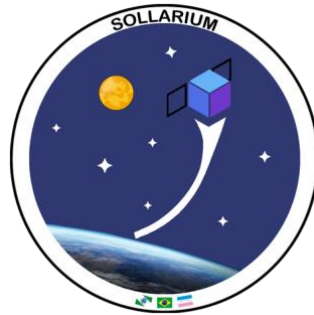


Missão Sollarium



Aluno(a) 1: Sabrina Torres da Rocha Nunes Antônio

Aluno(a) 2: Kamila dos Santos Marinho

Tutor(a): Lucas Kusman Leal

2022

Resumo

Nos últimos anos, o número de mecanismos que vêm sendo incorporados em meios vulneráveis ao Clima Espacial aumentou bastante. Tecnologias como satélites, transmissão de rádio e sistema GPS são constantemente afetadas pelos efeitos de fenômenos solares, principalmente quando estão em regiões onde o campo magnético é mais frágil, como no caso da Anomalia Magnética do Atlântico Sul (SAMA) que cobre boa parte do Brasil. Com o propósito de fomentar pesquisas no ramo das ciências espaciais, a missão Sollarium consiste na elaboração de um nanossatélite, tipo CubeSat 1U, para a realização do monitoramento não apenas da Magnetosfera do planeta Terra, a partir da captura e processamento de dados do campo magnético com o uso de um magnetômetro, como também da SAMA, a fim de entender sua influência nesse contexto.

Palavras-chave: Satélites. CubeSat. Anomalia Magnética do Atlântico Sul. Clima Espacial. SAMA.

1 Declaração de problema da missão

Com cerca de 150 milhões de quilômetros de distância, o Sol é a estrela mais próxima, sendo responsável por não só manter o todo o Sistema Solar unido, fornecer luz, energia e calor; como também por gerar o clima espacial. Logo, é a estrela mais observada e estudada, já que se torna mais interessante por ter um grande impacto na vida dos seres humanos.

Durante séculos, a crença de que o Sol era algo perfeito e constante predominava na sociedade, sendo fomentada principalmente pelo famoso filósofo Aristóteles e algumas religiões. Contudo, apesar de que "manchas imperfeitas" já tivessem sido observadas por Galileu por volta do século XVII, foi apenas em XIX que a comunidade científica começou a reconhecer o Sol como algo com uma característica mais dinâmica (USOSKIN, 2017). Com o desenvolvimento do conhecimento, o Sol passou a ser estudado cada vez mais detalhadamente, uma vez que o entendimento das repercussões que ele tem sobre o cotidiano da vida na Terra foi se ampliando, principalmente em questão da própria produção tecnológica.

1.1. Atividade Solar associada ao Clima Espacial

A atividade solar inclui fenômenos transitórios ativos e de longa duração na superfície solar, como erupções solares espetaculares, manchas solares, proeminências, CMEs, etc (USOSKIN, 2017); porém nem todos influenciam o planeta Terra de maneira significativa. A partir disso, as condições dinâmicas no ambiente espacial entre Sol e Terra é chamado de "Clima Espacial", onde engloba os fenômenos energéticos que ocorrem no Sol que podem influenciar o desempenho e a confiabilidade de sistemas tecnológicos espaciais e terrestres e que também podem afetar a vida e saúde humana (SCHWENN, 2006). Dentre esses fenômenos, os principais são:

- Erupções solares: Intensas explosões de radiação a partir da liberação de energia eletromagnética que ocorrem na superfície solar. São os maiores eventos explosivos do Sistema Solar e seus efeitos podem ser notados com cerca de minutos.
- CMEs (Ejeções de Massa Coronal): São emissões (remetem a grandes nuvens) violentas de plasma e campo magnético originadas nas regiões da atmosfera solar. Fluindo através do meio interplanetário, as CMEs podem canalizar partículas e impactar o planeta Terra se estiver em seu caminho.
- Fluxos de vento solar: Surgidos em áreas do Sol conhecidas como buracos coronais, os fluxos de ventos solares são emissões de plasma que podem atingir a Terra dependendo da região do sol em que se originam, geralmente próximo ao equador solar.
- Partículas energéticas: São partículas altamente carregadas de energia que são liberadas em regiões onde ocorrem fenômenos como as erupções solares e as CMEs. Fluxos de vento solar podem transportar essas partículas em direção a Terra resultando no impacto e aumento na intensidade de radiação terrestre.

1.2. Magnetosfera

Os fenômenos produzidos pelo Sol podem se revelar extremamente nocivos aos seres vivos e a tecnologia, uma vez que transportam radiação e partículas carregadas. Contudo, o planeta Terra possui um "escudo" capaz de fornecer proteção e assim garantir as condições necessárias para que possa existir vida e para que a produção tecnológica possa ser introduzida a ambientes mais externos à superfície com mais segurança.

O planeta Terra é como um ímã gigantesco, ele possui ao um campo magnético ao seu redor que forma uma "bolha", conhecido como Magnetosfera, que atua como um obstáculo para fenômenos do clima espacial. Fluxos de vento solar recheados de partículas carregadas não atravessam facilmente essa barreira magnética, o que faz com que fiquem presos ao redor do planeta.

No entanto, fenômenos como o vento solar também carrega uma parte do campo magnético do Sol que pode perturbar a magnetosfera esticando o campo dipolar, comprimindo-o lateralmente em direção ao Sol e esticando-o em uma longa cauda onde as linhas de campo se fecham a distâncias muito longas (TÓTH, SOKOLOV, GOMBOSI, CHESNEY, CLAUER, DE ZEEUW, HANSEN, KANE, MANCHESTER, OEHMKE & POWELL, 2005). Os principais efeitos desse tipo de interação, nas condições certas, são as auroras boreais e austrais, tempestades ionosféricas e tempestades geomagnéticas.

1.3. SAMA

Embora o campo magnético possa representar uma proteção contra alguns eventos provocados pelo sol, existem algumas áreas em que essa proteção é mais frágil, as quais são chamadas de anomalias magnéticas.

A Anomalia Magnética do Atlântico Sul ou SAMA (South Atlantic Magnetic Anomaly), é uma das anomalias mais notáveis, estando localizada sobre o Atlântico Sul e se estendendo desde uma região do Continente Africano até uma grande parte do Brasil, sendo mais profunda nas regiões brasileiras Sul e Sudeste.

Como o campo magnético é mais frágil, a região da SAMA é de intensa presença de radiação mais próxima da superfície. Ocorrendo porque partículas cósmicas conseguem penetrar mais facilmente, onde gera um aumento do fluxo cósmico que pode provocar problemas em objetos que orbitam a Terra, como satélites e estações espaciais, e na transmissão e recepção de dados feitos na superfície (HARTMANN, 2005).

1.4. Problemas com a Tecnologia

Os efeitos da interação da magnetosfera com a atividade solar podem ser problemáticos em uma visão tecnológica. As Tempestades Geomagnéticas são um ótimo exemplo, uma vez que os distúrbios no campo magnético são capazes de induzir correntes de baixa frequência que podem atravessar transformadores de alta tensão causando uma severa saturação magnética no núcleo ferromagnético, de gerar ruídos eletromagnéticos ao interagir com componentes elétricos de potência através de cabos expostos (MÂNICA, 2018), de desviar coordenadas de Sistema de Posicionamento Global (GPS), de afetar comunicações via satélite (sinais de navegação, televisão e comunicações), de interromper a comunicação de ondas de rádio de alta frequência, de degradar painéis solares de satélites, de possibilitar o aumento na dosagem total de ionização e de induzir transitórios indesejados como íons carregados atravessando dispositivos (ATTIA, 1999).

Apesar de que o fato do Brasil se encontrar em uma região tropical poderia fazer com que estivesse menos sujeito a fenômenos como as GICs (Correntes Geomagneticamente Induzidas) onde só tempestades magnéticas extremamente intensas

poderiam produzir efeitos significativos, a Anomalia Magnética do Atlântico Sul faz com que a região brasileira seja uma exceção, estando assim sujeita à ocorrência das GICs, no qual as principais repercussões em sistemas elétricos são: Excitação de corrente alternada, colapso de tensão e introdução de harmônicos em linhas de transmissão (HARTMANN, 2005). O fluxo de partículas na SAMA a torna um ambiente perigoso para satélites quando passam por ela, pois a radiação representa um risco para os componentes e equipamentos eletrônicos. Um bom exemplo é o do satélite japonês de raio-x Hitomi que - foi projetado para estudar buracos negros e aglomerados de galáxias - ao passar pela anomalia, sofreu uma pane e se despedaçou por causa do bombardeamento de partículas que recebeu (VASCONCELOS, 2018).

Tendo em vista a problemática que relaciona a questão tecnológica, a Anomalia Magnética do Atlântico Sul e os fenômenos gerados pela atividade solar que compõem o clima espacial, é evidente a importância de se desenvolver coleta e análise de dados, pesquisas e estratégias a fim de se minimizar os prejuízos, uma vez que a dependência tecnológica é tão perceptível na sociedade moderna, o que torna de interesse não somente científico, como também de interesse internacional, industrial, econômico e público. Portanto, as principais condições para alcançar este objetivo seriam não somente voltadas à engenharia dos mecanismos, como em satélites onde deveria estabelecer a construção de sistemas mais robustos e resistentes à precipitação de partículas com computadores de bordo que permitem a operação por mais tempo sem necessidade de controle (VASCONCELOS, 2018); como também no monitoramento do clima espacial e da anomalia a fim de se fazer previsões.

2 Objetivos da missão e identificação do mérito científico

Esse trabalho consiste na idealização e desenvolvimento de um satélite miniturizado - classe dos nanossatélites tipo CUBESAT 1U - voltado para a contribuição no desenvolvimento do conhecimento sobre Clima Espacial em território brasileiro. Levando em consideração não só a relevância da busca de maneiras de se reduzir os prejuízos de fenômenos solares em tecnologias espaciais, como também a influência da Anomalia Magnética do Atlântico Sul (SAMA) que representa um ambiente propício à efeitos desses fenômenos; a Missão Sollarium se dedica na captura e processamento de dados magnéticos, do campo magnético terrestre, através do uso de um magnetômetro a fim de monitorar não somente a magnetosfera do planeta, buscando identificar padrões e variabilidade da intensidade magnética medida, como também monitorar a região da própria SAMA, procurando investigar mais sobre seu comportamento e implicações. Além disso, a missão conta como objetivo secundário a análise da composição e variação da atmosfera terrestre por meio do uso de sensores de temperatura, umidade e demais detectores de gases.

