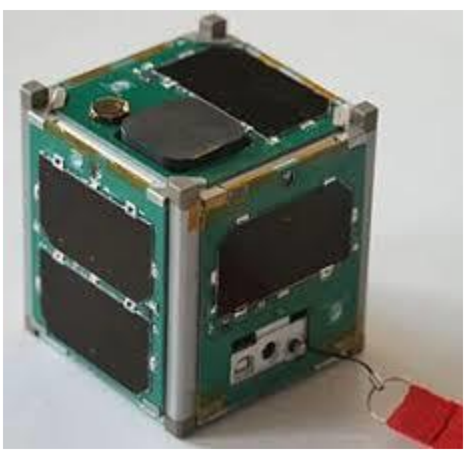
Introdução aos Nanossatélites e Cubesats

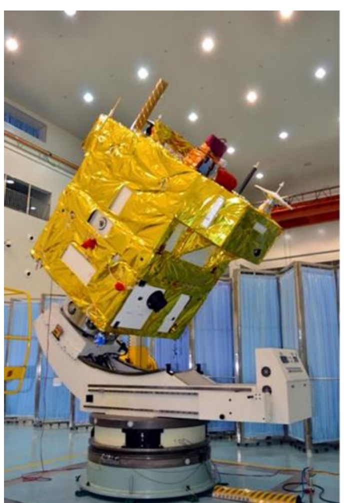


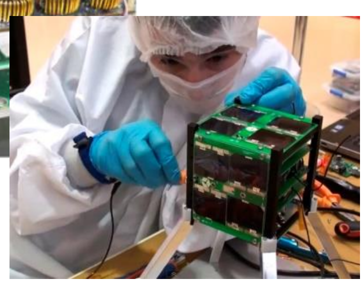
Walter Abrahão
Lázaro Camargo
DIPST - INPE SJC

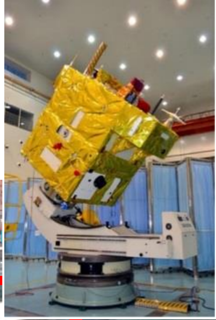
Agenda

- INPE
- Introdução aos Cubesats
- Missões Cubesats no INPE

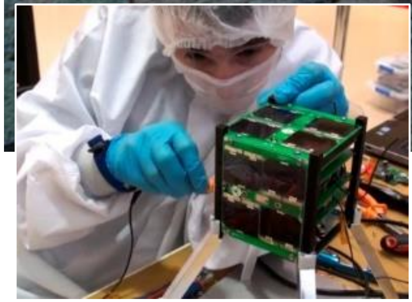
O INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais)

