

CARAVANASAT: UM CUBESAT EDUCACIONAL PARA PROMOÇÃO DA CIÊNCIA AEROESPACIAL NO NORDESTE BRASILEIRO

**Andriéria Azevedo Dantas¹, Diego da Silva Pereira¹, Gustavo Fernandes de Lima¹,
Anderson Guimarães Guedes², José Henrique Fernandez²**

¹Laboratório de Redes e Sistemas Computacionais - NOCS Lab
Instituto Federal do Rio Grande do Norte, Parnamirim, Brasil (diego.pereira@ifrn.edu.br)

²Escola de Ciência e Tecnologia - ECT,
Universidade Federal do Rio Grande do Norte Natal, Brasil

Resumo: Este artigo detalha o desenvolvimento de um CubeSat educacional para o projeto Caravana Espacial (CaravanaSat), que atua na divulgação científica aeroespacial em municípios nordestinos. Utilizando tecnologias acessíveis como impressão 3D e componentes comerciais, o CubeSat integra sensores DHT11, GPS GY (NEO6MV2) e MPU-6050 com um ESP32. Dados são exibidos em um dashboard interativo via Flask-SocketIO, Matplotlib e Folium. Os resultados mostram a viabilidade do projeto e seu impacto educacional.

Palavras-chave: CubeSat; Caravana Espacial; divulgação científica; sensores, estação base

INTRODUÇÃO

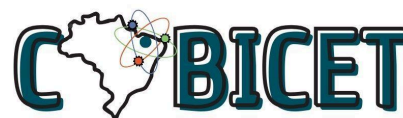
A exploração espacial tem despertado fascínio e curiosidade em pessoas de todas as idades, sendo uma área que combina ciência, tecnologia e imaginação. Nos últimos anos, a crescente acessibilidade às tecnologias espaciais tem permitido o desenvolvimento de pequenos satélites, conhecidos como CubeSats, que se destacam pelo baixo custo e flexibilidade. Estes pequenos satélites têm sido utilizados não apenas para pesquisa científica e tecnológica, mas também como ferramentas poderosas para a educação e divulgação científica, permitindo que estudantes e entusiastas da área tenham um contato mais direto com a tecnologia espacial (Hevner & Chatterjee, 2010).

O projeto Caravana Espacial: o interior encontrando espaço é coordenado pela UFRN e conta com a colaboração de membros da Rede Nordeste Aeroespacial (UEMA, UFMA, UFPE, UFRN), os Centros Brasileiros de Lançamento de Foguetes (CLA e CLBI), o Centro Vocacional Tecnológico Espacial (CTV-Espacial, AEB) e o Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN). Fruto da união de esforços entre diversas Instituições de Ensino Superior do Nordeste, o principal objetivo do projeto é a realização de exposições itinerantes destinadas à divulgação científica em temas de ciência e tecnologia aeroespaciais, principalmente em municípios da

região nordeste brasileira carentes de museus e laboratórios.

O projeto visa contribuir para a conscientização e a alfabetização científica de jovens estudantes e do público em geral sobre temas ligados à Exploração Espacial, Astronáutica e Astronomia. Com um total de 30 missões distribuídas por municípios nordestinos nos Estados do RN, PE, PB e MA, o Caravana atua como um laboratório de ciências sobre rodas, com exposições formadas por planetário móvel, palestras, oficinas, treinamentos e painéis expositivos contando a história da exploração espacial e suas tecnologias. As exposições oferecem uma experiência imersiva para crianças, jovens e adultos, contribuindo para a compreensão e o apoio da sociedade sobre a importância do desenvolvimento científico e tecnológico aeroespacial e sua relevância para o progresso e soberania do país.

Nesse contexto, entre esses projetos desenvolvidos, destaca-se a construção de redes de CubeSats, chamados CaravanaSats. O objetivo desta iniciativa é mostrar desde a concepção até a operação de CubeSats, destacando seu funcionamento e suas aplicações. Desse modo, este artigo apresenta a metodologia de desenvolvimento de uma rede de CubeSats para o projeto Caravana Espacial, cujo objetivo principal é promover a divulgação científica nas áreas de aeroespacial e astronáutica.