2.1. Nanossatélite Científico Brasileiro - NANOSATC-BR1

Na pesquisa sobre a viabilidade técnica da utilização de um nanossatélite tipo CubeSat para a realização de monitoramento magnético, foi identificada uma similaridade entre os propósitos da Missão Sollarium com a Missão NANOSATC-BR1, lançado em 2014, que é o primeiro CubeSat brasileiro - desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) em parceria com a Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) e também com a participação do Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA) - que coletou dados do Campo Magnético Terrestre principalmente na área da SAMA, em região brasileira, com a utilização de um magnetômetro de três eixos do modelo XI Xensor

Integration/XEN-1210 (MÂNICA, 2018). Com isso, o principal objetivo desse projeto foi o monitoramento em tempo real, no âmbito do Geoespaço e Clima Espacial, dos distúrbios observados na Magnetosfera Terrestre e da participação de partículas energéticas sobre o território nacional, com a determinação de seus efeitos nas grandes regiões da Anomalia Magnética do Atlântico Sul e do Eletro jato da Ionosfera Equatorial (INPE/CRS, 2010).

3 Funções e responsabilidades da equipe

Tutor: Lucas Kusman Leal

Atualmente estagiário em desenvolvimento web e cursando Bacharelado em Sistemas de Informação, atuando no projeto Sollarium no desenvolvimento de software e design.

Integrante: Kamila

Estudante formada no ensino médio, atuando no projeto Sollarium no desenvolvimento de conteúdo audiovisual, design do usuário, pesquisa e escrita científica.

Integrante: Sabrina

Atualmente possui o ensino médio completo mas ainda não ingressou em um curso de ensino superior, atuando no projeto Sollarium no desenvolvimento de pesquisa e escrita científica.

4 Projeto conceitual

- **Pesquisa**

A fim de se entender sobre a viabilidade e aplicabilidade da ideia de projeto inicial em uma missão real com um nanossatélite, foi primeiramente realizada uma revisão bibliográfica acerca do tema.

A pesquisa foi feita através de artigos científicos e jornais, onde foi usada a metodologia de fichamento para organizar as referências e pontos chaves. A partir disso, o estudo abrangeu desde a parte teórica mais básica sobre o Sol até as tecnologias que já são aplicadas na detecção e monitoramento de fenômenos solares.

- **Hardware**

O hardware completo do CubeSat usado para a realização desse trabalho foi fornecido pela organização da OBSAT (Olimpíada Brasileira de Satélites), o qual consiste em um kit fabricado pela startup espacial PION com um software embarcado que já disponibiliza uma conexão wifi com o satélite e uma página web de controle e visualização dos dados que estão sendo captados pelos sensores. O hardware do nanossatélite conta com:

1. Especificações e Descrição

Microcontrolador: ESP 32 (32-Bit / Dual Core / 240 MHz)

Tensão de Operação: 3.3 V

Bateria: Li-Po 3.7V / 400mah

Memória Flash: 4 Mb

Armazenamento Externo: Cartão microSD até 16 Gb

Wi-Fi: 802.11 b/g/n 2.4 GHz ~ 2.5 GHz

Interface de Programação: Micro USB

2. Sensores e Faixa de Operação

Temperatura: -40 a 125°C

Umidade: 0 - 100 %

Pressão: 300 - 1100 hPa

Luminosidade: 0 - 100 %

Gás Carbônico: 400 - 29206 ppm

Giroscópio: ± 250 , ± 500 , ± 1000 , e $\pm 2000^\circ/\text{seg}$

Acelerômetro: $\pm 2g$, $\pm 4g$, $\pm 8g$ e $\pm 16g$

Magnetômetro: $\pm 4800 \mu T$

Nível de Bateria: 0 - 100 %

Embora os dados de todos os sensores sejam coletados, é importante destacar que os seguintes sensores são os mais essenciais: acelerômetro, magnetômetro, giroscópio, temperatura, bateria, umidade e pressão - as respectivas variáveis são mostradas na **Figura 2** no **tópico 5** deste trabalho.

● Sistema Embarcado

O software embarcado foi desenvolvido no próprio sistema, a linguagem usada foi Micropython criando um programa imperativo que faz a leitura dos dados de sensores, formatação das variáveis locais, a transmissão e o armazenamento.

Maiores informações sobre o programa estão disponíveis no **tópico 5.4**.

● Plataforma Web para Dados

Pensando na possibilidade de armazenar e exibir os dados coletados com maior facilidade, foi criada uma plataforma web de maneira que qualquer pessoa possa acessá-la. Aqui está uma breve descrição:

1. A plataforma conta com um sistema de login a fim de se ter um controle de registros e acessos.
2. Inicialmente é apresentada uma breve introdução sobre o projeto e o conceito dos

componentes de um CubeSat.

3. Na parte de "Data" é possível acessar os dados dos testes já realizados. Existe a opção de apenas ver ou então fazer o download.
4. Também existe a possibilidade de visualizar os dados em formato e gráficos.

Maiores detalhes sobre a plataforma podem ser encontrados no **Apêndice F**.

- **Testes**

Para testar a eficiência do satélite, foram realizados alguns testes, os quais são:

1. Robustez mecânica
2. Robustez eletrônica e magnética
3. Robustez térmica
4. Captura de dados de missão
5. Armazenamento de dados
6. Transmissão de dados

Maiores detalhes sobre os resultados e as metodologias aplicadas nos testes podem ser encontrados no **tópico 6**. Mais material e exemplos de testes podem ser encontrados nos **Apêndices D e G**.

5 Detalhes operacionais

5.1 Detalhes dos subsistemas

Subsistema de Telemetria, Rastreo e Comando

Este subsistema é responsável por registrar e enviar os dados sobre a atitude do satélite e o seu estado atual, ou seja, obter os dados dos sensores de Acelerômetro e Giroscópio para determinar sua atitude, e os valores dos sensores de temperatura, pressão e nível de bateria como requisitos básicos para atestar seu pleno funcionamento.

Computador de Bordo

O computador de bordo é o que gerencia a interação entre o sistema embarcado e o restante do hardware como os sensores. Todo o software é executado a partir da sua CPU, que é responsável por gerir os recursos e executar as funções de leitura de sensores, armazenamento e transmissão de dados.

Subsistema de Energia

Todo o subsistema de energia está contido na placa de potência, onde a bateria está localizada, assim como as conexões necessárias para a distribuição de eletricidade entre os componentes, através do barramento.

Subsistema de Controle Térmico

O controle térmico do CubeSat Sollarium, ocorre apenas por meios passivos, como é o caso do isolamento térmico realizado com papel alumínio em multicamadas. Para a operação em condições mais estressantes, seria necessário a ampliação deste subsistema, atendendo a demanda por mais isolamento além da adoção de componentes como radiadores e aquecedores para controlar a temperatura interna.

Payload

A payload ou carga útil, são os componentes necessários para atingir o objetivo ao qual o satélite se propõe. Em nosso caso, que se configura como uma missão científica de monitoramento geomagnético, o principal componente da payload é o sensor magnetômetro, porém todos os sensores do satélite podem ser considerados parte da carga útil, visto que seus dados estão sendo lidos e gravados durante a execução do seu sistema embarcado.

5.2 Projeto mecânico

5.2.1 Relatório de montagem

O satélite Sollarium é inteiramente baseado no kit CubeSat da PION, porém constatamos a necessidade de melhorar o isolamento térmico da bateria e computador de bordo, este procedimento está mais bem descrito na seção **7.4 Robustez Térmica**. A remontagem do hardware ocorreu apenas para averiguar os encaixes dos componentes e a instalação do material para o isolamento térmico.

5.2.1.1 Fotos de todas as faces e conexões (Apêndices)

No **Apêndice H** estão disponíveis fotografias de todas as placas presentes no CubeSat.

5.3 Projeto eletrônico

No **Anexo A** se encontram imagens exemplificando o projeto eletrônico.

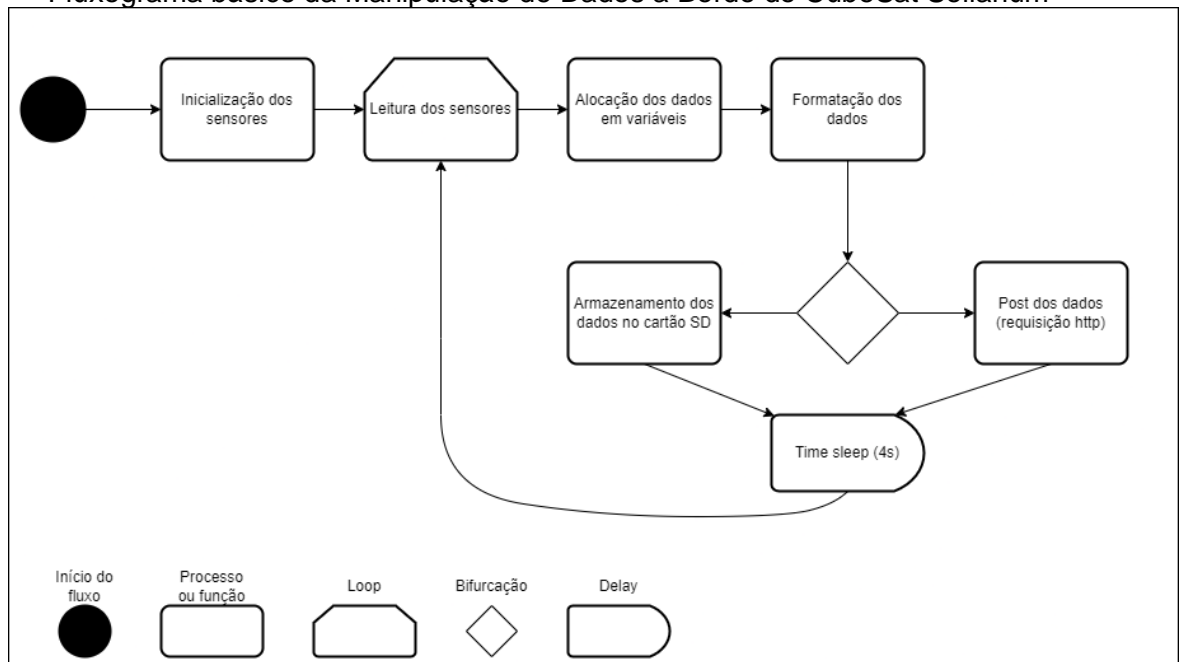
5.4 Fluxograma dos códigos desenvolvidos (+código comentado anexado ao final do relatório)

O sistema embarcado do CubeSat Sollarium, foi desenvolvido inteiramente utilizando a linguagem Python, mais especificamente Micropython. Uma versão inicial foi desenvolvida na plataforma BIPES, e após a definição de um escopo consistente o sistema principal foi desenvolvido utilizando o Thonny IDE.