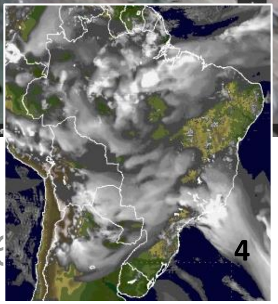






<Vídeo>



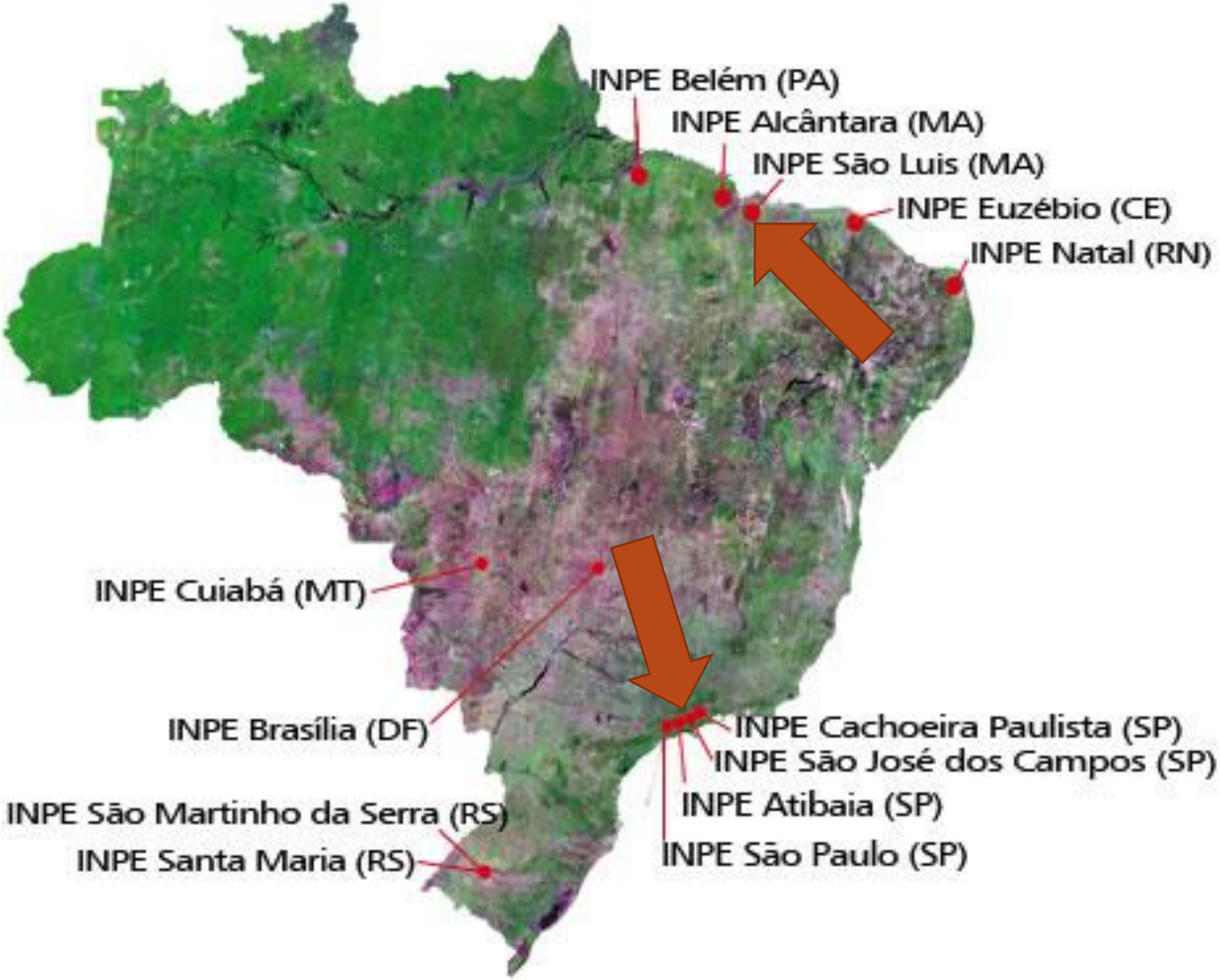


INPE

22:26

F

INPE pelo Brasil



- 7 Pós-Graduações:
  - Astrofísica
  - **Engenharia e Tecnologia Espaciais**
    - Mecânica Espacial e Controle
    - Combustão e Propulsão
    - Ciência e Tecnologia de Materiais e Sensores
    - Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais
  - Geofísica Espacial
  - Computação Aplicada
  - Meteorologia
  - Sensoriamento Remoto
  - Ciência do Sistema Terrestre

Cubesats

O QUE SÃO CUBESATS?

- Histórico
  - Padrão surge há cerca de 18/19 anos
  - Stanford – Bob Twiggs – Stanford e Jordi Puigi-Suari - CalPoly, El Bispo, CA
  - Padrão – cubo com 10cm. de aresta e 1kg. de massa
    - Subsistemas – TMTC (VHF/UHF), computador de bordo, potência, controle, antenas, software, estação de solo.
    - Cubesat design specification (CDS); rev. 13 (2013)
  - Proposta inicial – formação prática de RH

