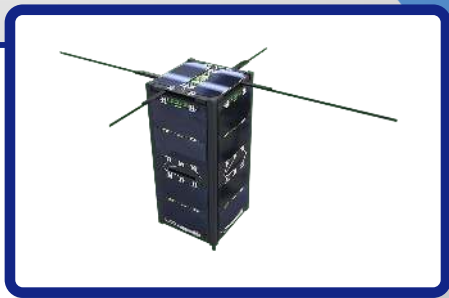


1. Introdução



Wesley Flavio Gueta (UFSCar)
Augusto Almeida de Jesus (UFSCar)
Rafael Vidal Aroca (UFSCar)
Calvin Trubiene (PION)
Bruno Pinto Costa (PION)

1.1 Introdução

Estamos habituados à ideia de satélite natural. Exemplos cotidianos e próximos são: a Lua como um satélite da Terra e a Terra um satélite que orbita o Sol. Satélite refere-se a um corpo que orbita outro por influência gravitacional. Dessa forma, podemos definir satélites artificiais como algo mecânico lançado ao espaço e que orbita um corpo celeste, como a Terra [1]. Mais especificamente, podemos compreendê-los como sistemas semi-independentes controlados por computador e equipados com instrumentos adequados para viabilizar o objetivo da missão que pode ser de natureza científica ou tecnológica. Assim como temos a Lua e a Terra como satélites naturais que nos vem rapidamente à mente, com o lançamento de satélites artificiais cada vez mais frequentes, e milhares de satélites artificiais dos mais variados fins orbitando a Terra, já conseguimos apontar diversos satélites que fazem parte do imaginário social, como o próprio Sputnik e a constelação de satélites da empresa Starlink.

Atualmente, os satélites são componentes fundamentais da nossa vida em sociedade, sendo importantes para as telecomunicações (expansão/popularização da TV), para os sistemas de localização (GPS), para as pesquisas científicas, entre outras. As possibilidades são cada vez mais amplas, acompanhando o avanço da tecnologia.

Satélites artificiais podem ser classificados segundo características específicas, como por exemplo, dimensões físicas, órbita e missão.

A órbita de um satélite é definida a partir do objetivo da missão, que caracteriza a aplicação de satélite. A órbita do satélite pode ser definida: síncrona, geoestacionária, elíptica ou circular, e varia de acordo com altitudes inferiores ou superiores, identificadas como baixa, média ou alta órbita terrestre. Pequenos satélites educacionais, de baixo custo e massa até 10 kg, geralmente operam em órbitas baixas, mais próximas da Terra (LEO, do inglês *Low Earth Orbit*), enquanto os tradicionais satélites de comunicação estão em órbita geoestacionária e podem variar de algumas centenas de quilos para uma dezena de toneladas.

A classificação dos pequenos satélites (do inglês, *SmallSats*), segundo sua massa, segue a distribuição da Tabela 1.1:

Tabela 1.1: Classificação de pequenos satélites

Categoria	Massa em kg
Minissatélite	100 – 500
Microssatélite	10 – 100
Nanossatélite	1 – 10
Picossatélite	0.1 – 1
Fentomsatélite	< 0.1

Fonte: [2]

A característica principal compartilhada pelos *SmallSats* – das mais variadas formas, tamanhos, massas e uso – vem da busca por uma engenharia baseada em otimização de custo, que busca fabricar e lançar satélites com o menor custo possível.

Para viabilizar o baixo custo, padrões de pequenos satélites foram definidos na academia e indústria. Considerando o escopo deste livro, dois desses padrões devem ser destacados:

- **CubeSat:** É um padrão desenvolvido em 1999 pelos professores Jordi Puig-Suari da California Polytech State University, e Robert Twiggs da Stanford University, que consistem em uma estrutura básica cúbica de 10 centímetros e com peso inferior a 1,33 kg. Essa estrutura, referenciada por 1U, consegue acomodar os componentes necessários para o funcionamento de um satélite em órbita.
- **CanSat:** CanSats são artefatos que não entram em órbita propriamente dita. São mais uma representação de um satélite real no tamanho e volume de uma latinha de refrigerante. O maior desafio é adicionar todos os subsistemas, incluindo bateria, sensores e sistema de comunicação dentro deste pequeno espaço. Os CanSats, geralmente, são utilizados como uma ferramenta para o aprendizado de estudantes dos mais diversos níveis como uma primeira experiência real envolvendo satélites.

Os satélites radioamadores são definidos como satélites que utilizam o Serviço de Radioamador para fins educacionais usando comunicações via rádio – incluindo telecomando, controle e recebimento de dados de cargas úteis. Projetos que utilizam o Serviço de Radioamador necessitam estar alinhados com os objetivos educacionais e não pecuniários do serviço.