Nosso sistema é baseado em programação imperativa, de forma que um loop principal é acionado após a inicialização dos componentes principais, como sensores e cartão SD. Este loop é repetido em um intervalo de 4 segundos após a finalização de cada ciclo, sendo que em cada iteração todos os sensores serão lidos, com os dados sendo atribuídos em variáveis e formatados, com uma variável recebendo o padrão de uma linha CSV e outra com o padrão JSON. Por fim, uma função responsável por escrever uma linha no arquivo .csv do cartão SD e outra responsável por realizar o post http dos dados serão chamadas, finalizando o ciclo do loop e entrando em um estado de espera de 4 segundos para que o próximo ciclo se inicie.

Uma descrição mais detalhada sobre o sistema embarcado pode ser encontrada no **Apêndice D**, com trechos do código, explicação de funções e link para o repositório no GitHub.

Fluxograma básico da Manipulação de Dados a Bordo do CubeSat Sollarium



5.4.1 Registro de dados

Após a leitura dos sensores, os dados alocados em variáveis serão enviados para a formatação e envio, sendo que uma função é responsável por registrar os dados em um arquivo .csv alocado no cartão SD, e outra função responsável por enviar os dados em formato JSON para uma determinada url utilizando requisição http post. O acesso a rede é provido pela biblioteca network do Micropython, que utiliza a placa de rede wifi do computador de bordo para se conectar a uma rede wifi WLAN. O arquivo

csv que é armazenado no cartão SD pode ser visto no **Apêndice E**.

Nosso sistema embarcado é baseado em Micropython, de forma que o firmware instalado no computador de bordo ESP 32 é responsável por gerir o relacionamento entre o projeto eletrônico e o sistema. Mais detalhes podem ser encontrados no **Apêndice D**.

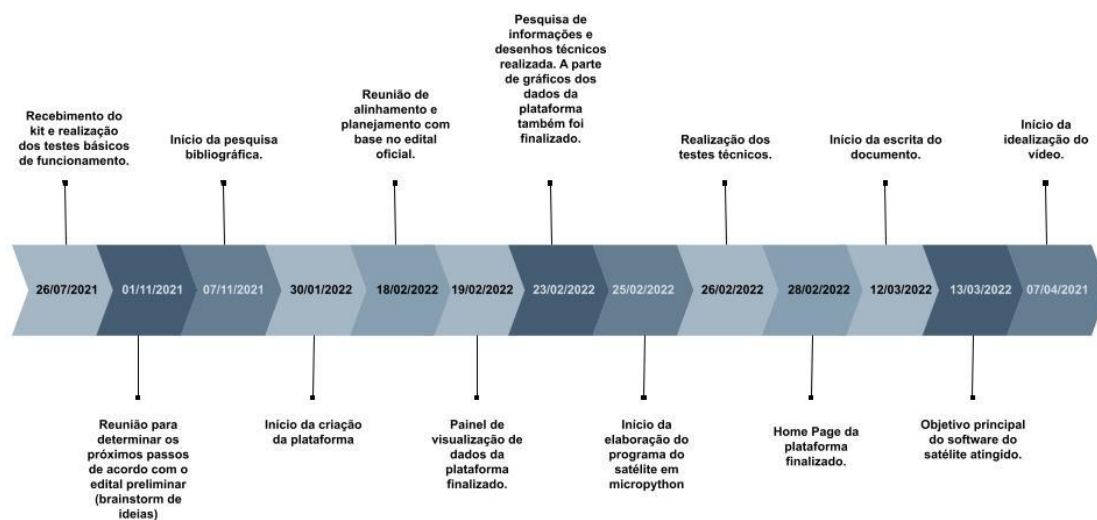
5.5 Procedimento de execução da missão

As principais etapas para o desenvolvimento do projeto para a fase 2 da OBSAT consistem em:

- Testes básicos
- Pesquisa
- Desenvolvimento da Plataforma Web para Dados
- Desenvolvimento do Sistema embarcado
- Testes técnicos
- Documento
- Vídeo

A partir disso, abaixo estão as datas-chave dos passos já realizados:

Figura 1: Esquema das datas-chave

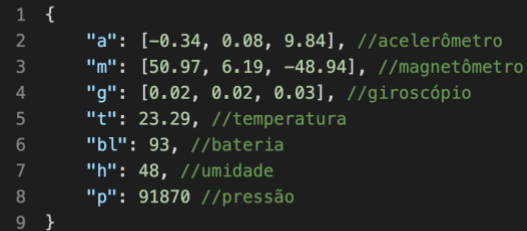


6 Identificação e descrição dos dados a serem coletados e transmitidos pela payload de missão

Com os dados coletados durante a missão, pretendemos processá-los aplicando big data com o objetivo de identificar padrões do comportamento atmosférico e principalmente as variações dos valores coletados pelo magnetômetro. Já aplicamos alguns pequenos processamentos no Matlab plotando histogramas, além da análise visual de gráficos gerados, destacando a variação dos dados coletados pelos sensores durante os testes.

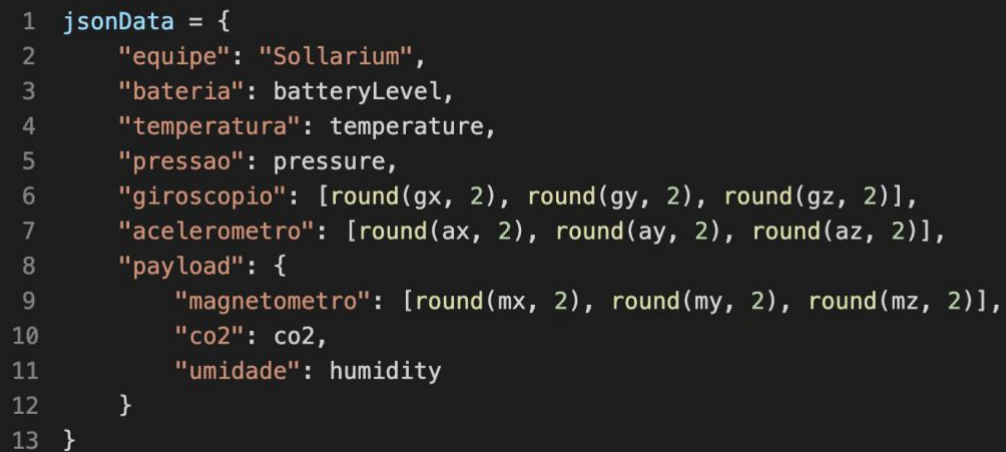
A payload de nossa missão são os dados do magnetômetro, que será transmitido para a sonda juntamente com a telemetria. No **Apêndice D** a função responsável por enviar a payload é detalhada.

Figura 2 – Exemplo dos dados a serem transmitidos



```
1 {
2   "a": [-0.34, 0.08, 9.84], //acelerômetro
3   "m": [50.97, 6.19, -48.94], //magnetômetro
4   "g": [0.02, 0.02, 0.03], //giroscópio
5   "t": 23.29, //temperatura
6   "bl": 93, //bateria
7   "h": 48, //umidade
8   "p": 91870 //pressão
9 }
```

Figura 3 – Exemplo de JSON com payload enviada para o servidor de testes da OBSAT



```
1 jsonData = {
2   "equipe": "Sollarium",
3   "bateria": batteryLevel,
4   "temperatura": temperature,
5   "pressao": pressure,
6   "giroscopio": [round(gx, 2), round(gy, 2), round(gz, 2)],
7   "acelerometro": [round(ax, 2), round(ay, 2), round(az, 2)],
8   "payload": {
9     "magnetometro": [round(mx, 2), round(my, 2), round(mz, 2)],
10    "co2": co2,
11    "umidade": humidity
12  }
13 }
```

7 Descrição e resultados dos testes

Primeiramente foram realizados testes com o sistema embarcado da PION que acompanha o kit CubeSat, visando determinar o bom funcionamento de todos os sensores e componentes. Durante o desenvolvimento do nosso próprio sistema embarcado, testes estão sendo realizados constantemente, procurando por possíveis falhas durante a execução do programa, e também certificando o funcionamento esperado para as funções principais, como a coleta de dados de sensores, formatação de dados, envio de requisição http, entre outras.

Como resultado destes testes, arquivos com os dados brutos foram gerados, possibilitando a manipulação para o processamento, além de registrar valores como o de nível de bateria, necessário para estimar o consumo de energia. Até o momento apenas falhas de software foram detectadas e corrigidas durante os testes, com o hardware apresentando o bom funcionamento esperado durante a execução do sistema.

Visando facilitar o armazenamento e acesso para os dados gerados durante os testes, uma aplicação web foi desenvolvida, dispondo de funcionalidades para apresentar os dados de maneira visual, através de tabelas de gráficos. Maiores detalhes sobre esta aplicação podem ser encontrados no **Apêndice F**.

7.1 Caracterização física (dimensões e massa)

Seguindo o padrão CubeSat, o satélite Sollarium é um cubo com arestas de 10 cm, sendo o hardware construído no formato de “prateleira” com uma placa sendo encaixada diretamente acima da outra através do barramento. A massa total do conjunto CubeSat, formado pelo hardware e carenagem de plástico impressa em 3D, é de 289 gramas.