A organização deste artigo é estruturada da seguinte forma: na Seção 2, descrevemos detalhadamente os materiais utilizados, incluindo componentes eletrônicos e ferramentas de software, e os métodos aplicados em cada etapa do desenvolvimento do CubeSat; na Seção 3, apresentamos os resultados obtidos em cada fase do projeto, incluindo o design do PCB, a montagem dos componentes e os testes realizados, além do desenvolvimento do software de dashboard; e, na Seção 4, discutimos os principais resultados do projeto, destacando as contribuições para a educação científica e tecnológica, e sugerimos trabalhos futuros.

MATERIAL E MÉTODOS

Nesta seção, são detalhados os materiais e métodos utilizados na concepção, desenvolvimento e operação do CaravanaSat. O processo envolve desde a definição dos objetivos da missão e planejamento inicial, até a montagem, integração e testes dos componentes e sistemas do CubeSat. São descritos os materiais utilizados, incluindo a estrutura, componentes eletrônicos, sensores, bem como as ferramentas de software utilizadas. Também é apresentada a metodologia para gestão e desenvolvimento do projeto.

Materiais

A estrutura principal do CubeSat foi fabricada utilizando uma impressora 3D. Esta escolha se deve à flexibilidade no design, que permite criar uma estrutura leve, robusta e personalizada de acordo com as especificações da missão. A impressão 3D possibilita ajustes rápidos no design, otimização do espaço interno e redução de custos, comparado aos métodos tradicionais de fabricação. Para esse primeiro projeto foi adotado a dimensão de 1U, ou seja, CubeSats com 10 cm de aresta e até 1,33 kg.

Para o controle e gerenciamento dos diversos sistemas, utilizou-se o microcontrolador ESP32. Este microcontrolador foi escolhido por sua alta capacidade de processamento, baixo consumo de energia e integração com módulos WiFi 802.11 e Bluetooth, permitindo comunicação eficiente com a estação terrestre (estação base). Além disso, o ESP32 possui múltiplos pinos de entrada e saída, facilitando a integração de diversos sensores e módulos adicionais, garantindo flexibilidade ao projeto.

Nessa primeira versão, os sensores incorporados ao CaravanaSat incluem o sensor de temperatura e umidade DHT11, o GPS GY NEO6MV2 e o acelerômetro e giroscópio MPU-6050. O DHT11 é um sensor confiável e de baixo custo, capaz de aferir

a temperatura e a umidade com precisão adequada para os objetivos educacionais do projeto. Ele irá fornecer dados das condições ambientais em tempo real, permitindo ao público acompanhar mudanças de forma rápida e fácil. O GPS GY NEO6MV2 foi integrado para fornecer dados precisos de localização, essencial para monitorar a posição do CubeSat, permitindo, inclusive, monitorar o trajeto entre as missões e deslocamento do Caravana Espacial. Sua alta sensibilidade e baixo consumo de energia tornam-no ideal para aplicações espaciais.

O acelerômetro e giroscópio MPU-6050, também integrado ao ESP32, oferece a capacidade de monitorar a orientação e a aceleração do CubeSat. Este sensor combina um acelerômetro de três eixos e um giroscópio de três eixos, permitindo uma análise completa dos movimentos e ajustes necessários para o controle de atitude. A integração desses sensores com o ESP32 facilita a coleta e o processamento de dados, além de melhorar a eficiência do sistema de controle de atitude. Isso permite que seja possível realizar um conjunto de demonstrações durante as apresentações e palestras do projeto, além de oportunizar ao público em geral entender o que é um o Sistema de Determinação e Controle de Atitude (*Attitude and Determination Control System – ADCS*).

As fontes de energia do CubeSat são providas por baterias de íon de lítio. As antenas de comunicação, compatíveis com WiFi e Bluetooth, garantem que os dados coletados pelos sensores sejam transmitidos de forma eficiente para a estação base, permitindo o monitoramento contínuo e a realização das atividades de divulgação científica propostas pelo Caravana Espacial.

Método

Para desenvolvimento da rede de CubeSats foi adaptada uma metodologia utilizada para construção e lançamento de artefatos aeroespaciais, em especial, satélite. Essa metodologia é usada pelo Laboratório de Integração e Testes (LIT) vinculado ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), autarquia federal do Ministérios da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI).