Para coordenar o lançamento desses satélites radioamadores, bem como auxiliar na coordenação de frequências radioamadoras, existe a(s) AMSAT(s), [3], que são organizações de radioamadores que auxiliam nos projetos de satélites que operam em frequências radioamadoras construídos por clubes de radioamadores, associações de radioamadores, escolas e universidades.

No Brasil, temos a LABRE/AMSAT-BR, [4], grupo de radioamadores entusiastas de satélites e comunicações espaciais da Liga de Amadores Brasileiros de Rádio Emissão (LABRE), uma entidade nacional e reconhecida pelo Ministério das Comunicações como a única associação representativa dos radioamadores brasileiros perante as autoridades brasileiras e internacionais.

Há diversos casos de sucesso que podem ser boas inspirações no sentido educacional e de aplicação científica. Boas referências de CubeSats a citar são: ITASAT-1, FloripaSat e NanoSatC-BR1.

No sentido de aplicação científica, citamos o NanoSatC-BR1 cuja missão é coletar dados do Campo Magnético Terrestre, principalmente na região da Anomalia Magnética da América do Sul – AMAS, [5].

Relativo à capacitação educacional, o projeto ITASAT-1 foi um CubeSat 6U, com participação ativa da Agência Espacial Brasileira (AEB), desenvolvido pelo ITA – Instituto Tecnológico da Aeronáutica, visando qualificar uma plataforma para missões de comunicação e imageamento com nanosatélites e fomentar projetos na área espacial. Sua principal missão foi capacitar recursos humanos para projetos de aplicação espacial, com foco na integração de soluções disponíveis ao invés do desenvolvimento de subsistemas do satélite.

1.2 Missões e aplicações de satélites

Os principais fatores que impulsionam a adoção mundial e o crescimento dos CubeSats podem ser resumidos em, [6]:

- Possibilidade de atingir diversos objetivos de diferentes missões;
- Possibilidade de ser carga secundária de uma missão maior e de permanecer em órbitas e localizações distintas;

- Padronização dos mecanismos de lançamento, como o P-POD (*Poly-Picosatellite Orbital Deployer*);
- Economia devido ao baixo custo de produção;
- Desenvolvimento facilitado; e
- Simples integração com a arquitetura da missão.

Hoje os CubeSats não são somente mais uma plataforma educacional, são impulsionadores do *New Space*. Na sequência, vamos exemplificar missões e aplicações de satélites com projetos reais de missões CubeSat.

1.2.1 Sensoriamento remoto da Terra

Desde o surgimento dos balões, passando posteriormente pelos aviões, a humanidade percebeu a utilidade de imagens aéreas da Terra. Expandindo essa premissa para os satélites, pode-se observar que os dados fornecidos por essa aplicação variam desde camadas da Terra, passando pelas profundezas do oceano e indo até as mais altas camadas da atmosfera terrestre, dependendo dos sensores utilizados na missão.

1.2.2 Anomalia Magnética da América do Sul - AMAS

A Anomalia Magnética da América do Sul - AMAS, [7], pode ser vista como um local da atmosfera terrestre onde o seu campo magnético tem menor intensidade. Com isso, há uma menor proteção contra partículas cósmicas e um menor filtro da radiação solar, que podem gerar avarias ou interferências em satélites e até mesmo em aviões que voam em altas altitudes. Atualmente, é uma faixa localizada no sul e sudeste do Brasil, se estendendo até o sul do continente africano.

Buscando entender melhor essa anomalia, o CubeSat 1U NanoSatC-BR1, de cerca de 1 kg foi lançado em 2014 e continua em operação até os dias de hoje. Ele foi o primeiro CubeSat com cargas úteis desenvolvidas no Brasil, marcando a sua entrada nesse promissor mercado. Para mais informações em tempo real do NanoSatC-BR1, acompanhe [5].

Além de monitorar a AMAS, o satélite conta com a carga útil de um circuito integrado de acionamento de cargas úteis em teste, além de um hardware FPGA (*Field-Programmable Gate Array*) feito para suportar as condições extremas do espaço.

Recentemente, em março de 2021, foi lançado o NanoSatC-BR2. CubeSat de 2U, com massa de 1,72 kg, para dar continuidade aos estudos AMAS. É um o *SmallSat* que opera em órbita baixa (LEO) e possui outras cargas úteis, [8].

1.2.3 Telecomunicações

SmallSats têm sido aplicados nessa área em maior volume pois utilizam padrões industriais já estabelecidos, o que facilita o processo de produção, testes e uso, que encoraja a produção em série e o uso de constelações de satélite.