7.2 Robustez mecânica

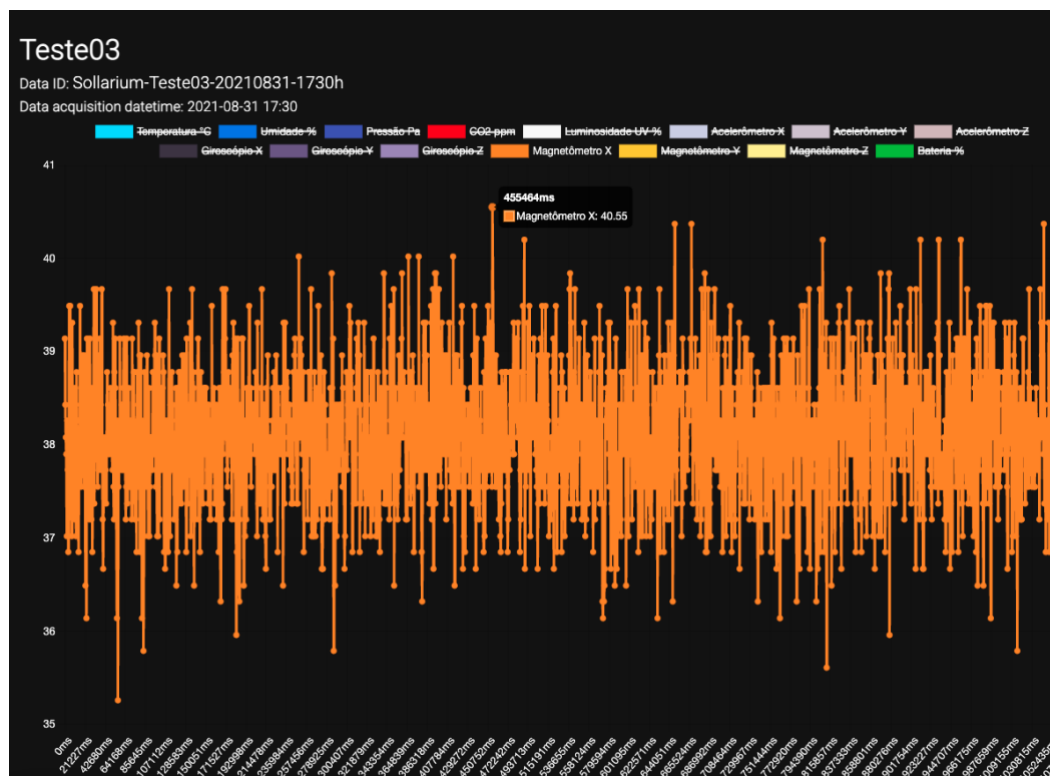
Para atestar a robustez mecânica do satélite, todo o hardware foi desmontado e remontado de forma a garantir que todos os componentes estão devidamente encaixados e bem apertados. Após isso foram realizados testes com movimentos bruscos e repetitivos, buscando avaliar um possível desencaixe ou mal funcionamento de algum componente durante o estresse aplicado à estrutura do satélite.

Desta forma foi possível constatar que todos os eletrônicos funcionaram corretamente durante os testes, além de que nenhum componente apresentou sinais de que poderia se soltar da estrutura, confirmando a robustez mecânica esperada.

7.3 Robustez eletrônica e magnética

Desde os primeiros testes os valores capturados pelo magnetômetro foram analisados, visto que este é parte essencial para o objetivo da missão. Alguns testes básicos foram realizados, como por exemplo registrar o aumento dos valores magnéticos com o satélite estando perto de um aparelho eletrônico em funcionamento, além de expor o sensor a influência de um pequeno ímã em diferentes direções.

Figura 4 – Gráfico do sensor magnetômetro eixo X, mostrando um pico de 40.55 uT



7.4 Robustez térmica

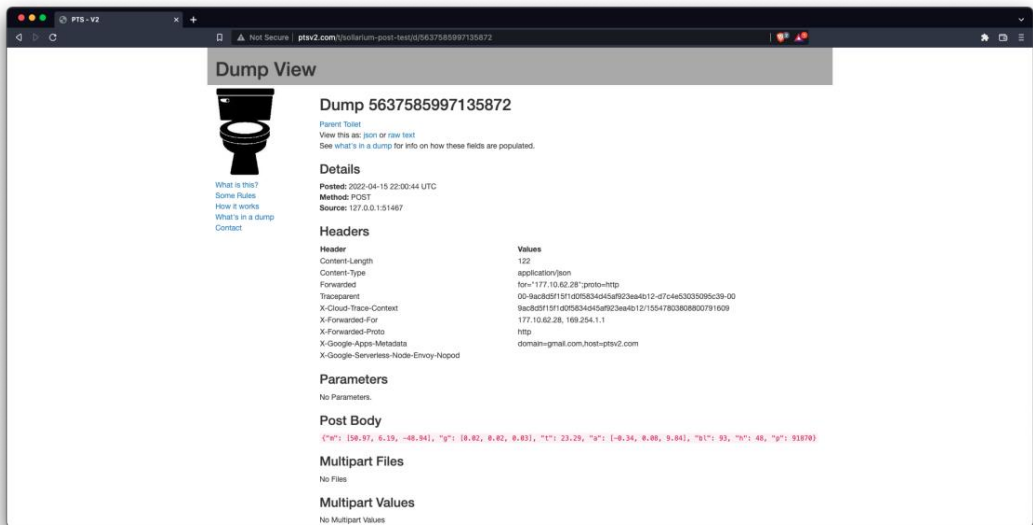
Para atestar o bom funcionamento dos componentes eletrônicos quando expostos ao estresse térmico de baixas temperaturas, realizamos alguns testes em ambiente controlado, deixando o satélite operar por alguns minutos dentro de um freezer. Logo no primeiro teste percebeu-se a necessidade de melhorar o isolamento da bateria e do computador de bordo, sendo assim optamos por desenvolver um sistema térmico passivo utilizando uma MLI básica (isolamento multicamadas) de folhas de papel alumínio.

Um exemplo do isolamento realizado e do resultado de um teste realizado em baixas temperaturas está disponível no **Apêndice G**.

7.5 Transmissão de dados conforme descrito no apêndice 1

Informações detalhadas sobre a função responsável pela transmissão de dados podem ser encontradas no **Apêndice D**.

JSON recebido pelo Post Test Server V2



Apêndices

APÊNDICE A – Lista de materiais

1 Lista das matérias-primas, subconjuntos, conjuntos intermediários, subcomponentes, componentes, partes e as quantidades de cada necessários para fabricar um produto final.

O hardware do projeto é inteiramente baseado no kit CubeSat fornecido pela PION. Optamos por não acrescentar novos sensores ou placas, visto que o objetivo principal de nossa missão é de coletar dados magnéticos utilizando o sensor magnetômetro já incluso na placa de sensores do kit.

Para o software embarcado, desenvolvemos nosso próprio sistema, utilizando a linguagem Micropython, desenvolvendo um programa imperativo, que é responsável pela leitura dos dados de sensores, formatação das variáveis locais, e por fim a transmissão para a sonda e armazenamento na memória local do cartão SD. Mais detalhes sobre o sistema embarcado podem ser encontrados no **Apêndice D**.

APÊNDICE B – Requisitos para lançamento

Relembremos os requisitos que os requisitos básicos de missão que os projetos devem atender (trecho retirado do edital):

1. Deve atender ao form factor de CanSat (6,5 cm de diâmetro e 10 cm de altura), para N1, e do CubeSat 1U (100 x 100 x 100 mm) para os projetos N2 e N3;
2. O CanSat deve pesar menos que 350g; e o CubeSat deve pesar menos que 450g;
3. Deve conseguir operar em condições de até 40 km (altitude máxima do balão);
 - a) A equipe será responsável por realizar o isolamento térmico da bateria utilizando material tipo Depron ou espuma EPE;
4. O satélite deve conseguir armazenar os dados coletados em memória;
5. O satélite deve ser capaz de enviar dados de telemetria via Wifi, da seguinte forma:
 - a) A comunicação deve ser realizada via Wifi utilizando requisições HTTP no formato especificado no apêndice 1;
 - i. Para testes e simulações, um endereço de testes será disponibilizado.
 - b) As informações do status do satélite a serem obrigatoriamente enviadas durante o voo são:
 - i. nível da bateria,
 - ii. temperatura,
 - iii. pressão,
 - iv. giroscópio e acelerômetro (informações dos três eixos),
 - v. informações da carga útil (payload), que devem estar bem definidas de modo que seja possível identificar o sucesso da missão;
 - c) Essa comunicação deve ocorrer por um período de pelo menos 40 minutos, em intervalos de 4 minutos (os participantes devem otimizar o uso da bateria para maximizar sua duração);
 - d) O tamanho máximo de cada pacote dos dados de payload é de 90 bytes;
 - i. Esta restrição ocorre devido a limitações de largura de banda. As equipes devem armazenar imagens no cartão de memória ou enviar por HTTP, e estas imagens ficarão armazenadas no servidor HTTP da organização do evento e a bordo do balão.
 - e) O pacote de dados deve estar no formato JSON (<https://www.json.org/>);
 - f) A organização do evento embarcará kits selecionados em uma sonda que oferecerá um ponto de acesso Wifi para os kits enviarem a telemetria.
 - i. Equipes que pretendem realizar a transmissão de dados diretamente para solo, a partir do seu próprio kit, devem indicar um rádio-amador responsável e parceiro da equipe, apresentar um plano de frequências, antenas, e aguardar autorização da OBSAT para embarcar o equipamento com transmissor de RF. Lembrando que

- as equipes poderão realizar o envio de telemetria por Wifi, pois a organização do evento disponibilizará uma rede Wifi embarcada no balão, com um endereço HTTP para recepção de telemetria;
- ii. As equipes que optarem por transmitir dados com seus próprios rádios também terão restrição de uso de frequências e tempo de transmissão sincronizada por tempo (time slots sincronizados por GPS, a serem alinhados com a organização do evento).
6. Deve apresentar montagem mecânica estável e robusta;
- a) Neste item, será avaliado se todos os componentes estão bem conectados, com parafusos apertados, mantendo estabilidade estrutural em caso de vibrações.
7. A base do satélite deve ser compatível com a tampa, conforme apêndice 2.

Para os anexos citados, consulte: ([GITHUB. . .](#), 2022).

Os dados da tabela abaixo deverão conter as características exatas da estrutura do seu satélite (considerando as adaptações necessárias para o CanSat e CubeSat), dados postos a contraprova para o lançamento. Os dados indicados aqui devem corresponder ao restante do documento.

Tabela 1 – Tabela de referência para os requisitos

Características	Figura [unidades]
Dimensões do Form Factor do satélite	Cubo de 10x10x10 cm
Massa do Satélite	289 gramas
Material utilizado para o isolamento térmico	Folhas de alumínio

APÊNDICE C – Estimativa do consumo de energia

Para indicar que você satisfaz os requisitos da missão, você pode calcular o quanto é esperado que a sua bateria dure conforme a energia requerida para cada componente. Atente-se que é requerido ao menos 40 minutos de envio de dados, no entanto, solicitamos, para a segurança desse objetivo, que a bateria consiga suprir ao menos 75% a mais do mínimo solicitado, isto é: 70 minutos.