Os projetos executados pelo LIT, em média, destinam um ano para as etapas de número 1 e 2, até quatro anos para as etapas 3 e 4, e entre três e cinco anos para a etapa 5, a depender das características do satélite, por exemplo. Entre as adaptações para metodologia adotada neste trabalho estão o tempo para conclusão de cada etapa, além da remoção da etapa destinada ao lançamento e colocação em órbita, visto que não se enquadra no projeto. A Figura 1

apresenta a metodologia adotada neste trabalho. A seguir é feito um detalhamento de cada etapa.

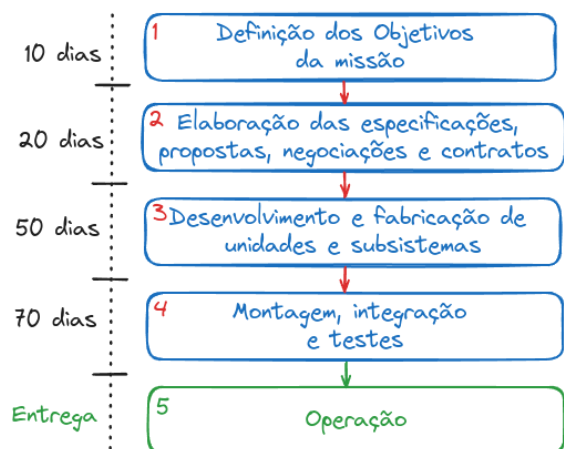


Figura 1. Metodologia de gestão e desenvolvimento para o CaravanaSat.

1. Definição de Objetivos da Missão

A fase inicial do desenvolvimento da rede de CubeSats envolveu a definição clara dos objetivos da missão. Esta etapa é crucial para estabelecer a direção e o propósito do projeto. Considerando a natureza da missão, desenvolver uma rede de CubeSats de divulgação científica, os objetivos estabelecidos foram realizar o monitoramento de alguns parâmetros do ambiente, como temperatura e umidade; além da geolocalização e orientação do CubeSat, informações fundamentais para o Sistema de Determinação e Controle de Atitude (*Attitude and Determination Control System* – ADCS). Também foi requisitado um sistema de comunicação sem fio de enlace bidirecional e um sistema de alimentação a partir de baterias. Ademais, desenvolver uma aplicação web com a capacidade de enviar e receber dados dos CubeSats. O público-alvo foi definido como estudantes do ensino fundamental e médio, assim como entusiastas e público em geral, para garantir que a missão atenda às suas necessidades educacionais. Esta fase também incluiu a criação de um cronograma preliminar e a estimativa do orçamento necessário para entrega do projeto.

2. Elaboração das Especificações, Propostas, Negociações e Contratos

A etapa de elaboração das especificações técnicas está relacionada com a criação de propostas que descrevem as funcionalidades e capacidades do CubeSat, além das negociações com fornecedores e parceiros para a aquisição de componentes e serviços necessários. Logo, o desenvolvimento de

contratos/acordos claros e precisos é essencial para garantir que todas as partes envolvidas compreendam suas responsabilidades e compromissos. Esta etapa é fundamental para alinhar as expectativas e assegurar que todos os recursos necessários estejam disponíveis para a finalização do projeto.

3. Desenvolvimento e Fabricação de Unidades e Subsistemas

A etapa de desenvolvimento e fabricação envolve o design detalhado dos componentes, incluindo a estrutura física, sistemas de energia, comunicação e controle de atitude. A fabricação dos subsistemas é realizada de acordo com os padrões estabelecidos para garantir a compatibilidade e a funcionalidade do CubeSat. Durante esta fase, a integração dos diferentes subsistemas é planejada para assegurar uma montagem eficiente e eficaz. A qualidade e a precisão na fabricação são cruciais para o sucesso da missão.