Um exemplo de CubeSat aplicado a telecomunicações é o Isara, de padrão 3U e lançado em 2017. Construído pela NASA e JPL, ele foi lançado para realizar a prova de conceito de uma antena para a faixa do espectro eletromagnético conhecida como banda Ka, que impacta na performance de transmissão de dados de *SmallSats*.

1.2.4 Astronomia

Para o estudo de corpos celestes, via de regra, é necessário equipamentos e instrumentos específicos, como dispositivos de espectroscopia para analisar abundâncias químicas em corpos celestes.

Embora nem todo dispositivo de instrumentação astronômica possa ser miniaturizado para ser embarcado em um *SmallSat*, os *SmallSats* conseguem suprir algumas destas demandas. Por exemplo, o CubeSat 3U MinXSS, concebido pela Universidade do Colorado em Boulder e lançado em 2015, teve como missão levantar o espectro de Raio-X do sol com maior probabilidade de acontecer explosões solares.

1.2.5 Experimentos em microgravidade

Os experimentos em microgravidade são utilizados por diversos campos do conhecimento, como na biologia, ciência dos materiais, química, dentre outros. A maior parte desses estudos são feitos na Estação Espacial Internacional (ISS).

Contudo, o custo de realizar experimentos nessas estações, além da necessidade de operação humana, traz uma complexidade nesses sistemas. Satélites tradicionais poderiam ser uma alternativa, entretanto, o custo de um satélite auto-operado é extremamente elevado, fazendo com que, muitas vezes, tenha-se que compartilhar diferentes experimentos em um mesmo satélite para se ter um custo-benefício razoável, o que dificulta ainda mais o seu uso. Os *SmallSats* são uma alternativa viável, podendo ser construídos de acordo com as especificações de determinado experimento com custo e tempo de execução reduzidos, abrindo um novo horizonte para a ciência feita em microgravidade.

O satélite 3Cat-1, de dimensão 1U, projetado pela Universidade Politécnica da Catalunha e lançado em 2018 é um bom exemplo de CubeSat aplicado a experimentos de microgravidade. Dentre suas sete cargas úteis, ele levou um transistor de efeito de campo para ser caracterizado em condições espaciais.

1.2.6 Localização global (GPS)

Praticamente todos os dias utilizamos algum serviço baseado na geolocalização. Seja na hora de pedir comida por aplicativos, no transporte compartilhado ou até mesmo em alguns aplicativos que requerem nossa localização para o seu uso (redes sociais e jogos, por exemplo).

Em todos esses casos, estamos recorrendo à tecnologia inicialmente desenvolvida pelos Estados Unidos da América (EUA) – o GPS. Do inglês, *Global Positioning System* – Sistema de Posicionamento Global, em tradução livre, esse sistema é baseado em uma constelação de satélites que operam de maneira conjunta para determinar a posição de um receptor ou objeto na superfície terrestre (ou próxima a ela). Para determinar a posição de um indivíduo, um receptor GPS de baixo custo (cerca de R\$20,00 e pesando 7 gramas) recebe sinais de pelo menos 3 ou 4 satélites e calcula a triangulação destes sinais para calcular a posição, que pode ter precisão de até 1 cm, utilizando a tecnologia GPS-RTK.

Tendo em vista esse uso massivo de satélites, podemos identificar uma grande oportunidade para os *SmallSats*.

1.3 O ambiente espacial

Uma das preocupações no projeto de um satélite são as condições ambientais às quais ele estará exposto durante sua missão, demandando um projeto cuidadoso para que todos os componentes do satélite estejam preparados. Os CubeSats são, tipicamente, lançados em órbita terrestre baixa, do inglês, *Low Earth Orbit* (LEO), que compreende a altitude entre 350 e 1500 km acima da superfície da Terra. Nesta órbita, os satélites orbitam a Terra a uma velocidade aproximada de 27400 km/h, completando uma volta na Terra a cada 90 minutos, aproximadamente, [9]. Além disso, as temperaturas nesta altitude podem variar de -170 graus Celsius até +120 graus Celsius, [10]. Neste sentido, os projetos térmico e mecânico são essenciais para que os componentes operem dentro de faixas seguras de trabalho.

Além da variação de temperatura, um satélite também estará sujeito a campos magnéticos e interferências eletromagnéticas, radiação solar e luminosa, dentre outros tipos de radiação. O dispositivo também estará em ambiente de vácuo e com pouca gravidade.

Outros pontos a serem considerados são as condições de lançamento, de forma que o projeto do satélite também deve levar em consideração o veículo lançador. Durante o lançamento o satélite estará sujeito a ruídos sonoros extremos, vibrações e variações de temperatura.