Tabela 2 – Tabela de referência para a estimativa de consumo de energia de payload e telemetria

Dispositivo	Tensão (V)	Corrente (mA)	Potência (mW)
Sensores utilizados para o Payload	3.3	30	99
Sensor de pressão	3.3	30	99
Sensor de temperatura/humidade	3.3	30	99
Giroscópio	3.3	30	99
Acelerômetro	3.3	30	99
Total	16.5	150	495

APÊNDICE D – Sistema Embarcado

Para exemplificar o funcionamento principal do nosso sistema embarcado, algumas funções e exemplos serão descritos abaixo.

Link Externo 01 - GitHub do sistema embarcado do CubeSat Sollarium

<https://github.com/LucasKleaL/Sollarium-Embedded>

Para enviar os dados para a sonda ou para um servidor web, a função `sendPost` é chamada, recebendo como parâmetro quais dados serão transmitidos. Para realizar a requisição http post, usamos a biblioteca `urequest` que implementa as funções http. Após o envio ocorre a verificação se a requisição foi bem sucedida, com um led piscando em verde caso sim (retorno http 200), e vermelho caso algum erro tenha ocorrido. Por fim o garbage collector é chamado para recolher as alocações de memória que não serão mais usadas na próxima iteração.

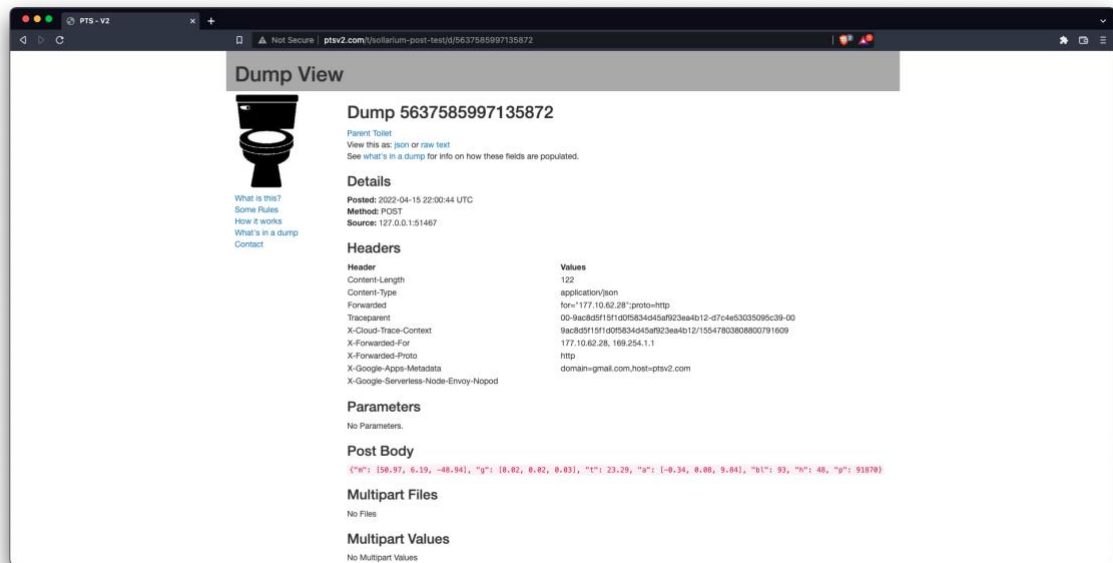
Imagem 01 - Função `sendPost`

```
1 def sendPost(data):
2     request = urequests.post("http://ptsv2.com/t/sollarium-post-test/post", json=data)
3     print("")
4     print("sendPost"+str(data))
5     print("HTTP Status: " + str(request.status_code))
6     print("HTTP Response: " + str(str(request.content)))
7     #led
8     if (request.status_code == 200): #successful http post
9         mcpIO.output(3, 1)
10        time.sleep(1)
11        mcpIO.output(3, 0)
12    else: #error exception http post
13        mcpIO.output(4, 1)
14        time.sleep(1)
15        mcpIO.output(4, 0)
16    gc.collect()
```

Imagem 02 - Exemplo de JSON enviado no post

```
1 {
2     "a": [-0.34, 0.08, 9.84],
3     "m": [50.97, 6.19, -48.94],
4     "g": [0.02, 0.02, 0.03],
5     "t": 23.29,
6     "bl": 93,
7     "h": 48,
8     "p": 91870
9 }
```

Imagem 03 - JSON recebido pelo Post Test Server V2



Durante a inicialização do sistema embarcado, a conexão com o cartão SD é estabelecida e um arquivo .csv é criado, apenas com a primeira linha escrita (header). Durante a iteração no loop principal, a função sendCsvSd é chamada, enviando como parâmetro os dados dos sensores já formatados em uma linha padrão csv. No início da função o arquivo previamente criado é aberto, uma linha é escrita com os dados recebidos e após isso o arquivo é fechado.

Imagem 04 - Função sendCsvSd

```
1 def sendCsvSd(data, url):
2     file=open("/sd/SollariumTest{}.csv".format(url), "ba")
3     file.write(str(data))
4     file.write("\n")
5     file.close()
6     gc.collect()
```

Imagem 05 - Exemplo de linha csv escrita

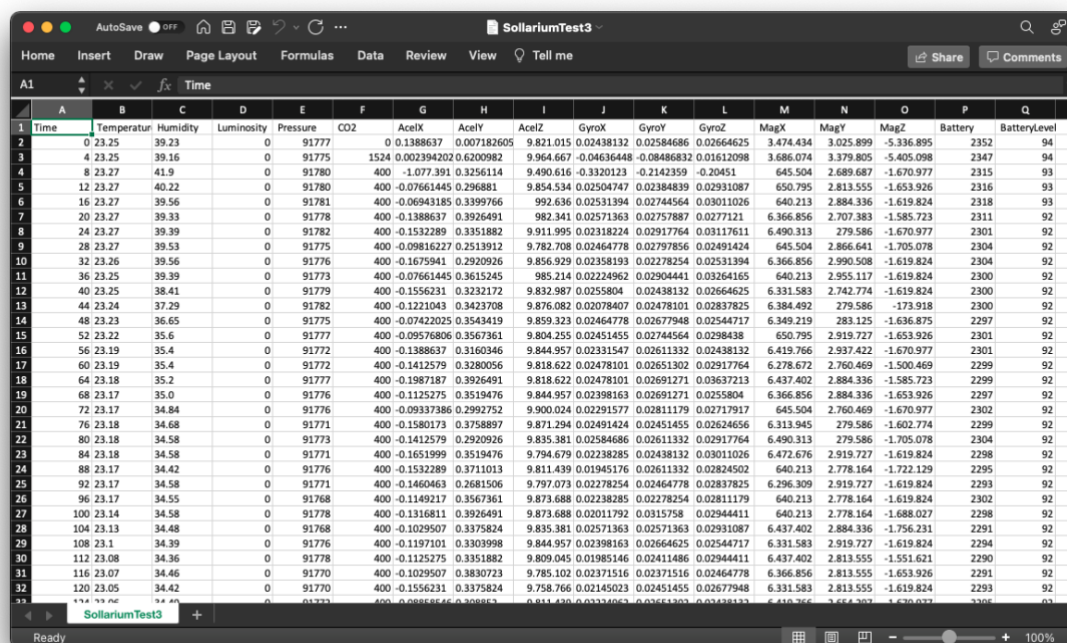
```
1 "8;22.74;71.28;0;92009;-0.2801216;0.3280056;9.756371;0.02518071;0.01998469;0.02944411;63.66856;16.81055;-14.49317;2431;97;
```

APÊNDICE E – Arquivos e dados gerados pelo sistema embarcado

Os arquivos e dados gerados serão apresentados a seguir. No **Apêndice F** encontra-se uma demonstração da nossa aplicação web que hospeda os dados.

O arquivo csv que é gravado no cartão SD, contém os dados de todos os sensores disponíveis no kit, além de uma coluna que corresponde ao tempo em que aquela linha foi escrita, sendo acrescentado em 4 segundos a cada iteração completa no loop principal.

