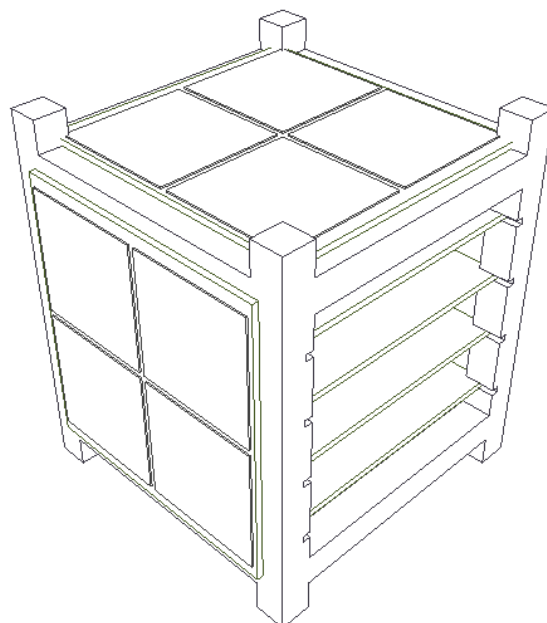


Proposta de Projeto de Cubesat para a Olimpíada Brasileira de Satélites MCTI, categoria N3.

Proposta de Projeto de Cubesat para estudo de efeitos de radiação ionizante em componentes semicondutores comerciais: TardiSat.



Proponentes: Mateus José Prado Pereira

Pietro Pereira Bertuzzo

Ítalo Gabriel Bezerra

Tutor: José Eduardo Bertuzzo

Maio de 2021

1. Motivação

A órbita da Terra pode ser um ambiente hostil, com a presença de diferentes tipos de radiação. Essa radiação pode se tornar um empecilho para o bom funcionamento dos componentes dos equipamentos, pois elas podem afetar as propriedades elétricas de circuitos integrados, e como resultado dessas mudanças ocasionar em falhas em subsistemas. Então o estudo sobre efeitos da radiação sobre dispositivos eletrônicos são uma peça fundamental para o desenvolvimento de equipamentos menos sensíveis a ela.

Para esses estudos são utilizados desde simulações computacionais até testes controlados em laboratórios. Por outro lado seria ainda melhor se esses testes fossem realizados no próprio ambiente, porém utilizar equipamentos como os próprios satélites para esse tipo de experimento seria inviável.

2. Proposta

A proposta desse projeto é a utilização de um CubeSat para testes experimentais desde componentes até circuitos integrados comerciais em órbita terrestre, à fim de estudar o seu comportamento nesse ambiente, uma vez que o CubeSat possui diversos sensores que podem ser utilizados na leitura do ambiente e análise de possíveis fontes de erro, além de testes de resistência a diferentes tipos de radiação.

Esse objetivo não é particularmente novo, sendo esse um dos objetivos dos satélites NanoSatC-Br1 e NanoSatC-Br2, lançados pela parceria entre o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e a Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), nos quais circuitos integrados projetados com técnicas em design de circuito para resistência à radiação. Esta proposta difere-se da empregada nos projetos mencionados por focar em componentes comerciais (como microcontroladores, FPGAs, memórias e outros), buscando aprofundar na usabilidade destes em missões de baixo custo, como de nanosatélites (entre 1kg e 10kg).

Além disso, propõem-se realizar o desenvolvimento de todos os subsistemas necessários do projeto, avaliando os já fornecidos pelo CubeSat, minimizando assim o custo do projeto e criando *know-how* de desenvolvimento de *hardware* e *software* para aplicações espaciais em território nacional.

Para cumprir essa função, o satélite precisará ser lançado em baixa órbita terrestre (LEO), onde o sistema de controle e avionica (Avionics and Control System - ACS) deverá executar uma série de testes comunicando-se com o sistema de carga e testes (Payload and Tests System - PTS), onde estarão localizados os componentes sob teste. Aliado à isso, haverá sensores para determinação das condições de operação do satélite, como:

- Temperatura em diversos pontos do satélite;
- Atitude e orientação;

- Campo magnético;
- Grandezas elétricas de todos os subsistemas;
- Entre outros.