Note que o objetivo desta seção não é assustar, mas demonstrar que o espaço é

um ambiente hostil, e sabe-se de casos de pequenos satélites que são lançados em funcionamento, e param de funcionar logo que iniciam sua missão. Uma possível falha conhecida, por exemplo, é o mau funcionamento de um processador computacional do satélite devido à radiação danificar seu circuito ou causar inversão de bits, modificando aleatoriamente os valores armazenados na memória de um CubeSat.

1.4 Requisitos de missão

A definição dos requisitos de uma missão é o primeiro passo para qualquer desenvolvimento de satélite. É a partir da definição dos requisitos de uma missão que se especifica todo o projeto: dimensões do satélite, carga útil, instrumentos e unidades de processamento, tipo de órbita, fontes de energia, veículo lançador, duração da missão, detalhes de comunicação como frequência de operação, dentre outros aspectos.

Outro ponto importante dos requisitos da missão são os recursos / orçamento disponível para a missão, já que o orçamento disponível, a data de lançamento e outras restrições fora do controle da equipe podem, e vão, impactar outros aspectos da missão, sendo necessário fazer escolhas no contexto destas restrições.

1.5 Órbita

A órbita em qual o satélite será lançado é definida a partir dos requisitos da missão. A órbita define as características da trajetória de um satélite ao redor da Terra. Existem diversas possibilidades de órbitas, apresentamos na sequência as mais utilizadas:

1.5.1 Geoestacionária (GEO / *Geosynchronous Earth Orbit*)

É uma órbita onde o satélite se mantém com uma velocidade equivalente à velocidade de rotação da Terra. Desta forma, o satélite está sempre realizando a cobertura de uma mesma área. O satélite geoestacionário opera em altitude aproximada de 36000 km, sendo que satélites nesta órbita costumam ter vida útil de 20 anos. O Satélite Geoestacionário de Defesa e Comunicações (SGDC), lançado em 2017, é o primeiro satélite geoestacionário brasileiro.

1.5.2 Órbita Terrestre Baixa (LEO / *Low Earth Orbit*)

Uma órbita baixa da Terra (LEO) é uma órbita em torno da Terra com um período de 128 minutos ou menos (fazendo pelo menos 11,25 órbitas por dia) e uma excentricidade

inferior a 0,25.[1] A maioria dos objetos artificiais no espaço exterior estão em LEO, com uma altitude nunca superior a cerca de um terço do raio da Terra.

A órbita LEO considera o intervalo de altitude entre cerca de 350 km e 1500 km. Satélites nesta órbita possuem período de revolução entre 90 e 120 minutos, de forma que eles não ficam estacionários em relação ao planeta. Assim, dizemos que o satélite tem uma janela de "visada", período no qual é possível se comunicar com eles. Em alguns casos, estes períodos são de apenas alguns minutos. A maior parte dos satélites de pequeno porte e educacionais, como CubeSats, CanSats, TubeSats e PocketQubes são lançados nesta órbita e têm operação / vida útil de algumas semanas até alguns anos.

Uma das vantagens da órbita LEO para pequenos satélites, é que com a sua proximidade com o planeta Terra, ainda há uma interface com o campo magnético da Terra, aumentando a proteção e segurança contra radiação e outros efeitos de altitudes maiores. Este também é o motivo da ISS estar nesta órbita, [10]. Inclusive, é a partir da ISS que alguns satélites são lançados. Os veículos levam os satélites até a ISS, e a partir de lá, são separados e colocados em órbita.

CURIOSIDADE

A estação espacial internacional (ISS) e os satélites da StarLink, empresa de Elon Musk, encontram-se em órbita LEO. Alguns satélites LEO, como os satélites StarLink e a ISS podem ser vistos a olho nu! Você pode consultar a previsão de quais satélites estarão visíveis e em qual horário para a sua localização pelo site <https://www.heavens-above.com/>, e tentar visualizar! Vale a pena!

As órbitas também podem ser **equatorial** ou **polar**, dependendo da forma de lançamento. Outras órbitas comuns são a MEO (do inglês *Medium Earth Orbit*) e HEO (do inglês *Highly Elliptical Orbit*). A MEO possui altitude de 10400 km e período de revolução de 6 horas, enquanto a HEO possui uma órbita elíptica com ponto mais próximo da Terra a 1000 km de altitude e ponto mais distante a 39000 km de altitude, além de período de revolução de 12 horas.

1.6 Arquitetura de pequenos satélites

A partir dos requisitos da missão, é possível definir características técnicas da arquitetura de um satélite. Note que esta seção oferece apenas uma breve introdução a cada tema e conexões com os próximos capítulos.