Imagem 06 - Arquivo .csv gerado pelo CubeSat Sollarium



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	Time	Temperatur	Humidity	Luminosity	Pressure	CO2	AcelX	AcelY	AcelZ	GyroX	GyroY	GyroZ	MagX	MagY	MagZ	Battery	BatteryLevel
2	0	23.25	39.23	0	91777	0	0.1388637	0.007182605	9.821.015	0.02438132	0.02584686	0.02664625	3.474.434	3.025.899	-5.336.895	2352	94
3	4	23.25	39.16	0	91775	1524	0.002394202	0.6200982	9.964.667	-0.04636448	-0.08486832	0.01612098	3.686.074	3.379.805	-5.405.098	2347	94
4	8	23.27	41.9	0	91780	400	-1.077.391	0.3256114	9.490.616	-0.3320123	-0.2142359	-0.20451	645.504	2.689.687	-1.670.977	2315	93
5	12	23.27	40.22	0	91780	400	-0.07661445	0.296881	9.854.534	0.02504747	0.02384839	0.02931087	650.795	2.813.555	-1.653.926	2316	93
6	16	23.27	39.56	0	91781	400	-0.06943185	0.3399766	992.636	0.02531394	0.02744564	0.03011026	640.213	2.884.336	-1.619.824	2318	93
7	20	23.27	39.33	0	91778	400	-0.1388637	0.3926491	982.341	0.02571363	0.02757887	0.0277121	6.366.856	2.707.383	-1.585.723	2311	92
8	24	23.27	39.39	0	91782	400	-0.1532289	0.3351882	9.911.995	0.02318224	0.02917764	0.03117611	6.490.313	2.79.586	-1.670.977	2301	92
9	28	23.27	39.53	0	91775	400	-0.09816227	0.2513912	9.782.708	0.02464778	0.02797856	0.02491424	645.504	2.866.641	-1.705.078	2304	92
10	32	23.26	39.56	0	91776	400	-0.1675941	0.2920926	9.856.929	0.02358193	0.02278254	0.02531394	6.366.856	2.990.508	-1.619.824	2304	92
11	36	23.25	39.39	0	91773	400	-0.07661445	0.3615245	985.214	0.02224962	0.02904441	0.03264165	640.213	2.955.117	-1.619.824	2300	92
12	40	23.25	38.41	0	91779	400	-0.1556231	0.3232172	9.832.987	0.0255804	0.02438132	0.02664625	6.331.583	2.742.774	-1.619.824	2300	92
13	44	23.24	37.29	0	91782	400	-0.1221043	0.3423708	9.876.082	0.02078407	0.02478101	0.02837825	6.384.492	2.79.586	-1.73.918	2300	92
14	48	23.23	36.65	0	91775	400	-0.07422025	0.3543419	9.859.323	0.02464778	0.02677948	0.02544717	6.349.219	283.125	-1.636.875	2297	92
15	52	23.22	35.6	0	91777	400	-0.09576806	0.3567361	9.804.255	0.02451455	0.02744564	0.0298438	650.795	2.919.727	-1.653.926	2301	92
16	56	23.19	35.4	0	91772	400	-0.1388637	0.3160346	9.844.957	0.02331547	0.02611332	0.02438132	6.419.766	2.937.422	-1.670.977	2301	92
17	60	23.19	35.4	0	91772	400	-0.1412579	0.3280056	9.818.622	0.02478101	0.02651302	0.02917764	6.278.672	2.760.469	-1.500.469	2299	92
18	64	23.18	35.2	0	91777	400	-0.1987187	0.3926491	9.818.622	0.02478101	0.02691271	0.03637213	6.437.402	2.884.336	-1.585.723	2299	92
19	68	23.17	35.0	0	91776	400	-0.1125275	0.3519476	9.844.957	0.02398163	0.02691271	0.0255804	6.366.856	2.884.336	-1.653.926	2297	92
20	72	23.17	34.84	0	91776	400	-0.09337386	0.2992752	9.900.024	0.02291577	0.02811179	0.02717917	645.504	2.760.469	-1.670.977	2302	92
21	76	23.18	34.68	0	91771	400	-0.1580173	0.3758897	9.871.294	0.02491424	0.02451455	0.02624656	6.313.945	2.79.586	-1.602.774	2299	92
22	80	23.18	34.58	0	91773	400	-0.1412579	0.2920926	9.835.381	0.02584686	0.02611332	0.02917764	6.490.313	2.79.586	-1.705.078	2304	92
23	84	23.18	34.58	0	91771	400	-0.1651999	0.3519476	9.794.679	0.02238285	0.02438132	0.03011026	6.472.676	2.919.727	-1.619.824	2298	92
24	88	23.17	34.42	0	91776	400	-0.1532289	0.3711013	9.811.439	0.01945176	0.02611332	0.02824502	640.213	2.778.164	-1.722.129	2295	92
25	92	23.17	34.58	0	91771	400	-0.1460463	0.2681506	9.797.073	0.02278254	0.02464778	0.02837825	6.296.309	2.919.727	-1.619.824	2293	92
26	96	23.17	34.55	0	91768	400	-0.1149217	0.3567361	9.873.688	0.02238285	0.02278254	0.02811179	640.213	2.778.164	-1.619.824	2302	92
27	100	23.14	34.58	0	91778	400	-0.1316811	0.3926491	9.873.688	0.02011792	0.0315758	0.02944411	640.213	2.778.164	-1.688.027	2298	92
28	104	23.13	34.48	0	91768	400	-0.1029507	0.3375824	9.835.381	0.02571363	0.02571363	0.02931087	6.437.402	2.884.336	-1.756.231	2291	92
29	108	23.1	34.39	0	91776	400	-0.1197101	0.3303998	9.844.957	0.02398163	0.02664625	0.02544717	6.331.583	2.919.727	-1.619.824	2294	92
30	112	23.08	34.36	0	91778	400	-0.1125275	0.3351882	9.809.045	0.01985146	0.02411486	0.02944411	6.437.402	2.813.555	-1.551.621	2290	92
31	116	23.07	34.46	0	91770	400	-0.1029507	0.3830723	9.785.102	0.02371516	0.02371516	0.02464778	6.366.856	2.813.555	-1.653.926	2291	92
32	120	23.05	34.42	0	91770	400	-0.1556231	0.3375824	9.758.766	0.02145023	0.02451455	0.02677948	6.331.583	2.813.555	-1.619.824	2293	92

APÊNDICE F – Plataforma Web para visualização de dados

Para facilitar o acesso aos dados do CubeSat Sollarium, uma plataforma web foi desenvolvida com o objetivo de armazenar e exibir dados em formato .csv que são gerados pelo sistema embarcado do satélite. Desta forma nosso projeto pode ser acessado por qualquer interessado, desde que esteja devidamente autenticado na plataforma.

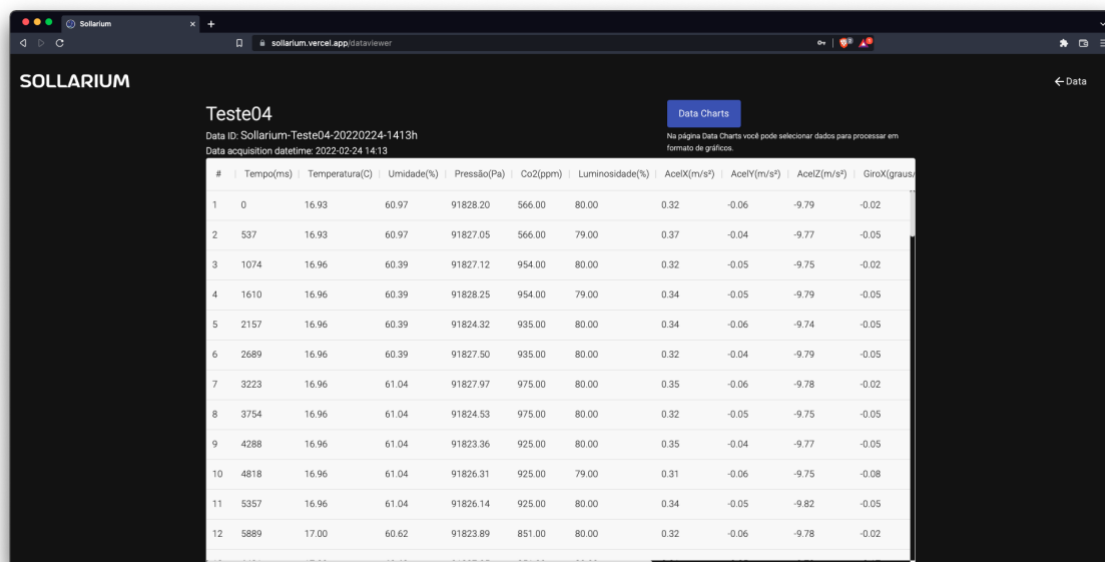
Link Externo 02 - Plataforma Web do CubeSat Sollarium

<https://sollarium.vercel.app/>
<https://www.sollarium.space/>

Link Externo 03 - GitHub da plataforma web Sollarium

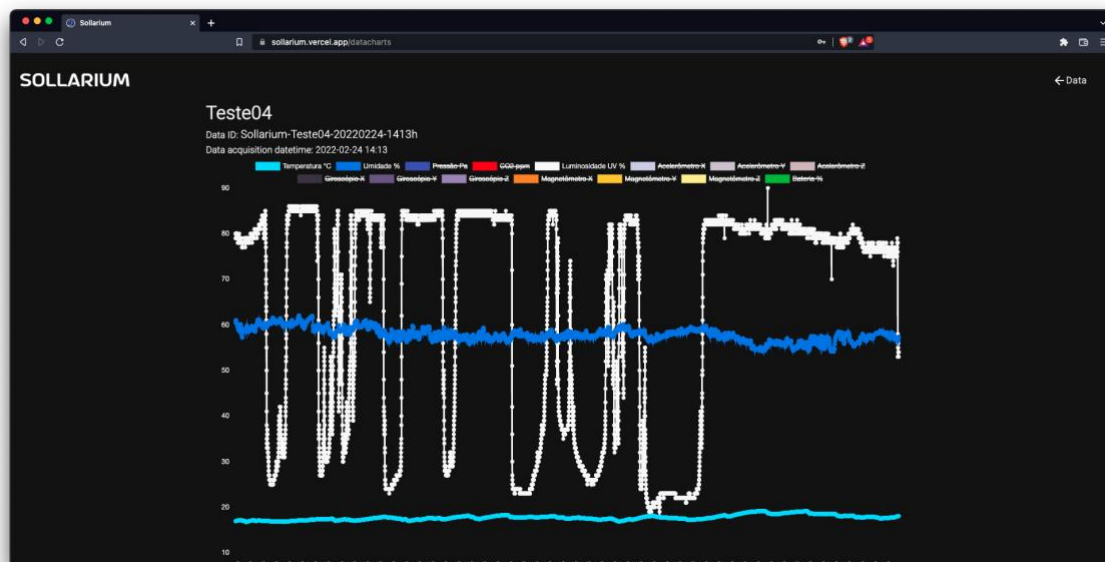
<https://github.com/LucaskleaL/Sollarium>

Imagem 07 - Visualização dos dados brutos em tabela



#	Tempo(ms)	Temperatura(C)	Umidade(%)	Pressão(Pa)	Co2(ppm)	Luminosidade(%)	AcelX(m/s²)	AcelY(m/s²)	AcelZ(m/s²)	GiroX(graus)
1	0	16.93	60.97	91828.20	566.00	80.00	0.32	-0.06	-9.79	-0.02
2	537	16.93	60.97	91827.05	566.00	79.00	0.37	-0.04	-9.77	-0.05
3	1074	16.96	60.39	91827.12	954.00	80.00	0.32	-0.05	-9.75	-0.02
4	1610	16.96	60.39	91828.25	954.00	79.00	0.34	-0.05	-9.79	-0.05
5	2157	16.96	60.39	91824.32	935.00	80.00	0.34	-0.06	-9.74	-0.05
6	2689	16.96	60.39	91827.50	935.00	80.00	0.32	-0.04	-9.79	-0.05
7	3223	16.96	61.04	91827.97	975.00	80.00	0.35	-0.06	-9.78	-0.02
8	3754	16.96	61.04	91824.53	975.00	80.00	0.32	-0.05	-9.75	-0.05
9	4288	16.96	61.04	91823.36	925.00	80.00	0.35	-0.04	-9.77	-0.05
10	4818	16.96	61.04	91826.31	925.00	79.00	0.31	-0.06	-9.75	-0.08
11	5357	16.96	61.04	91826.14	925.00	80.00	0.34	-0.05	-9.82	-0.05
12	5889	17.00	60.62	91823.89	851.00	80.00	0.32	-0.06	-9.78	-0.02