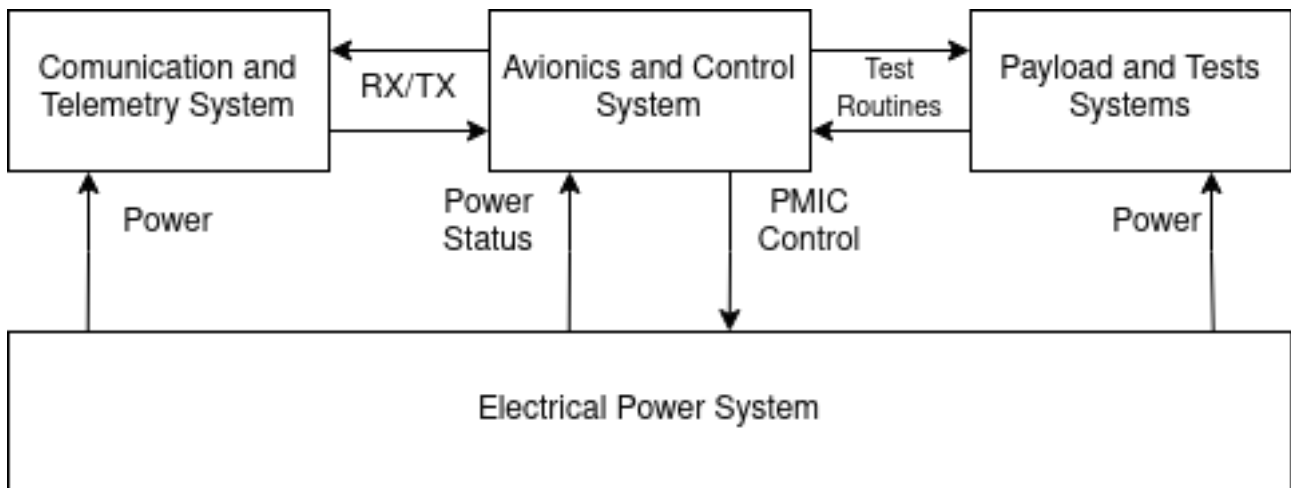
3. Subsistemas

O projeto pode ser dividido em 4 sistemas principais, que são responsáveis pelas principais funcionalidades do satélite, estes são:

- Subsistema de Controle e Aviônica, ou Avionics and Control Subsystem (ACS);
- Subsistema de Energia Elétrica, ou Electrical Power Subsystem (EPS);
- Subsistema de Carga de Missão, ou Mission Payload Subsystem (MPS);
- Subsistema de Telemetria, Rastreo e Comando, ou Telemetry, Tracking and Command Subsystem (TT&C);

Uma visão geral de engenharia de sistemas pode ser visualizada na Figura 1.

Figura 1: Visão geral dos sistemas do projeto e suas interfaces generalizadas.



Fonte: Autores.

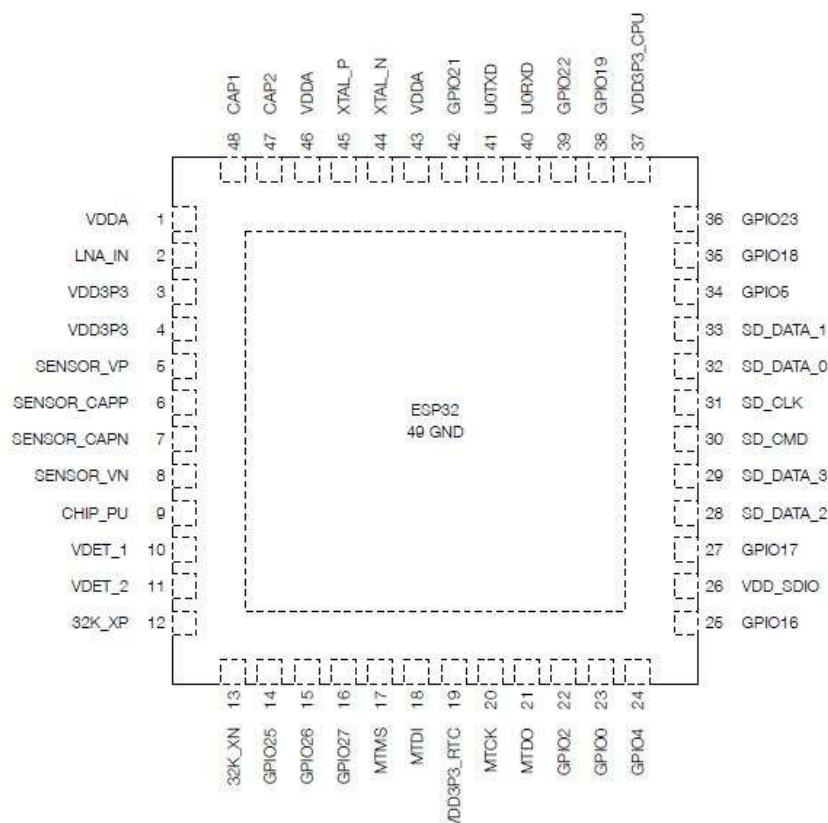
3.1. Subsistema de Controle e Aviônica (ACS)