1.6.1 Eletrônica e software embarcado

Um aspecto fundamental de todo satélite é a eletrônica embarcada a bordo, que inclui uma ou mais unidades de processamento, sistema(s) de fornecimento de energia, sensores e atuadores, sistemas de comunicação e o software embarcado de controle, que gerencia todo o funcionamento do satélite.

A unidade de processamento pode ser composta por um microprocessador e/ou mais microcontroladores. Alguns destes dispositivos são projetados especialmente para aplicações espaciais, com robustez à radiação, enquanto projetos de pequeno porte / educacionais utilizam componentes comerciais de prateleira (COTS) ou componentes automotivos. Uma abordagem comum é que o satélite deve possuir um barramento, que é uma estrutura que conecta várias partes, permitindo modularidade e flexibilidade ao projeto. Neste sentido, uma arquitetura típica inclui uma unidade de processamento e cargas úteis (*payloads*) com missões específicas interconectadas através do barramento.

Ainda no âmbito da eletrônica embarcada em um satélite, diversos sensores como câmeras, unidades de medida de dados inerciais (acelerômetros, sensor de campo magnético, giroscópio), dentre outros sensores podem estar presentes. De fato, os sensores são essenciais para muitas missões de observação da Terra ou do espaço. Um outro tipo de sensor tipicamente usado em alguns satélites, é o sensor de estrelas, que observa constelações no céu para que o satélite possa se orientar em relação ao espaço e ao planeta Terra.

Alguns satélites também podem ter atuadores, como dispositivos de propulsão para realizar pequenos ajustes de órbita, dispositivos de controle de temperatura, ou rodas de reação mecânica para controlar a orientação do satélite. Afinal de contas, um satélite de observação da Terra não terá utilidade se não apontar a sua câmera para a Terra, certo?

Os satélites também precisam de fontes de energia: hoje é comum utilizar painéis solares associados a baterias, suprimindo a maior parte da necessidade dos satélites, mas fontes alternativas de energia também podem existir. Por exemplo, existem satélites com fontes de energia elétrica baseadas em energia nuclear. Diversos cuidados devem ser tomados no projeto do sistema de fornecimento de energia, dentre os quais destacamos o cuidado na escolha da bateria, já que alguns modelos de bateria podem estufar e ter funcionamento inadequado em baixa pressão / ambiente de vácuo.

O sistema eletrônico e software de um satélite, também inclui o subsistema de comunicação, essencial para um satélite enviar suas medidas, e receber comandos de controle e ajuste (telemetria e telecomando). De fato, a maioria dos satélites têm missão onde a comunicação de dados é essencial. O projeto do sistema de comunicação de um pequeno satélite é detalhado no Capítulo 4.

Todos aspectos mencionados precisam de uma lógica / inteligência de controle e

orquestração. Ou seja, um maestro que controla a leitura de sensores, acionamento de atuadores, recebe e envia as comunicações, gerencia a bateria, controla a orientação espacial do satélite, etc. Este maestro é o software embarcado, que é detalhado no Capítulo 5.

1.6.2 Mecânico e térmico

A estrutura mecânica / chassis do satélite e seu projeto térmico são essenciais para que a missão realizada pela eletrônica embarcada encontre-se em condições de operação, garantindo integridade física ao satélite e uma temperatura interna adequada com a faixa de operação dos componentes eletrônicos utilizados. O Capítulo 2 detalha características deste aspecto do projeto de satélites.

1.7 Lançamento

Após a definição dos requisitos da missão, diversos aspectos do projeto do nosso pequeno satélite podem ser definidos. Um destes aspectos são as condições de lançamento: data, veículo de lançamento, órbita, dentre outros fatores. Além disso, também deve-se considerar como o satélite será lançado a partir do veículo lançador. Para tanto, existem equipamentos tais como o P-POD (*Poly-Picosatellite Orbital Deployer*), que levam diversos satélites e são responsáveis por liberar estes satélites para o espaço no momento adequado. O Capítulo 3 oferece maiores detalhes sobre o processo de lançamento.

1.8 Integração e testes

Durante o processo de desenvolvimento de um satélite, é necessário realizar uma bateria de testes em solo para assegurar que todos os subsistemas do satélite funcionarão como o planejado durante sua operação. Além disso, a integração do satélite deve ser feita em um ambiente apropriado, para mitigar os riscos de contaminação, pois existem muitos componentes sensíveis, e garantir uma perfeita montagem de todos os subsistemas.