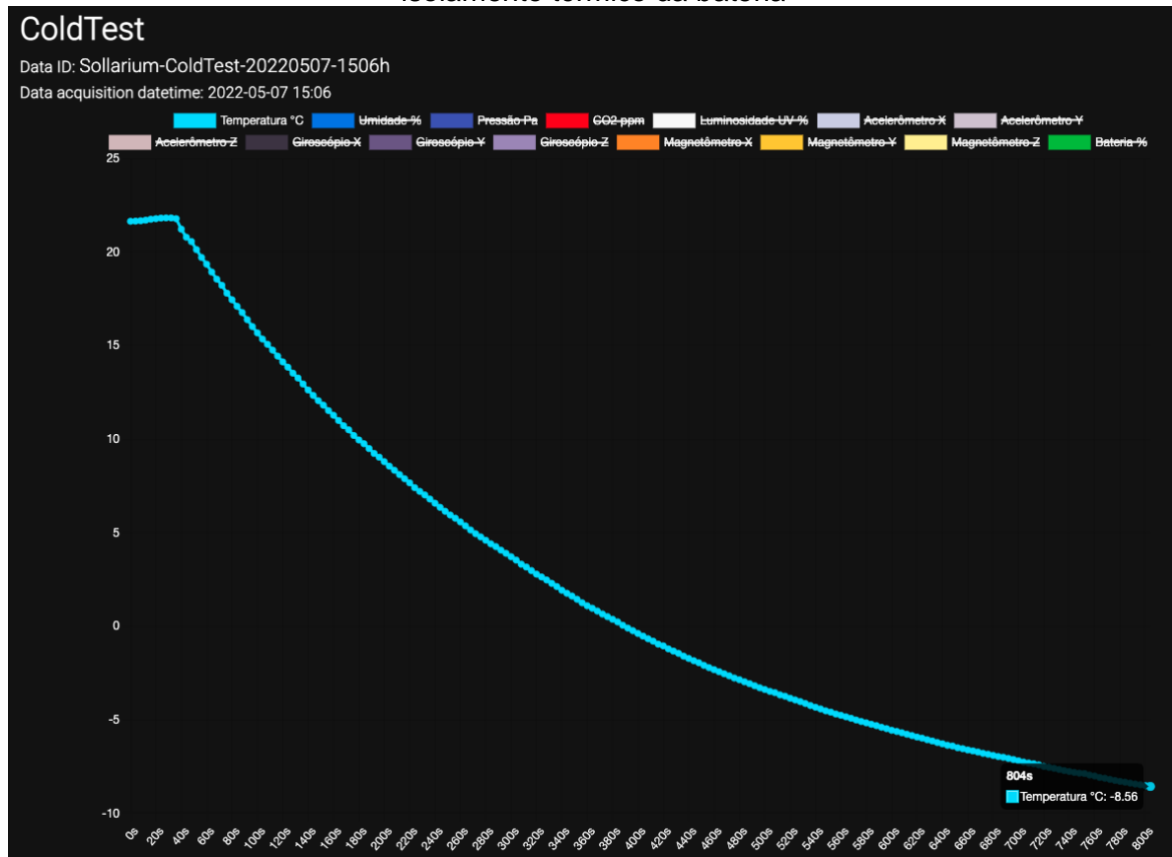
Imagem 08 - Visualização dos dados brutos em gráficos



APÊNDICE G – Teste de robustez térmica

Após a exposição do hardware a baixas temperaturas, os dados gerados foram armazenados e processados de maneira gráfica, com o os valores apontando o perfeito funcionamento do satélite até o sensor de temperatura marcar -8.56 graus Celsius.

Imagem 09 - Gráfico da queda de temperatura durante o primeiro teste apenas com isolamento térmico da bateria



APÊNDICE H – Fotografias dos componentes e conexões

A seguir serão apresentadas fotografias de todas as placas presente no satélite, mostrando seus componentes, conexões externas e internas como barramento.