4. Montagem, Integração e Testes

A fase de montagem, integração e testes é composta por um conjunto de procedimentos e uma sequência de eventos destinada a reunião e teste de todos os componentes. Os componentes fabricados são montados na estrutura do CubeSat, e a integração dos sistemas elétricos, mecânicos e de comunicação é realizada. Testes rigorosos, incluindo vibração, choque térmico, vácuo térmico e compatibilidade eletromagnética, são conduzidos para verificar a funcionalidade e a resistência do CubeSat às condições adversas que enfrentaria, caso fosse sujeito ao lançamento e colocado órbita. Esta fase garante que todos os subsistemas funcionem de forma integrada e que o CubeSat esteja pronto para a missão.

5. Operação

Na etapa de operação, a equipe de controle monitora e gerencia o CubeSat a partir de uma estação terrestre (estação base). As operações incluem a coleta de dados, a execução de experimentos e a transmissão de informações. No contexto do Caravana Espacial, esta fase também envolve a realização de atividades educacionais e de divulgação, como transmissões ao vivo, workshops e compartilhamento de dados em plataformas online. A operação contínua e a manutenção do CubeSat são essenciais para maximizar o impacto educativo e científico da missão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A construção do CaravanaSat foi conduzida em várias etapas, conforme descrito na seção anterior. As atividades vinculadas as etapas incluíram o design, a fabricação, a montagem e os testes dos componentes eletrônicos. A seguir, são apresentados os resultados obtidos em cada uma dessas etapas.

1. Design do PCB (Placa de Circuito Impresso)

O design inicial do PCB foi elaborado utilizando software de design eletrônico EasyEDA, conforme mostrado na Figura 02. O layout foi projetado para acomodar todos os componentes necessários, incluindo o ESP32, o sensor de temperatura e umidade DHT11, o GPS GY NEO6MV2, além do acelerômetro e giroscópio MPU-6050. O design cuidadoso do PCB assegurou a otimização do espaço e a minimização de interferências entre os componentes.

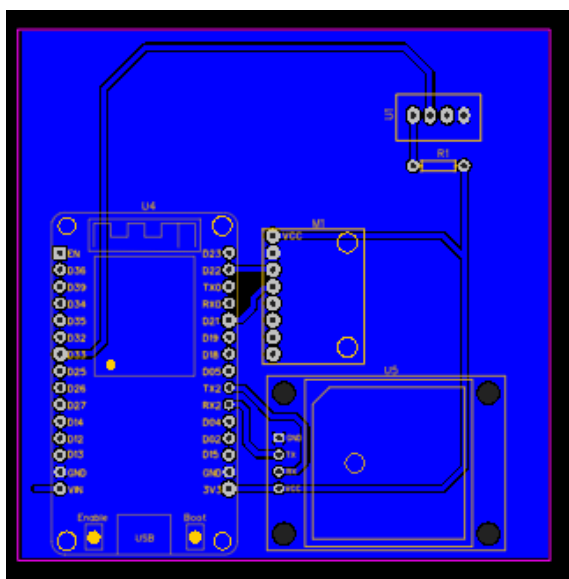


Figura 2. Circuito produzido para produção de PCD do CaravanaSat.

2. Montagem e Integração de Sensores na Protoboard

Antes da fabricação do PCB, os componentes foram inicialmente montados e testados em uma protoboard. Esta etapa permitiu a verificação preliminar da integração dos sensores com o ESP32. A imagem mostra o ESP32, o DHT11, o GPS GY NEO6MV2 e o MPU-6050 montados na protoboard, conectados e operacionais. Este processo de prototipagem rápida é essencial para detectar e

resolver problemas de integração de hardware e software.

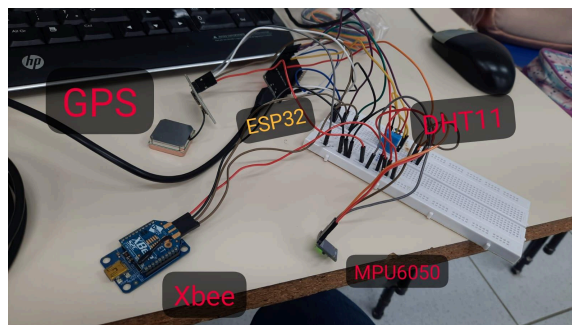


Figura 3. Validação da eletrônica a partir do montagem em protoboard.