Aqui no Brasil temos o LIT (Laboratório de Integração e Testes) do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), que é considerado um dos maiores laboratórios de integração e testes de satélites do hemisfério sul. Ele fica localizado no interior de São Paulo, na cidade de São José dos Campos. O LIT tem capacidade de testar satélites de diversas dimensões e complexidades. Nesse laboratório foram testados satélites como o PION-BR1, com cerca de 200 gramas (mais à frente falaremos um pouco mais sobre este satélite), o NanoSatC-BR1, de 1 kg, o NanoSatC-BR2, 1,7 kg, e satélites como o CBERS 04A, com aproximadamente 1,8 toneladas.

Antes do satélite ser lançado, é necessário garantir que todos os subsistemas estão funcionando perfeitamente e também certificar que o satélite irá resistir às condições impostas pelo foguete durante o lançamento. Portanto, são realizados diversos testes, sendo os mais comuns:

- Ensaios de vibração e choque;
- Ensaios climáticos e térmicos;
- Ensaios acústicos;
- Ensaios de EMI/EMC (Interferência Eletromagnética / Compatibilidade Eletromagnética).

1.8.1 Ensaios de vibração e choque

Durante o lançamento, a queima do propelente (mistura de combustível e oxidante) e as forças aerodinâmicas atuantes no veículo lançador geram uma alta quantidade de energia vibracional que é transmitida para o satélite. Por isso, uma bateria de testes é realizada em solo, simulando as vibrações causadas pelo lançamento. Também são realizados ensaios de choque, que simulam os choques mecânicos atuantes no satélite, causados principalmente durante a decolagem e no instante de separação das cargas (desacoplamento de *boosters*, estágios e satélite, por exemplo).

1.8.2 Ensaios climáticos e térmicos

Os ensaios térmicos e climáticos têm muitas finalidades diferentes, como: validar o funcionamento dos painéis solares; verificar o carregamento das baterias; e verificar se os componentes irão resistir às variações de altas e baixas temperaturas no ambiente espacial.

1.8.3 Ensaios acústicos

Os ensaios acústicos têm como objetivo simular as vibrações causadas pelos ruídos sonoros produzidos pelo veículo lançador durante o lançamento. Para isso, os satélites são colocados em uma câmara acústica reverberante.

1.8.4 Ensaios de EMI/EMC

Os ensaios de EMI (Interferência Eletromagnética) e EMC (Compatibilidade Eletromagnética) verificam se o satélite ou algum subsistema gera alguma perturbação eletro-

magnética acima do desejado; e se o satélite sofre alguma interferência eletromagnética capaz de ocasionar um mau funcionamento em algum componente ou subsistema.

Além desses ensaios, outros testes são realizados durante todo o ciclo de desenvolvimento de um satélite. E, ao final de cada ensaio, uma minuciosa análise é feita para assegurar que não há falhas estruturais ou eletrônicas em algum componente.

1.9 Operações de satélites

Durante o processo de desenvolvimento e integração, de um satélite, testes funcionais devem ser realizados para validar os aspectos operacionais do satélite e sua capacidade de se comunicar com as Estações Terrenas. A infraestrutura operacional de um satélite em solo deve contar com uma ou mais Estações Terrenas certificadas para controle e recepção dos dados da missão. Nota-se que, dependendo das características orbitais de cada satélite, e locais da Terra, onde estão instaladas as Estações Terrenas, as visadas (janela de tempo) para comunicação com este satélite são limitadas. Assim, mais de uma estação, em diferentes posições do planeta Terra, são utilizadas para aumentar a comunicação / recepção de dados do satélite..

Uma iniciativa interessante para facilitar a operação de satélites radioamadores educacionais é a SatNOGS, [11], uma rede aberta e colaborativa de entusiastas que disponibilizam suas estações base em uma rede global. Por meio do banco de dados de observações da SatNOGS é possível verificar e analisar telemetrias recebidas dos CubeSats brasileiros, em várias partes do mundo, como o NanoSatCBr2, [12], e o FloripaSat-1, [13, 14].

1.10 Estudo de caso: Tancredo-1/ UbatubaSat

O pico satélite Tancredo-1, também conhecido como UbatubaSat, foi desenvolvido por alunos da escola municipal Tancredo Neves, de Ubatuba - SP em um projeto idealizado e coordenado pelo Prof. Cândido Oswaldo Moura, docente desta mesma escola. O projeto também contou com o apoio do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), onde o Prof. Cândido desenvolveu um trabalho de mestrado.

O Tancredo-1 foi desenvolvido no formato *TubeSat*, possuindo 650 gramas, 13 cm de altura e 9 cm de diâmetro. Também transmitiu telemetria utilizando a frequência de 437.200 MHz, e teve apoio da AMSAT-BR, grupo de trabalho da Liga de Amadores Brasileiros de Rádio Emissão (LABRE).