Imagem 10 - Placa de Potência com a bateria isolada



Imagem 11 - Placa de Interface

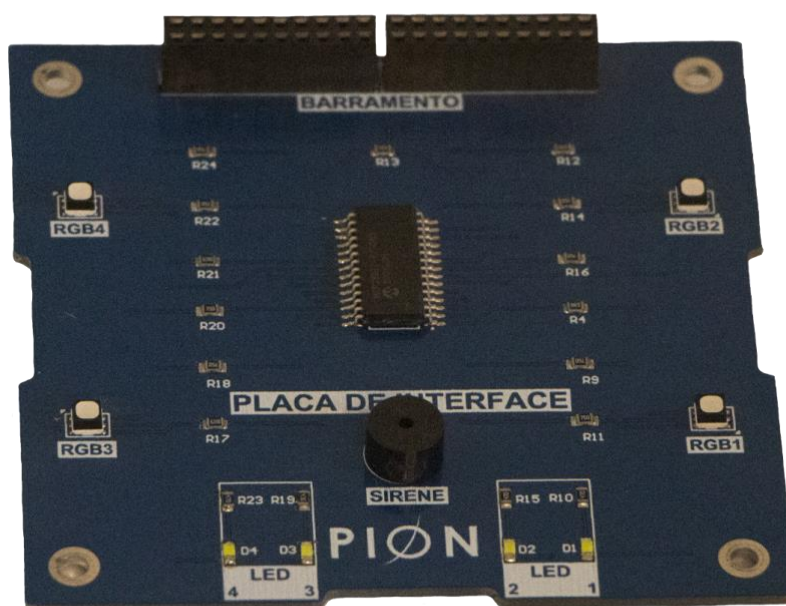


Imagem 12 - Placa de Computador de Bordo

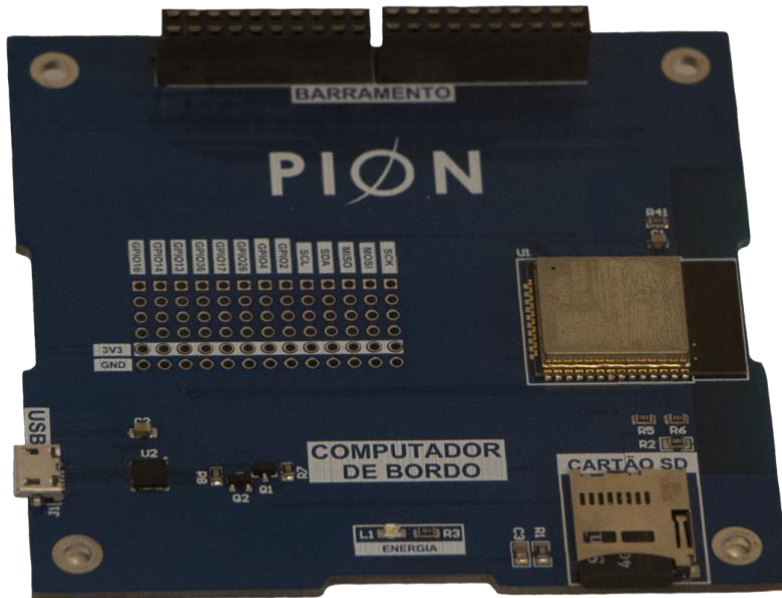


Imagem 13 - Placa de Sensores

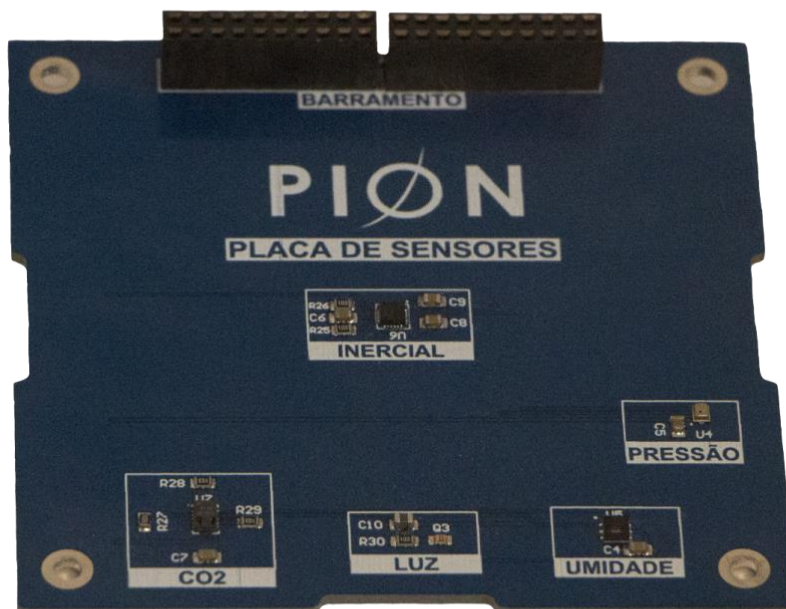


Imagem 14 - Placa de Potência



Anexos

Anexo A – Projeto Eletrônico

Imagem 15 - Conexões do barramento com os pinos do Computador de Bordo

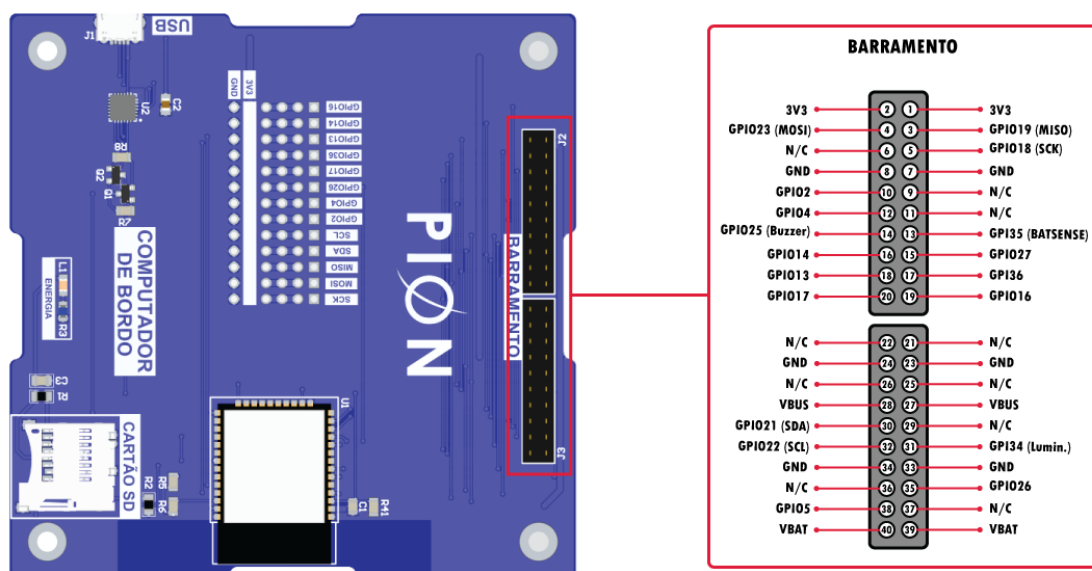


Imagem 16 - Projeto eletrônico Placa de Interface

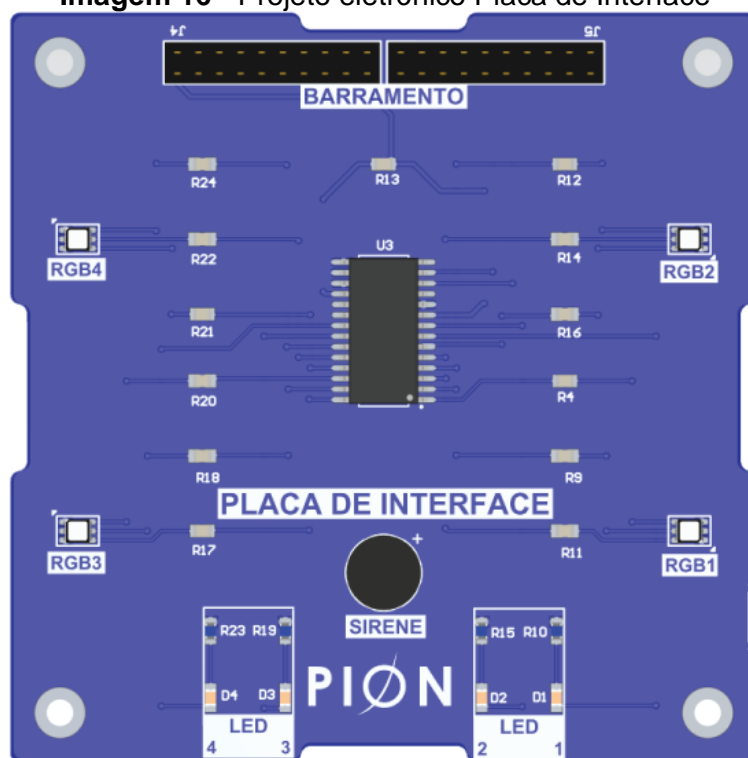


Imagem 17 - Projeto eletrônico Placa de Computador de Bordo

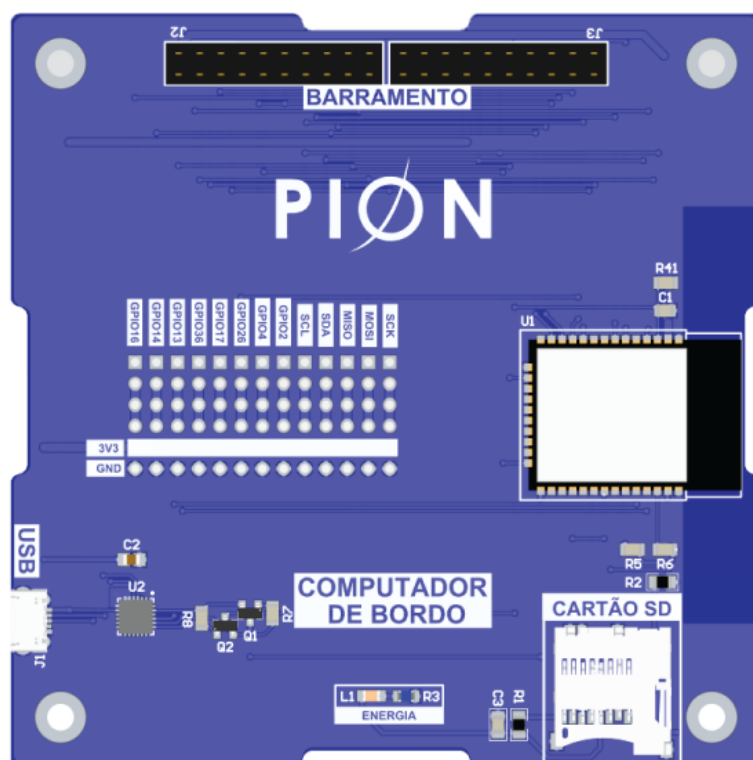


Imagem 18 - Projeto eletrônico Placa de Sensores

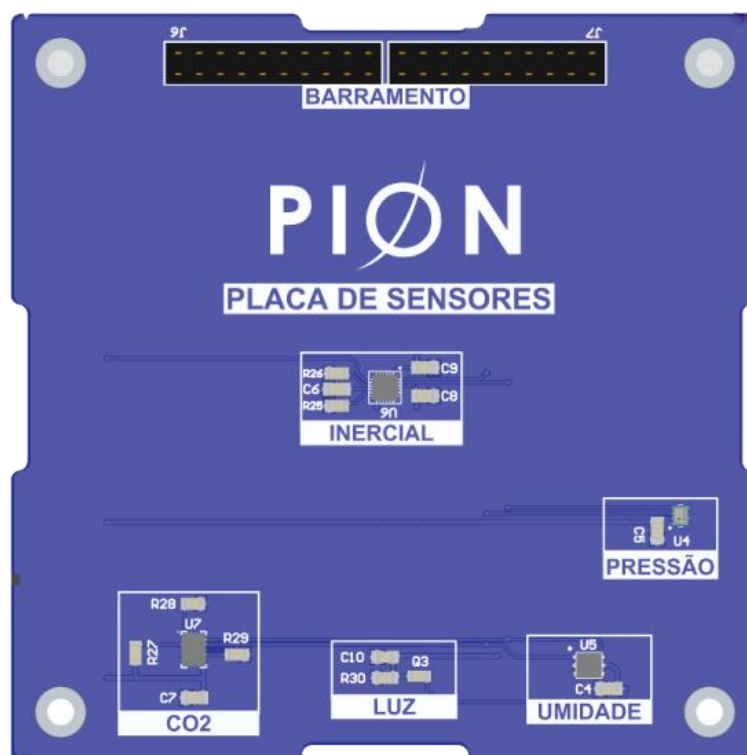
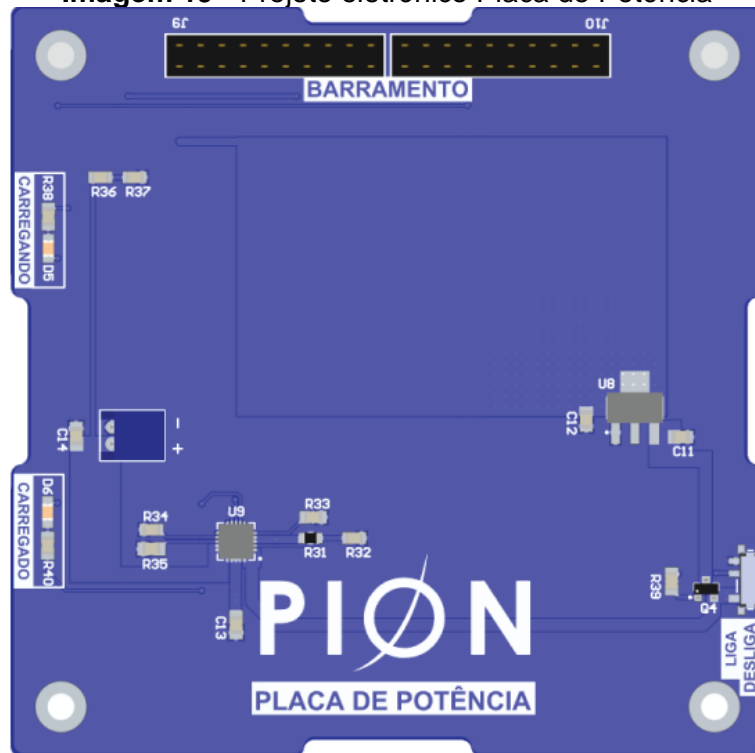


Imagem 19 - Projeto eletrônico Placa de Potência



Créditos: PION LABS, disponível em: <https://github.com/pion-labs/pion-educational-kits/wiki/Hardware-CubeSat>
<https://github.com/pion-labs/pion-educational-kits/wiki/Hardware>

Referências

- ATTIA, J. O. et al. Radiation Effects on DC-DC Converters. [S.l.], 1999.
- GITHUB com os editais da OBSAT MCTI. 2022. Disponível em: <<https://github.com/OBSAT-MCTI/OBSAT-MCTI/tree/main/editais>>. Acesso em: 28 fev. 2022. Citado na página 10.
- HARTMANN, G. A. A Anomalia Magnética do Atlântico Sul: Causas e Efeitos. 153 pp. Dissertação de Mestrado. Departamento de Geofísica, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, 2005.
- INPE/CRS, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Projeto NANOSATC-BR: Desenvolvimento de cubesats. 1. ed. Brasil, 2010. 80 p.
- LANZEROTTI, LJ, 2001. Efeitos do clima espacial nas tecnologias. Série de Monografias Geofísicas da União Geofísica Americana de Washington DC , 125 , pp.11-22.
- LOW, B. C. Solar activity and the corona. Solar Physics, v. 167, n. 1, p. 217-265, 1996.
- MÂNICA, Thales Ramos. Missão NanoSatC-BR1-análise de telemetria e resultados em órbita. 2018.
- PULKKINEN, T., 2007. Clima espacial: perspectiva terrestre. Living Reviews in Solar Physics , 4 (1), pp.1-60.
- RUSSELL, CT, 1972. A configuração da magnetosfera. Em Problemas críticos da física magnetosférica (p. 1).
- SCHULZ, M., 1991. A magnetosfera. Geomagnetismo , 4 .
- SCHWENN, R., 2006. Clima espacial: A perspectiva solar. Living Reviews in Solar Physics , 3 (1), pp.1-72.
- TÓTH, G., SOKOLOV, IV, GOMBOSI, TI, CHESNEY, DR, CLAUER, CR, DE ZEEUW, DL, HANSEN, KC, KANE, KJ, MANCHESTER, WB, OEHMKE , RC e POWELL, KG, 2005. Clima Espacial Modeling Framework: Uma nova ferramenta para a comunidade científica espacial. Jornal de Pesquisa Geofísica: Física Espacial , 110 (A12).
- USOSKIN, Ilya G. A history of solar activity over millennia. Living Reviews in Solar Physics, v. 14, n. 1, p. 1-97, 2017.
- VASCONCELOS, Mônica. Entenda como a anomalia no campo magnético da Terra pode atrapalhar sua Copa do Mundo. BBC News, 2018. Disponível em: <<https://www.bbc.com/portuguese/geral-44608942>>. Acesso em: 23 de março de 2022