3. Fabricação do PCB

A partir da validação do protótipo na protoboard, a fabricação do PCB foi realizada com precisão, utilizando uma técnica de prototipagem rápida. A imagem mostra a placa de circuito impresso após a fabricação, destacando as trilhas e os pontos de solda. A qualidade da fabricação foi verificada para garantir que todas as conexões fossem feitas corretamente e que não houvesse curtos-circuitos ou defeitos nas trilhas. A Figura 3 mostra o PCB impresso, enquanto a Figura 4 compara o chassi 1U e o PCB impresso que será embarcado no CaravanaSat.

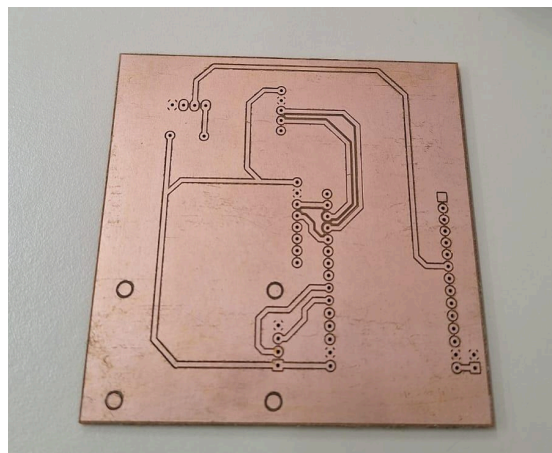


Figura 3. PCB impresso.

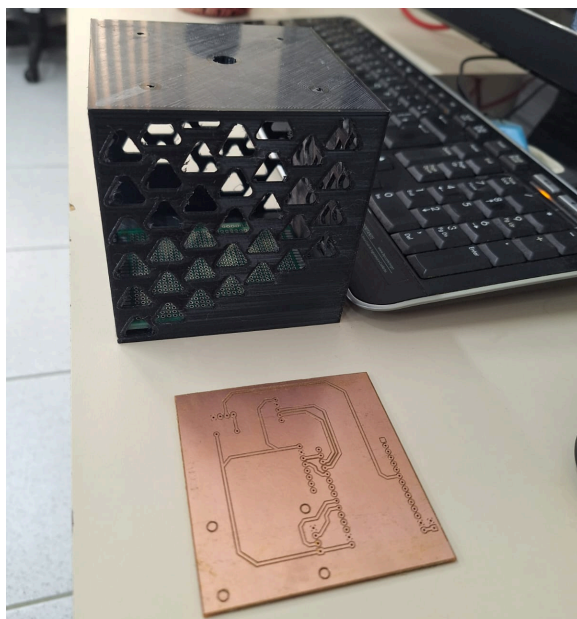


Figura 4. Demonstração do chassi 1U e do PCB impresso que será embarcado no CaravanaSat.

4. Montagem dos Componentes

A montagem dos componentes eletrônicos na placa de circuito impresso foi realizada de modo a garantir a melhor operação. Os principais componentes, como o ESP32, o DHT11, o GPS GY NEO6MV2 e o MPU-6050, foram cuidadosamente soldados nas posições designadas. A imagem mostra a placa com os componentes montados, prontos para a integração e testes.

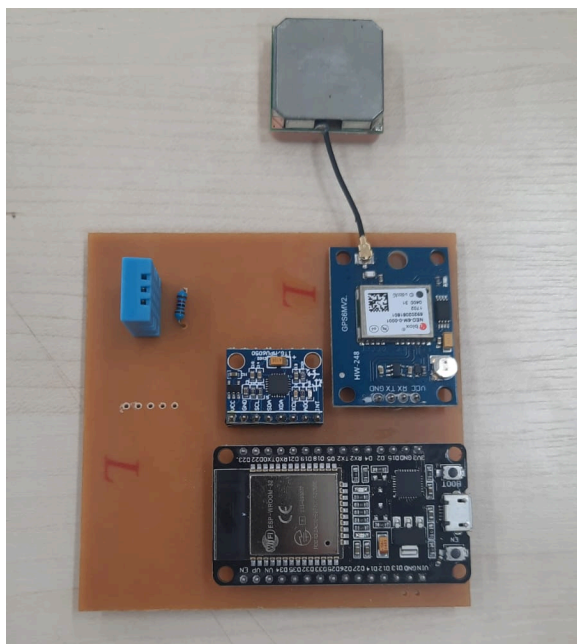


Figura 5. Componentes eletrônicos montados e soldados na placa.