O Sistema de Controle e Aviônica (ACS) é responsável por controlar tanto as funções intrínsecas do satélite, como aquisição de todos sensores embarcados, realização dos testes do MPS, recebimento de telecomandos e envio de telemetria e resultados dos testes para análise para o TT&C.

Seu principal componente é o microcontrolador, Figura 2 que irá receber todas essas informações, tratá-las e enviá-las para os outros subsistemas. Os principais sensores que o ACS ficará responsável será:

- **Temperatura:** Será utilizado na telemetria para obter informações do ambiente e observar o comportamento do circuito estudo;
- **Radiação:** Assim como os sensores de temperatura será utilizado na telemetria e observação do comportamento do circuito sob efeito da radiação espacial;
- **Nível da bateria:** Essencial para que o controle das baterias seja eficiente, e assim fazer com que a missão dure o suficiente para os estudos;
- **Navegação Inercial:** é composto pelos sensores inerciais (giroscópio, acelerômetro e magnetômetro), a partir deles é possível medir a orientação do CubeSat.

Figura 2: Pinagem do chip ESP32.



Fonte: Gustavo Abreu Murta, José (2018). Conhecendo o ESP32 – Introdução (1).

3.2. Subsistema de Energia Elétrica (EPS)

O Subsistema de Energia Elétrica (EPS) é responsável por captar energia, através de painéis fotovoltaicos, e controlar o fornecimento de potência para os diversos sistemas e

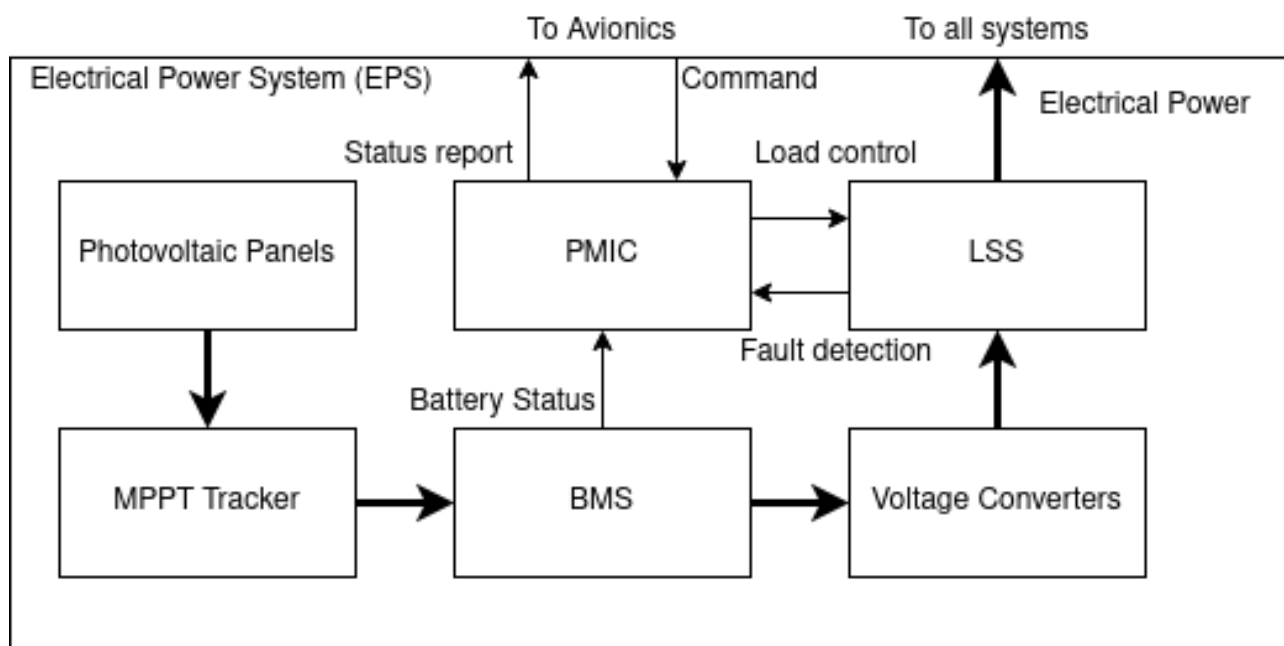
subsistemas. Dessa forma, é essencial que o EPS implemente uma forma de controle de bateria, através do Subsistema de Gerenciamento de Bateria ou Battery Management Subsystem (BMS). Sua função é carregar as baterias por controladores Maximum Power Point of Tracking (MPPT) e garantir operação dentro de parâmetros de tensão e corrente especificados para longevidade da bateria, maximizando vida útil do satélite e potência disponível para fornecimento.