Começou como um projeto de sala em 1999

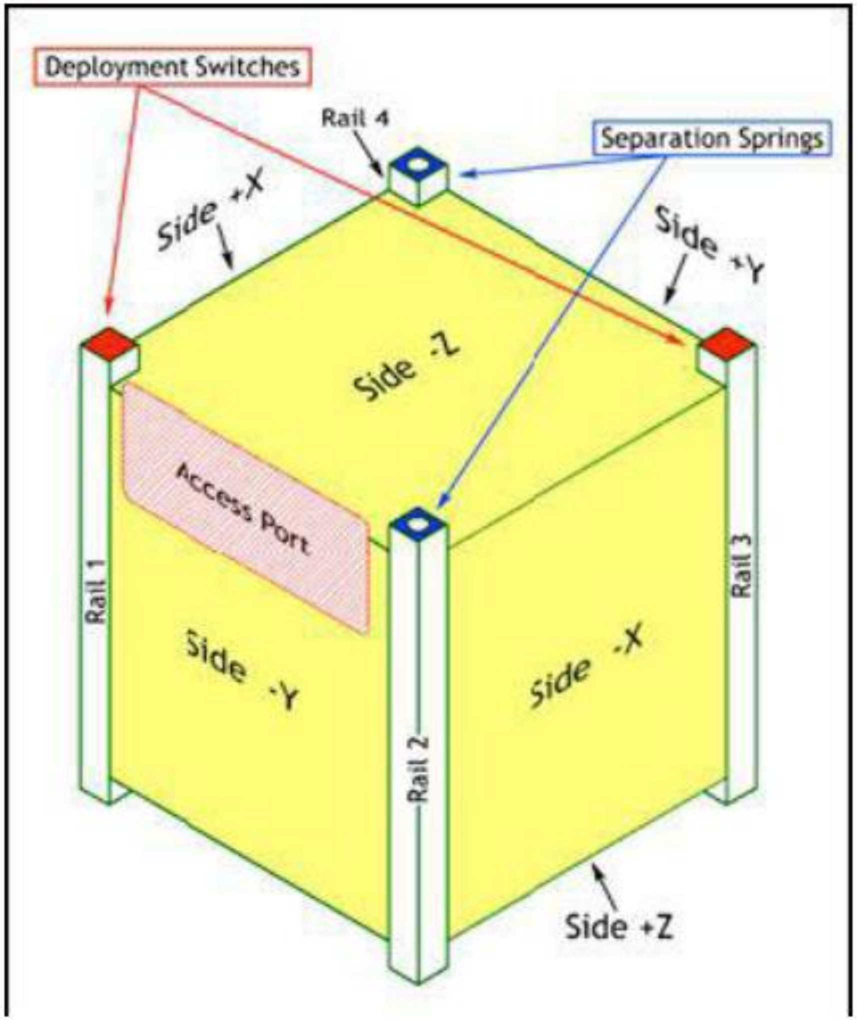
Figure 1. Prof. Bob Twiggs

Figure 2. Prof. Jordi Puig-Suari

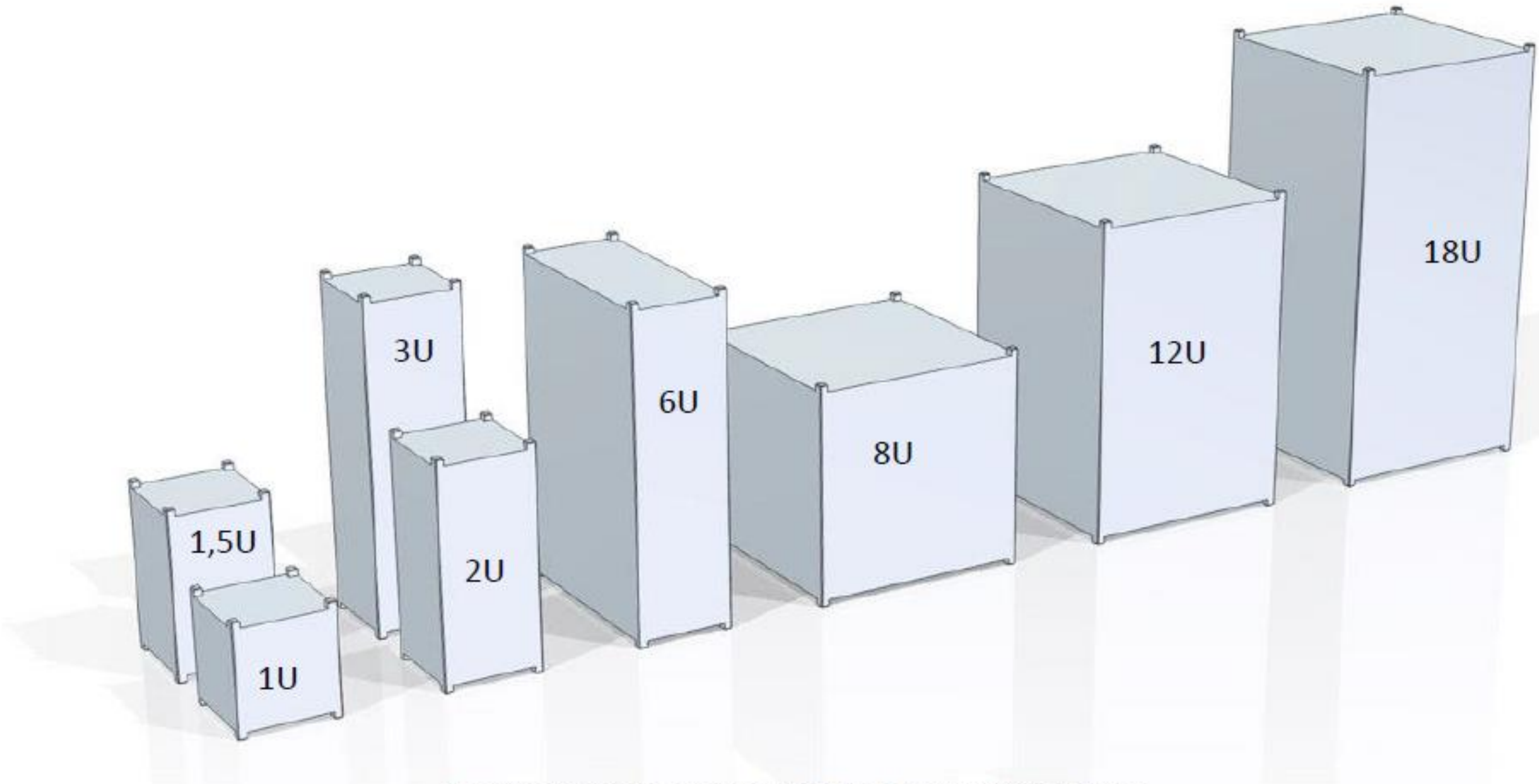
Figure 3. Original CubeSat

http://www.jossonline.com/wp-content/uploads/2014/12/0101-Thinking-Outside-the-Box-Space-Science-Beyond-the-CubeSat.pdf