5. Integração e Testes

Após a montagem, a placa foi submetida a uma série de testes para verificar a funcionalidade de todos os componentes. Foram realizados testes de comunicação via WiFi e Bluetooth utilizando o ESP32, bem como a coleta de dados dos sensores de temperatura, umidade, GPS e movimento. Os testes confirmaram que todos os sistemas funcionaram conforme o esperado, demonstrando a viabilidade do design e a qualidade da montagem. Os dados coletados pelos sensores foram transmitidos com sucesso para a estação terrestre, validando a capacidade do CubeSat de realizar suas funções educacionais e científicas.

6. Desenvolvimento do Software da Estação Base

O software desenvolvido para o controle e monitoramento do CaravanaSat é responsável por receber, processar e exibir os dados coletados em um dashboard interativo. Este software foi implementado utilizando tecnologias web para garantir a acessibilidade e a facilidade de uso.

O ESP32 envia os dados de temperatura, umidade e geolocalização coletados pelos sensores DHT11, GPS GY NEO6MV2 e MPU-6050 via WiFi para um servidor. Para suportar a comunicação em tempo real baseada em WebSockets, utilizou-se o Flask-SocketIO. Esta ferramenta permite que os dados sejam transmitidos em tempo real para o dashboard, garantindo atualizações instantâneas.

No servidor, os dados são processados e armazenados em um banco de dados. O dashboard, acessível via navegador web, recupera os dados do banco de dados e os exibe em tempo real utilizando bibliotecas específicas para visualização e mapeamento:

Matplotlib: Utilizada para criar gráficos de linha que mostram as variações de temperatura e umidade ao longo do tempo.

Folium: Usada para criar mapas interativos que exibem a posição atual do CubeSat em tempo real, utilizando as coordenadas GPS.

Nominatim: Serviço de geocodificação utilizado para converter endereços em coordenadas geográficas (latitude e longitude) e vice-versa.

Esses gráficos permitem que os usuários monitorem o desempenho do CubeSat e analisem as condições ambientais e de localização de maneira intuitiva e informativa. O desenvolvimento do software foi essencial para transformar os dados brutos coletados pelo CubeSat em informações úteis e acessíveis, promovendo uma compreensão mais profunda das operações do satélite e facilitando a divulgação científica.

O dashboard apresenta gráficos interativos para cada tipo de dado, conforme Figuras 6 e 7, onde:

Temperatura e Umidade: Gráficos de linha que mostram as variações de temperatura e umidade ao longo do tempo.

Geolocalização: Um mapa interativo que exibe a posição atual do CubeSat em tempo real, utilizando as coordenadas GPS.

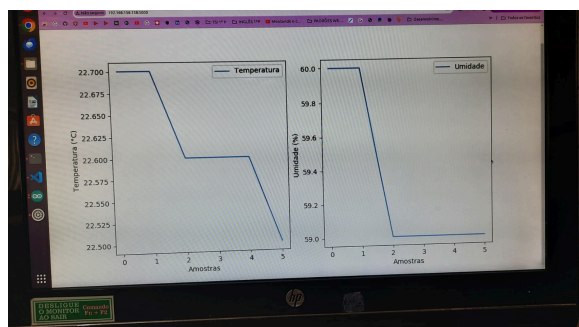


Figura 6. Imagem do dashboard para acompanhar as informações de temperatura e humidade.

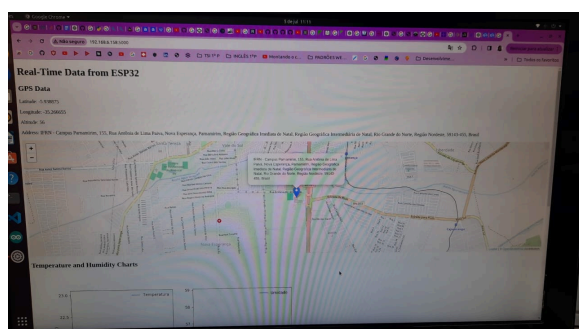


Figura 7. Imagem do dashboard para acompanhar a geolocalização do CubeSat.