Para maiores informações sobre o Tancredo-1, recomenda-se a consulta aos sites e documentário:

- First on-orbit results from the Tancredo-1 picosat mission, [15];
- Satélite de escola pública de Ubatuba, a bordo de foguete japonês, será enviado nesta sexta-feira para ISS, [16];
- Picosatélite Tancredo-1 tem sinais captados em diversas partes do planeta, [17];
- Ubatuba Sat – Uma Jornada de Conhecimento, [18].

1.11 Estudo de caso: PION-BR1

O satélite PION-BR1, [19], foi totalmente desenvolvido no Brasil pela startup espacial PION com o foco nos testes de subsistemas, incluindo o de comunicação, em ambiente espacial. O PocketQube PION-BR1 é um picosatélite com formato de um cubo com 5 centímetros de aresta com a missão radioamadora aliada à educação com o objetivo de promover o acesso às tecnologias espaciais aos alunos e a interação entre os alunos e a comunidade de radioamadores. O PION-BR1 possui 200 gramas de massa e opera com telemetria utilizando a frequência de 437.300 MHz.

A missão principal é um experimento digital de armazenamento e envio de mensagens usando o protocolo NGHam. A missão secundária é comparar e avaliar o desempenho do experimento *store-and-forward* usando as modulações GFSK e LoRa.

Para apoiar as atividades em sala de aula e STEM, outros objetivos de missão foram incluídos no projeto:

- Avaliação da atitude do PocketQube em ambiente espacial;
- Avaliação da temperatura ambiente em que o satélite está inserido; e
- Coleta de dados de um experimento de torque magnético (*magnetorquer*).

O código-fonte do projeto está publicado na plataforma aberta de compartilhamento de códigos de programação GitHub. O projeto também oferece a oportunidade para as comunidades educacionais e de rádio amador construírem seus próprios satélites usando a base de conhecimento do projeto PION-BR1.

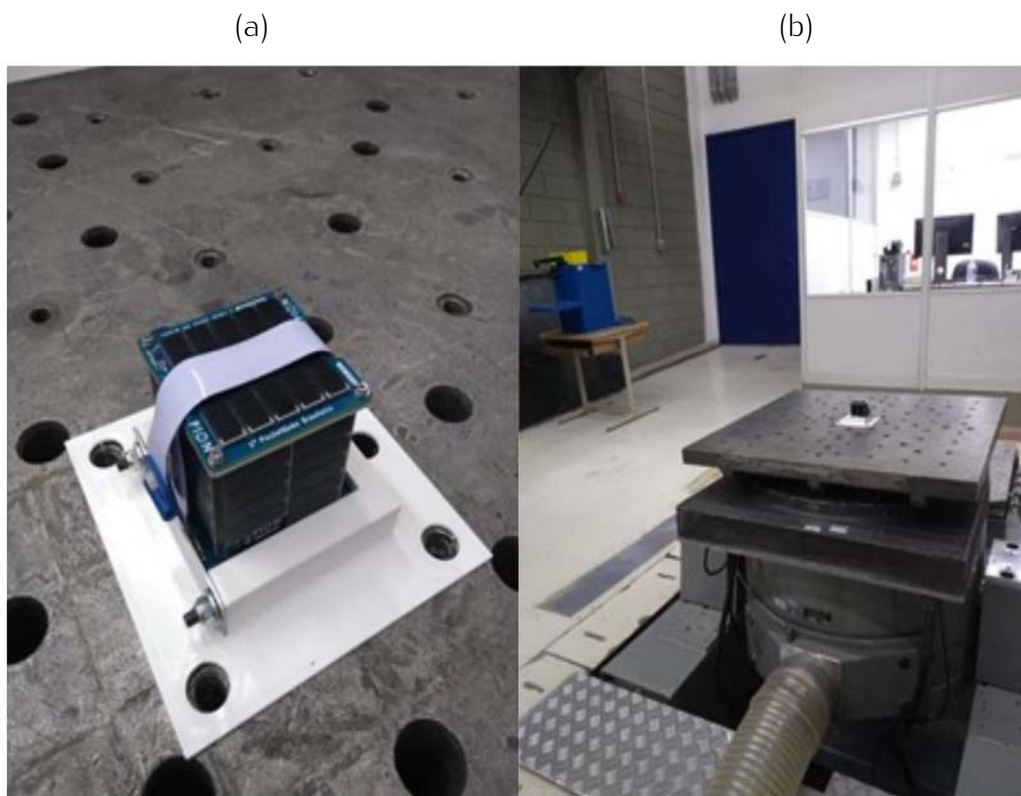
O satélite foi lançado em janeiro de 2022 em parceria com a Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), a Olimpíada Brasileira de Satélites MCTI (OBSAT MCTI), o Instituto Mauá de Tecnologia (IMT), o Desafio Espacial da América Latina (LASC), a AMSAT-BR, organização autônoma e informal de radioamadores, e a Liga de Amadores Brasileiros de Rádio Emissão (LABRE).