CUBESAT – PADRÃO DE ESPECIFICAÇÃO

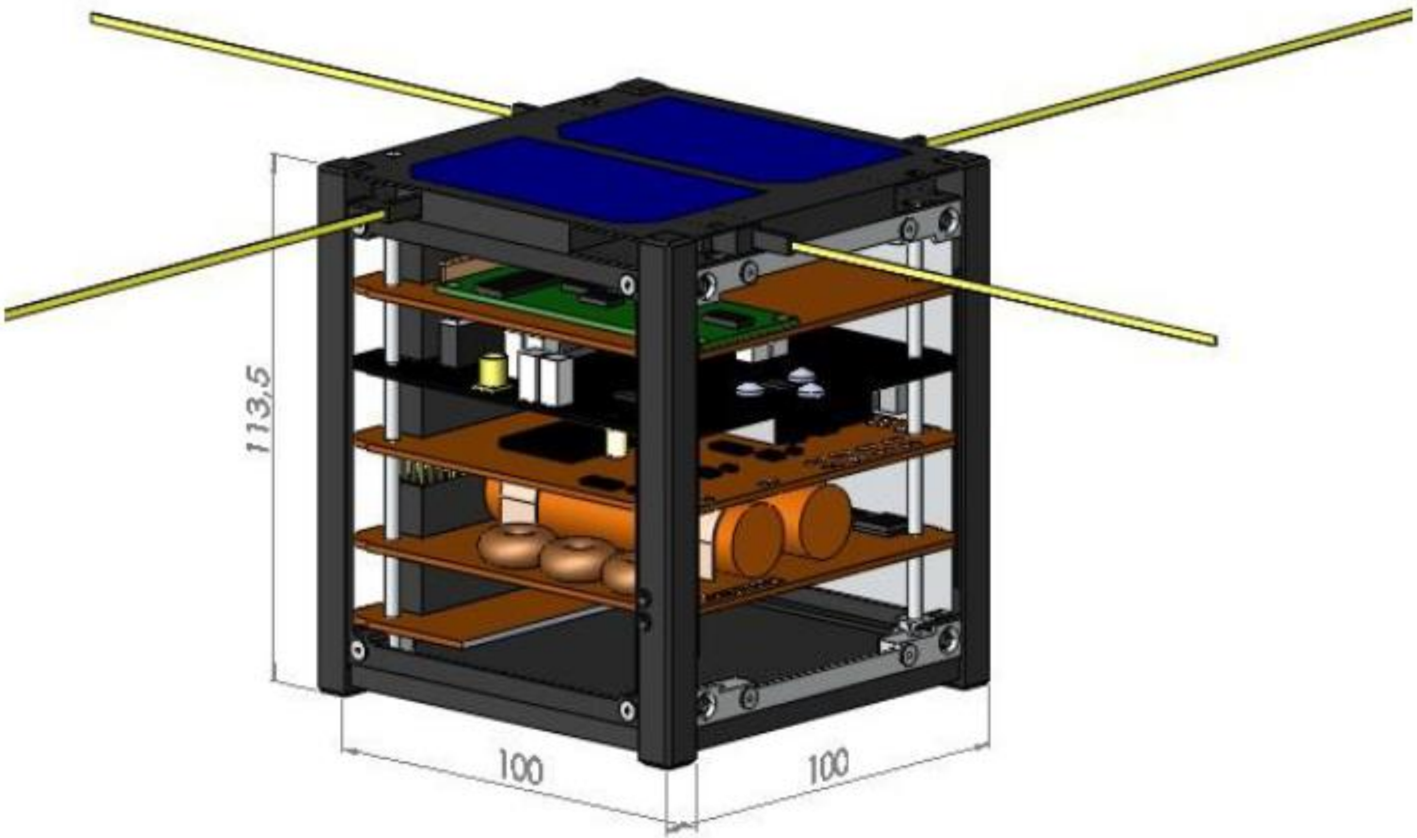


Combinações de unidades de Cubesat

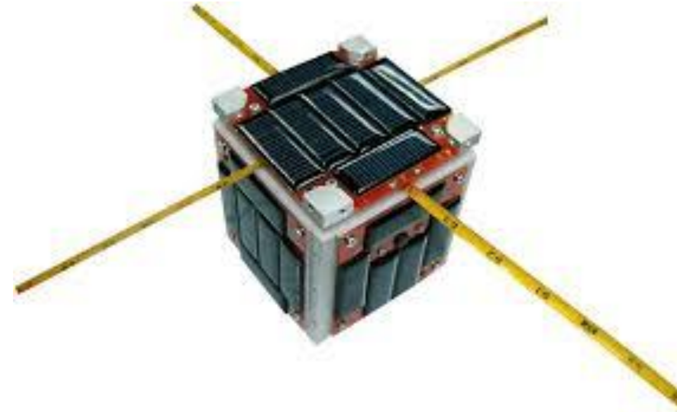


https://www.ecm-space.de/index.php/launch-adapters-h/cubesat-sizes