No momento da escrita deste trabalho o dashboard ainda não está finalizado, a equipe segue desenvolvendo a representação visual da orientações do CubeSat a partir das informações coletadas do acelerômetro e giroscópio MPU-6050.

CONCLUSÃO

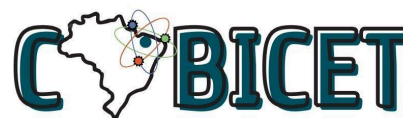
O desenvolvimento do CaravanaSat, um CubeSat educacional, apresentou resultados promissores, demonstrando a eficácia de uma abordagem integrada que combina design, fabricação e testes para desenvolvimento de artefatos aeroespaciais utilizados no contexto de divulgação científica. A utilização de uma impressora 3D para a estrutura do chassi de 1U e a escolha do ESP32 como microcontrolador central, juntamente com sensores DHT11, GPS GY NEO6MV2 e MPU-6050, permitiram a construção de um satélite compacto e funcional. A fase de prototipagem na protoboard foi importante para validar a integração dos componentes, garantindo que o design final do PCB fosse eficiente e reduzir a chance de falhas.

Os testes realizados confirmaram que todos os sistemas do CubeSat funcionam conforme o esperado, incluindo a comunicação via WiFi e Bluetooth, e a coleta de dados ambientais e de movimento. A transmissão bem-sucedida desses dados para a estação base valida a capacidade do satélite de cumprir seus objetivos educacionais e científicos. Dessa forma, o CaravanaSat promove a divulgação da ciência e tecnologia espacial de maneira acessível e inspiradora.

Para o futuro, diversas melhorias e expansões podem ser exploradas. Primeiramente, a integração de novos tipos de sensores, como câmeras e sensores de ultra som, podem expandir significativamente as capacidades de coleta de dados, permitindo a realização de uma diversidade maior de experimentos.

Além disso, o desenvolvimento de software que faça uso de algoritmos de inteligência artificial para processamento de dados a bordo permitiria análises em tempo real e tomadas de decisões autônomas, aumentando a eficiência do CubeSat e abrindo novas possibilidades de aplicações científicas. Melhorias na eficiência energética, por meio do uso de tecnologias de energia renovável, tais como placas solares, e baterias de maior capacidade, também são essenciais para prolongar a vida útil do satélite.

Por fim, a expansão de colaborações educacionais e científicas com instituições diversas para ampliar o alcance e o impacto do projeto, através do desenvolvimento de programas de divulgação mais abrangentes, como workshops práticos, cursos online e plataformas interativas. Além disso, a realização de missões conjuntas com outros CubeSats para formar constelações de satélites pode aumentar a capacidade de coleta de dados e possibilitar estudos colaborativos.



Essas iniciativas são fundamentais para proporcionar oportunidades de aprendizado e descoberta para a próxima geração de cientistas e engenheiros espaciais.

AGRADECIMENTOS

Agradecer ao Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - FNDCT, o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq e o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações - MCTI pelos recursos financeiros oriundos da Chamada CNPq/MCTI/FNDCT Nº 36/2022.

REFERÊNCIAS

EASYEDA. EasyEDA - Web-Based EDA, schematic capture, PCB design. Disponível em: <https://easyeda.com/>. Acesso em: 26 jul. 2024.

HEVNER, Alan et al. Design science research in information systems. Design research in information systems: theory and practice, p. 9-22, 2010.

HUNTER, J. D. Matplotlib: A 2D graphics environment. Computing in Science & Engineering, v. 9, n. 3, p. 90-95, 2007. Disponível em: <https://matplotlib.org/stable/users/history.html>. Acesso em: 26 jul. 2024.

RAPHAEL, J. et al. Folium: Python Data, Leaflet.js Maps. Disponível em: <https://python-visualization.github.io/folium/>. Acesso em: 26 jul. 2024.

OpenStreetMap. Nominatim. Disponível em: <https://nominatim.org/>. Acesso em: 26 jul. 2024.