	------

A partir do valor medido de pressão é possível notar um desvio com o que foi calculado pela equação (1). Ainda, a tabela 3 em seguida exhibe valores de temperatura dos termistores.

TABELA 3. Dados dos termistores coletados e transmitidos ao servidor de testes OBSAT.

Envio	Temperatura TT101 (°C)	Temperatura TT102 (°C)	Temperatura TT103 (°C)	Temperatura TT104 (°C)	Temperatura TT105 (°C)	Temperatura TT106 (°C)
1°	22,1	22,73	17,09	15,91	24,43	25,52
2°	22,65	23,05	17,45	16,99	24,83	26,43

A figura 1 a seguir representa cada circuito do satélite, sendo a primeira e segunda do ESP32, antena e GPS, além de um botão para ligar/desligar a alimentação da bateria com o circuito; a segunda consta os sensores MPU6050, BMP280, MUX 16x4 e os 6 NTC utilizados; a terceira consta a bateria com o circuito de recarga.

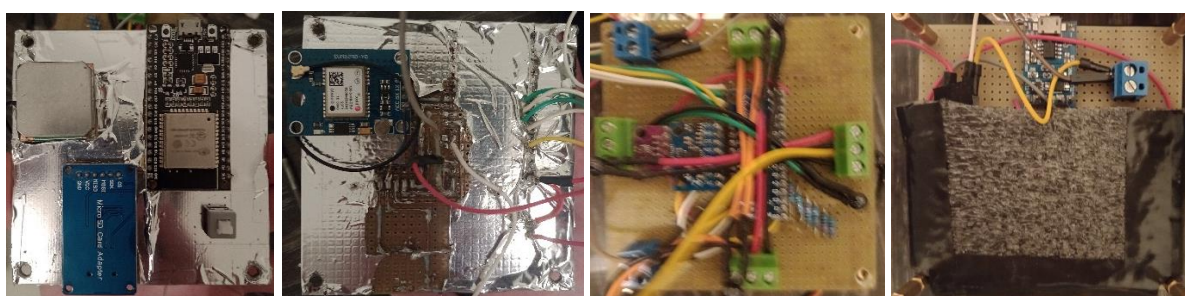


FIGURA 1. placas de circuito do Cubesat ICARUS-1.

CONCLUSÕES

Partindo do estudo apresentado, é possível projetar e manufaturar com baixo custo um Cubesat que possa realizar estudos de acordo com a missão a ser executada. Apesar dos componentes possuírem suas limitações, o funcionamento e programação são análogos ao de um projeto com periféricos e estrutura de alto custo utilizados na indústria aeroespacial.

Os desvios de temperatura observados entre o BMP280, MPU6050 e termistores são baixos se comparado à faixa de medição de temperatura entre 500-30000 metros, variando de -60°C a + 80°C.

O desvio entre a pressão do BMP280 e GPS se trata da estimativa de pressão com base na atmosfera padrão, este calculado pela altura do GPS. Ou seja, não se pode aferir desvios entre a pressão lida pelo BMP280 e GPS, tendo em vista suas diferenças. Contudo, na ausência do sensor BMP280, é possível o uso da estimativa de pressão proveniente da altura do GPS, desde que usado adequadamente.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer ao apoio de todos os participantes, mas principalmente ao Prof. Daniel responsável pela equipe que orientou e souou com a equipe. Agradeço também a disponibilidade do IFSP em disponibilizar as ferramentas e infraestrutura para a execução do projeto, assim como o veículo para participação à LASC em Tatuí-SP, destino da 3ª fase da olimpíada.

REFERÊNCIAS

AEB (Brasil). **Chamada pública para cubesats**. Brasil: Agência Espacial Brasileira, 5 ago. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/aeb/pt-br/assuntos/noticias/chamada-publica-para-cubesats>. Acesso em: 24 set. 2022.

AEB (Brasil). **UNIESPAÇO**. Brasil: Agência Espacial Brasileira, 21 mar. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/aeb/pt-br/acoes-e-programas/desenvolvimento-tecnologico/uniespaco>. Acesso em: 24 set. 2022.

ALVES, Felipe. **Com bilionários, setor aeroespacial decola e atrai mercado financeiro; saiba como investir**. Brasil: Infomoney, 10 out. 2021. Disponível em: <https://www.infomoney.com.br/mercados/corrida-aeroespacial-atrai-atencao-do-mercado-financeiro-saiba-como-investir/>. Acesso em: 24 set. 2022.

ENGINEERING TOOLBOX (Estados Unidos). **Atmospheric Pressure vs. Elevation above Sea Level**. Estados Unidos: The Engineering Toolbox, 2003. Disponível em: https://www.engineeringtoolbox.com/air-altitude-pressure-d_462.html. Acesso em: 24 set. 2022.

NASA (Estados Unidos). **Cubesat 101: Basic Concepts and Processes for First-Time CubeSat Developers**. Estados Unidos: NASA, 2. sem. 2017. Disponível em: https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/nasa_csli_cubesat_101_508.pdf. Acesso em: 24 set. 2022.

NOLETO, Cairo. **Socorro: O que é a IDE do Arduino?**. Brasil: betrybe, 29 nov. 2021. Disponível em: <https://blog.betrybe.com/tecnologia/arduino-tudo-sobre/>. Acesso em: 24 set. 2022.

OBSAT (Brasil). **1ª Olimpíada Brasileira de Satélites MCTI**. [S. l.]: Ministério da Ciência e Tecnologia, 1. sem. 2021. Disponível em: <https://obsat.org.br/>. Acesso em: 24 set. 2022.

PIONLABS (Brasil). **Satélite PION-BR1: Lançamento orbital com a SpaceX**. Brasil: Pionlabs, 20---. Disponível em: <https://www.pionlabs.com.br/pion-br1>. Acesso em: 24 set. 2022.

PORTO EDITORA (Brasil). **Satélite Artificial**. Brasil: Infopédia, 2003. Disponível em: [https://www.infopedia.pt/apoio/artigos/\\$satelite-artificial](https://www.infopedia.pt/apoio/artigos/$satelite-artificial). Acesso em: 24 set. 2022.

SILAS, Joab. **Satélites artificiais**. Brasil: Brasil Escola, 20---. Disponível em: <https://brasilescola.uol.com.br/fisica/satelites-artificiais.htm#:~:text=Sat%C3%A9lites%20artificiais%20s%C3%A3o%20equipamentos%20de,%C3%B3rbita%20ao%20redor%20da%20Terra.&text=Os%20sat%C3%A9lites%20artificiais%20s%C3%A3o%20equipamentos,%C3%B3rbita%20ao%20redor%20da%20Terra>. Acesso em: 24 set. 2022.

TOTVS (Brasil). **Internet das Coisas: o que é, surgimento, aplicações e impactos**. Brasil: TOTVS, 15 set. 2021. Disponível em: <https://www.totvs.com/blog/inovacoes/aplicacoes-da-internet-das-coisas/>. Acesso em: 24 set. 2022.