Há poucas informações no EPS fornecido, mas idealmente, além do BMS, seria interessante Subsistema de Chaveamento de Carga, ou Load Switch Subsystem (LSS). Sua função seria poder interromper o fornecimento de potência aos diferentes subsistemas do satélite em caso de uma falha causar um curto, que poderia comprometer todo o EPS e o satélite por consequência. Além disso, interromper o fornecimento de potência para sistemas não essenciais pode aumentar a longevidade do satélite caso haja alguma falha que diminua a quantidade de potência disponível. A detecção de curto pode ser feita através de um resistor *shunt* ligado à um comparador analógico.

Além disso, seria interessante que o EPS possuísse um sistema controlador próprio, um circuito integrado de gerenciamento de potência ou power management integrated circuit (PMIC). Este poderia ser implementado com um microcontrolador, possibilitando comunicação com o ACS através de comunicação serial ou algum protocolo mais resiliente como CAN. Assim, o PMIC pode analisar o estado atual do sistema e controlar o LSS de acordo, reportando ao ACS caso muitas falhas sejam detectadas e desligando os subsistemas afetados até que a situação seja avaliada pelos operadores.

Um diagrama da proposta do subsistema EPS, com seus componentes e suas interfaces, pode ser visualizado na Figura 3.

Figura 3: Subsistema EPS proposto para o projeto

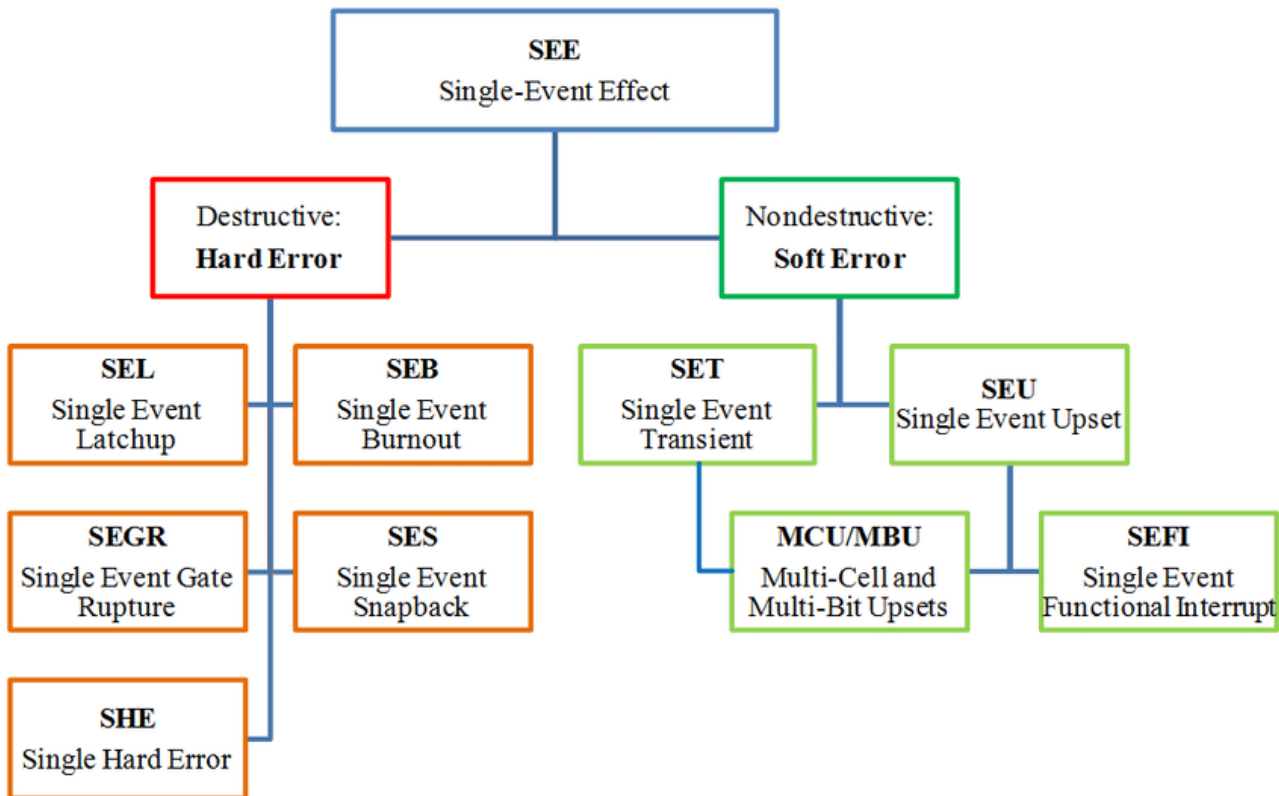


Fonte: Autores.

3.3. Subsistema de Carga de Missão (MPS)