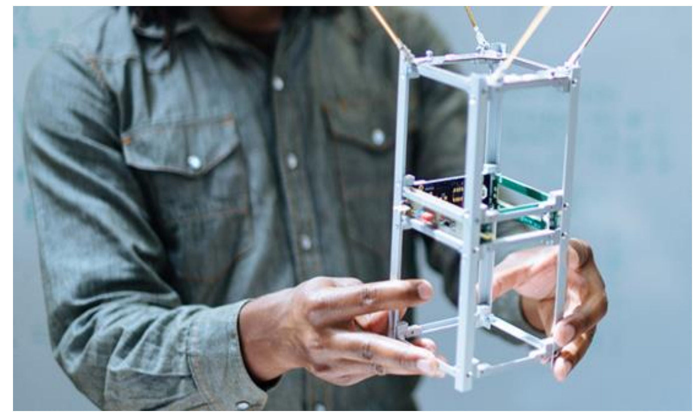
PADRÃO 1U



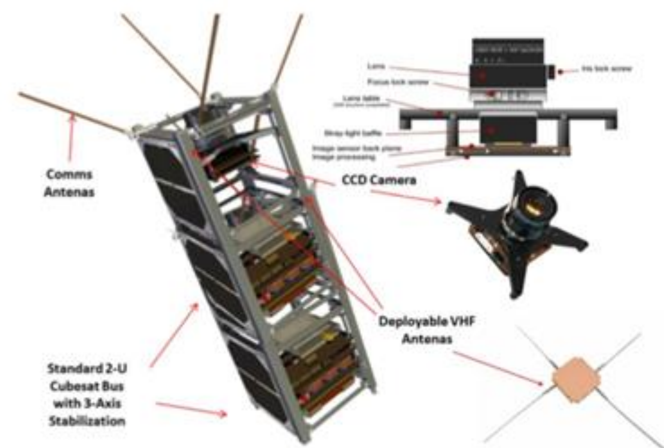
Cubesats



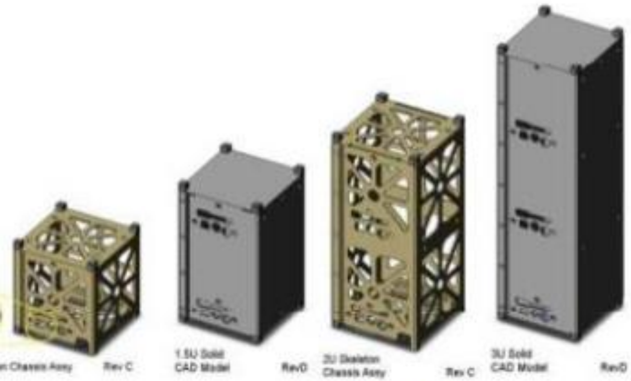
- Miniaturização



- Experiência em Eng. Espacial
  - Educacional
- Teste de tecnologias
- Experimentos Científicos