Figura 1.1: (a) Satélite PION-BR1 durante integração na sala limpa do Laboratório de Integração e Testes (LIT). (b) Equipamento para teste vácuo-térmico preparado com o satélite PION-BR1 para testes.



Fonte: Imagens cedidas pela PION Labs Engenharia Ltda

Figura 1.2: (a) Satélite PION-BR1 no equipamento para realização de teste de vibração aleatória. (b) Equipamento do Instituto Brasileiro de Ensaios de Conformidade (IBEC) utilizado para testes mecânicos do PION-BR1.



Fonte: Imagens cedidas pela PION Labs Engenharia Ltda

Referências

- [1] D. STILLMAN, "What is a satellite?" <https://www.nasa.gov/audience/forstudents/5-8/features/nasa-knows/what-is-a-satellite-58.html>, 2014. Acesso em: 05 nov. 2021.
- [2] G. KONECNY, "Small satellites – a tool for Earth observation?," in *ISPRS CONGRESS*, vol. 4 of 7, pp. 12–23, 2004.
- [3] AMSAT-BR, "Satélites radioamadores." <http://amsat-br.org/>, 2021. Acesso em: 08 nov. 2021.
- [4] LABRE, "Labre – liga de amadores brasileiros de rádio emissão." <https://labre.org.br/faq-2/>, 2021. Acesso em: 08 nov. 2021.
- [5] INPE, "Missão do NanosatC-BR1." http://www.inpe.br/sul/nanosat/missao/nanosatc_br1.php, 2021. Acesso em: 17 nov. 2021.
- [6] C. CAPPELLETTI, S. BATTISTINI, and B. MALPHRUS, *CubeSat Handbook: From Mission Design to Operations*. Academic Press, 1st ed., 2020.
- [7] G. STAM, "Uma falha no campo magnético da Terra passeia sobre o Brasil," *Pesquisa FAPESP*, 2021. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/uma-falha-no-campo-magnetico-da-terra-passeia-sobre-o-brasil/>.
- [8] INPE, "Primeiros sinais do NanoSatC-BR2 recebidos com sucesso." http://www.inpe.br/sul/nanosat/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=5749, 2021. Acesso em: 17 nov. 2021.
- [9] "Universe Today – What is Low Earth Orbit?" <https://www.universetoday.com/85322/what-is-low-earth-orbit>, 2017. Acesso em: 07 nov. 2021.
- [10] S. ANTUNES, *DIY Satellite Platforms: Building a Space-Ready General Base Pico-satellite for Any Mission*. Maker Media, Inc, 1st ed., 2012.
- [11] "SatNOGS – Open Source global network of satellite ground-stations." <https://satnogs.org>, 2021.
- [12] "SatNOGS Network Observations – NanoSatC-BR2." <https://network.satnogs.org/observations/?norad=47950>, 2022.
- [13] "FloripaSat-1: Uma missão CubeSat brasileira, desenvolvida por estudantes universitários." <https://www.universetoday.com/85322/what-is-low-earth-orbit>, 2021.
- [14] "SatNOGS Network Observations – FloripaSat-1." <https://network.satnogs.org/observations/?norad=44885>, 2022.

- [15] A. TIKAMI, C. O. MOURA, and W. A. SANTOS, "First on-orbit results from the Tancredo-1 picosat mission," in *IAA Latin American CubeSat Workshop and the IAA Latin American Symposium on Small Satellites*, vol. 1, 2017.
- [16] INPE, "Satélite de escola pública de Ubatuba, a bordo de foguete japonês, será enviado nesta sexta-feira para ISS." http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=4355, 2016.
- [17] AEB, "Picosatélite Tancredo-1 tem sinais captados em diversas partes do planeta." <https://www.gov.br/aeb/pt-br/assuntos/noticias/picosatelite-tancredo-1-tem-sinais-captados-em-diversas-partes-do-planeta>, 2017.
- [18] "Ubatuba Sat - uma jornada de conhecimento." https://www.youtube.com/watch?v=6_-EYAETjcE, 2016.
- [19] "Satélite PION-BR1." <http://www.pionlabs.com.br>, 2022.