O Subsistema de Carga de Missão (MPS) é responsável por todos os testes que serão feitos conforme descrito na proposta do projeto. Nele terão diversos componentes como memórias, FPGAs e outros circuitos integrados cujo funcionamento será monitorado pelo ACS. Nestes, será estudado o efeito mensurável de exposição à radiação ionizante com o passar do tempo nas diferentes tecnologias de circuitos integrados (CMOS, TTL, etc) e diferentes densidades de integração. Também será monitorado a frequência de eventos de efeito único, ou *single effect event* (SEE) nas diferentes tecnologias e densidades. Os diversos tipos de SEEs, divididos em destrutivos e não destrutivos, podem ser visualizados na Figura 4. Vale lembrar que os eventos destrutivos são menos frequentes do que os não destrutivos.

Figura 4: Diferentes classificações de eventos de efeito único (SEE)



Fonte: Gomez Toro, Daniel. (2014). Temporal Filtering with Soft Error Detection and Correction Technique for Radiation Hardening Based on a C-element and BICS.

Espera-se também incluir circuitos integrados de grau militar que, sendo baseados em tecnologia silício em isolante, ou silicon on isolator (SOI), são teoricamente suficientemente protegidos contra estes efeitos. Isso permitiria uma análise comparativa entre as tecnologias especializadas e comerciais/industriais.

3.4. Subsistema de Telemetria, Rastreo e Comando (TT&C)

O Subsistema de Telemetria, Rastreo e Comando (TT&C) é responsável por toda a comunicação com as estações de base. Mais especificamente, o TT&C permite o envio de telecomandos para o ACS, o envio de telemetria para a equipe e o rastreo do satélite conforme sua órbita.