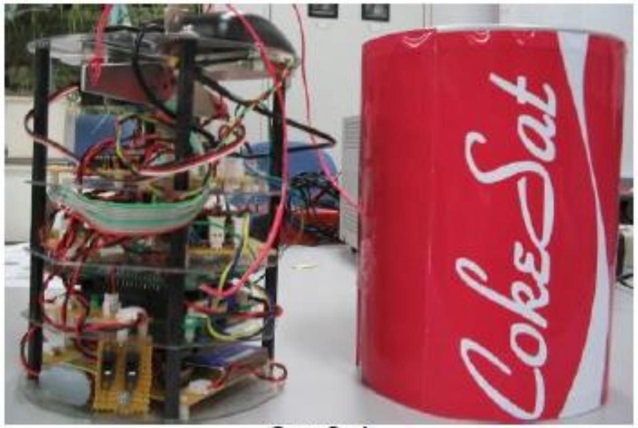


Small Sats (até 10kgs) :



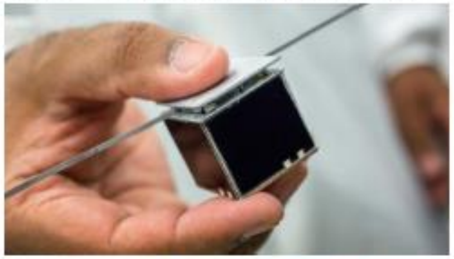
CubeSats

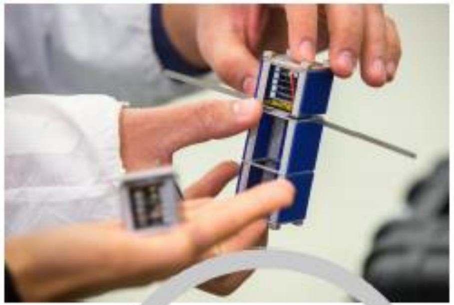
PocketQub

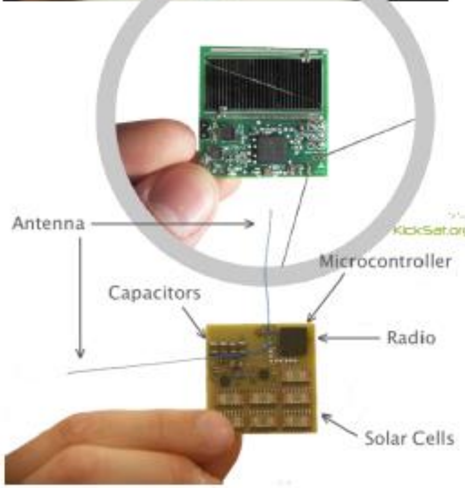


CanSat

ASU's SunCube FemtoSat



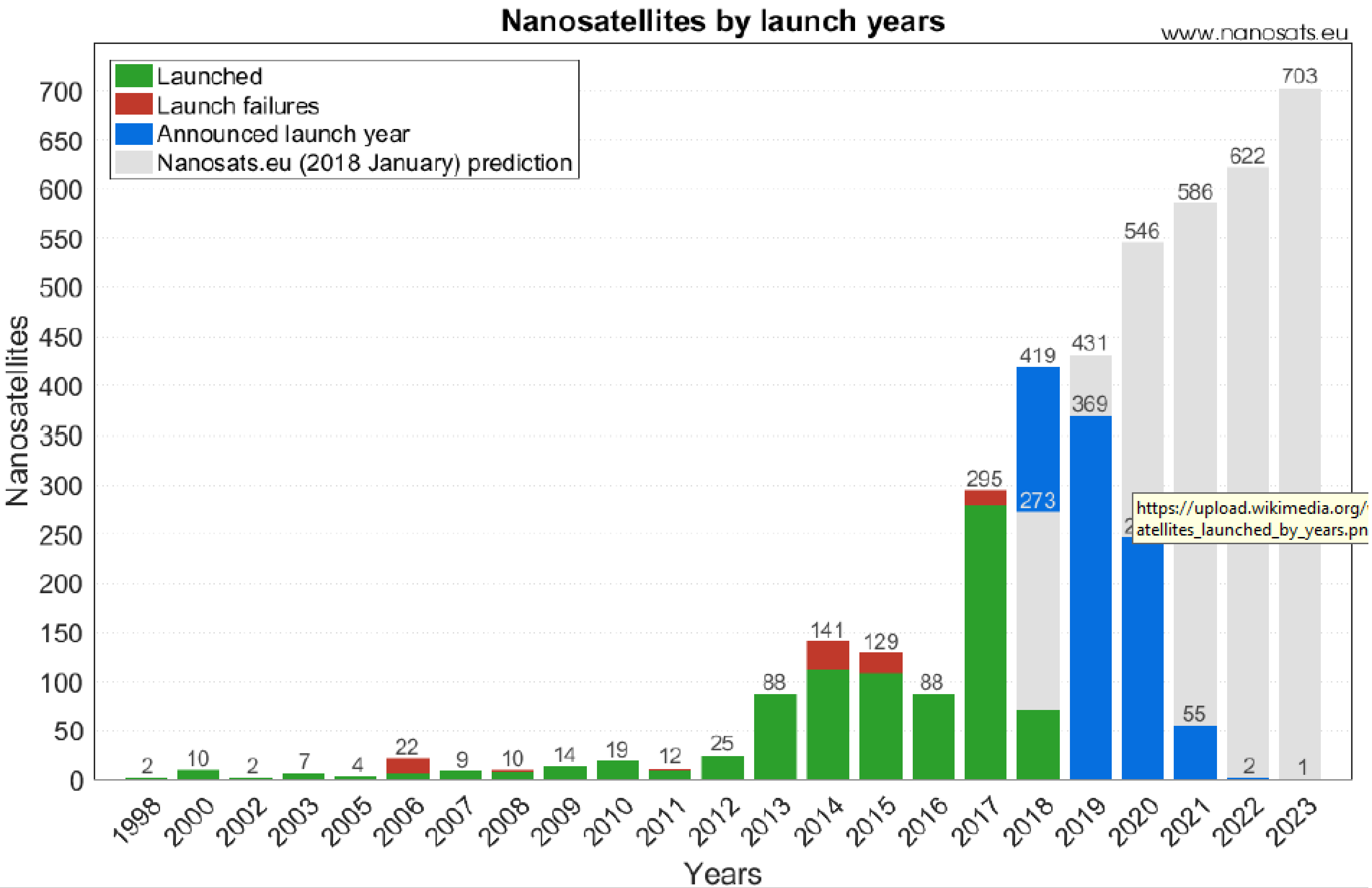




https://asunow.asu.edu/20160406-creativity-asu-suncube-femtosat-space-exploration-for-everyone

POR QUE CUBESATS?

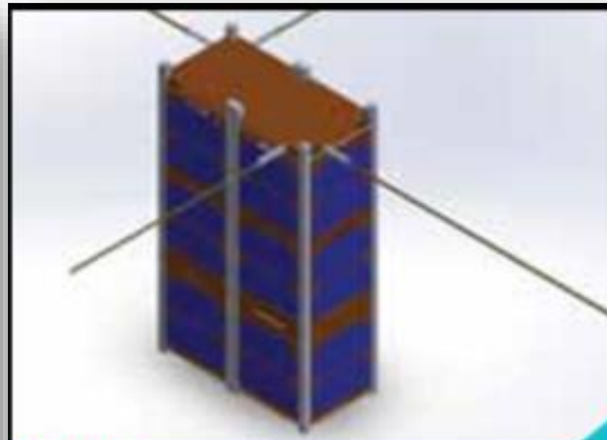
- Grandes - > 1 ou 2 ton
- Médios – 500 kg. a 1 ton
- Pequenos – até 500 kg.
  - Mini – 50 a 100 kg.
  - Micro – 10 a 50 kg.
  - Nano – 1 a 10 kg.
  - Pico - < 1 kg.


Nanosatellites by launch years
www.nanosats.eu
Launched
Launch failures
Announced launch year
Nanosats.eu (2018 January) prediction
Nanosatellites
Years
0
50
100
150
200
250
300
350
400
450
500
550
600
650
700
1998
2000
2002
2003
2005
2006
2007
2008
2009
2010
2011
2012
2013
2014
2015
2016
2017
2018
2019
2020
2021
2022
2023
2
10
2
7
4
22
9
10
14
19
12
25
88
141
129
88
295
419
273
431
369
546
586
55
622
2
703
1
https://upload.wikimedia.org/
atellites_launched_by_years.pn