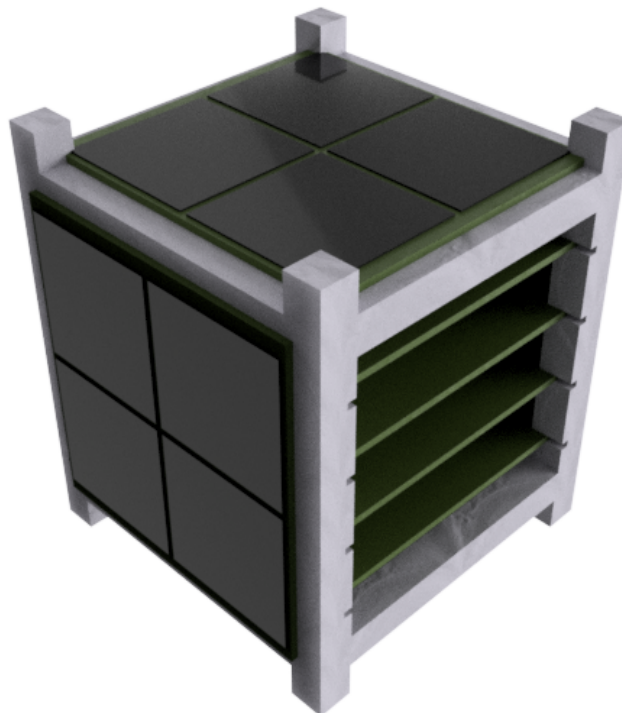
Para isso, será utilizada um rádio que possa operar em modo, pelo menos, *half-duplex*, ou seja, permite comunicação bidirecional. Não há informações no rádio fornecido, se fornecido, então a proposta inicial é utilizar *LoRa* (ou *Long Range*) como camada física, pelo seu baixo custo de implementação pela distancia de propagação adquirida. Outro ponto interessante é a relativa imunidade do *LoRa* à desvios de frequência, algo que pode afetar a comunicação de um satélite, considerando os gradientes de temperatura e o efeito doppler, entre outras coisas. Isso é graças a *chirp spread spectrum*, forma de modulação utilizada.

Utilizando *LoRa*, é possível aproveitar-se de comunidades como TinyGS, uma abordagem comunitária e distribuída para aumentar a cobertura de estações de base.

4. Estrutura

Um esboço da estrutura do CubeSat está apresentado na Figura 5, abaixo. Essa estrutura é inspirada em CubeSat já existentes.

Figura 5: Esboço da estrutura do CubeSat



Fonte: Autores.

A ideia do projeto é que o esqueleto seja metálico, por exemplo, alumínio, para dessa forma ter uma razoável resistência durante o transporte. A organização das placas de circuito impressos (PCIs) é feita em forma de nichos, para que seja mais compacto, e nas superfícies são dispostos sistemas fotovoltaicos e possíveis sensores, para dessa forma fazer recarga das baterias e medições.

Os PCIs principais do CubeSat estarão um pouco menos suscetíveis radiação através de uma proteção metálica (não representada na figura 5), enquanto os PCIs de testes não terão essa proteção, para que dessa forma estejam mais vulneráveis as hostilidades do ambiente.

5. Lista de Materiais

A Lista de materiais simplificada está dividida de acordo com os subsistemas planejados. Esta lista é para fins de referência apenas e não necessariamente representa a *bill of materials* (BOM). Dessa forma, esta está sujeita à mudanças.

Subsistema de Controle e Avionica (ACS):

- 1x PCI;
- 1x Microcontrolador 32 bits;
- 10x Sensor de temperatura;
- 1x Sensor de medidas inerciais;
- 1x Sensor de campo magnético;
- 1x Sensor de radiação;
- 1x Memória não volátil;

Subsistema de Energia Elétrica(EPS):

- 1x PCI
- 6x Conjunto de painéis solares para faces do Cubesat;
- 2x Rastreador MPPT;
- 2x Circuito BMS;
- 2x Baterias de Lítio-Íon 4,2V;
- 1x Circuito de conversores de tensão;
- 1x Circuito de chaveamento de cargas (LSS);

- 1x Microcontrolador 32 bits;

Subsistema de Carga de Missão (MPS):

- 1x PCI;
- 6x Circuitos para teste;

Subsistema de Telemetria, Rastreo e Comando(TT&C):

- 1x Módulo de comunicação *LoRa*;
- 1x Antena Omnidirecional;

Estação de Base:

- 1x Módulo de comunicação *LoRa*;
- 1x Computador pessoal;
- 1x Software para comunicação e controle de missão;

6. Cronograma

Tabela 1: Cronograma de Atividades do Projeto.

	Bimestres					
Etapas	1º	2º	3º	4º	5º	6º
Pesquisa	X	X	X			
Projeto		X	X	X		
Testes				X	X	X
Revisão						X