Alguns dos Pequenos satélites brasileiros

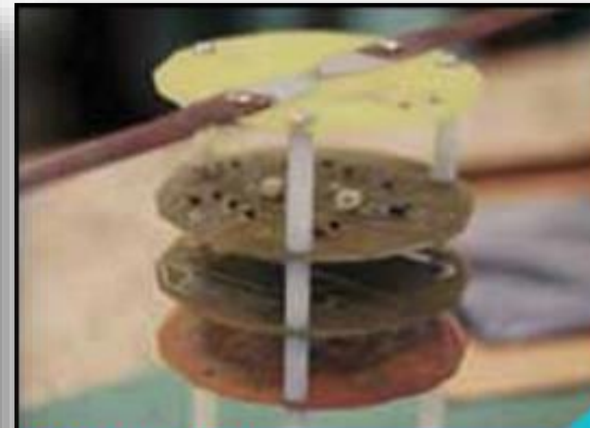
NANOSATC-BR1

Desenvolvimento Inpe e UFSM



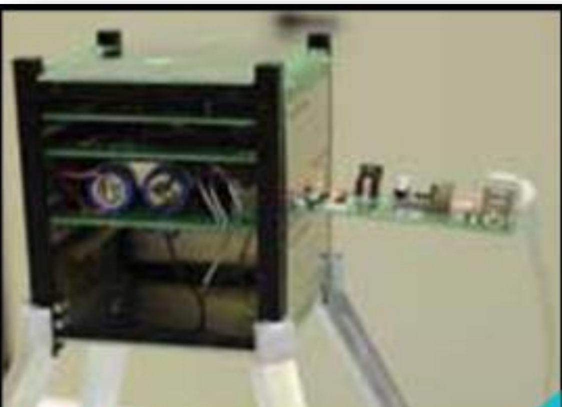
ITASAT

Desenvolvimento ITA e Inpe



TANCREDO-1

Desenvolvimento Escola Municipal Tancredo Neves e Inpe

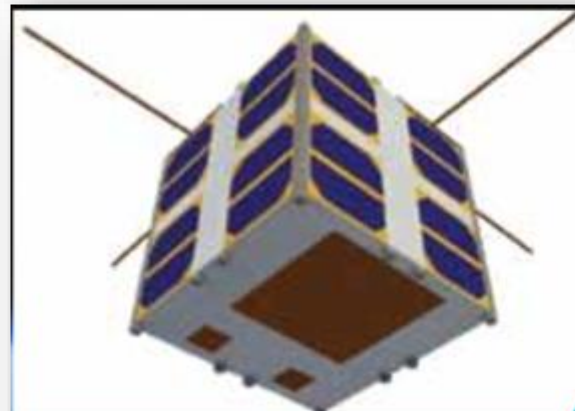


AESP-14

Desenvolvimento ITA e Inpe

SERPENS

Desenvolvimento Consórcio de universidades, com apoio da AEB

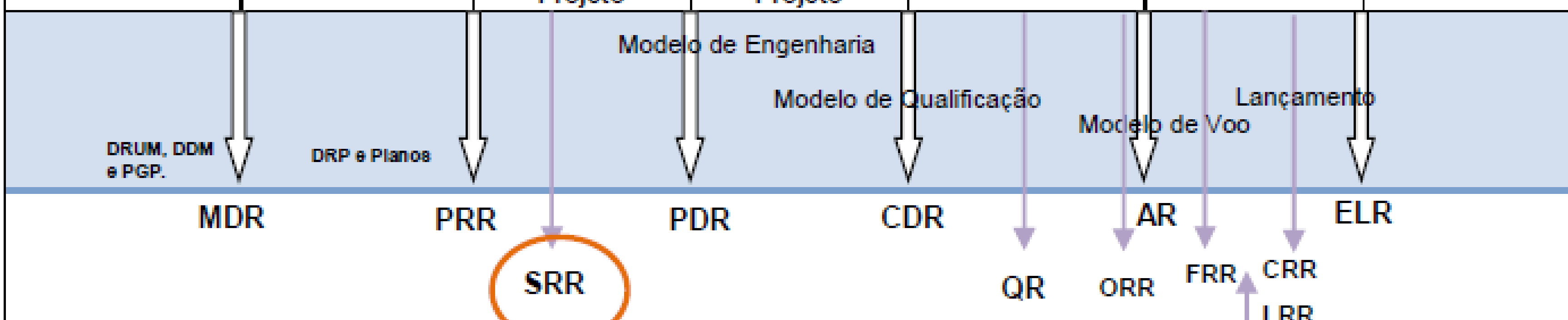


CONASAT

Desenvolvimento Inpe

Fazer um Cubesat exige um grande planejamento ...

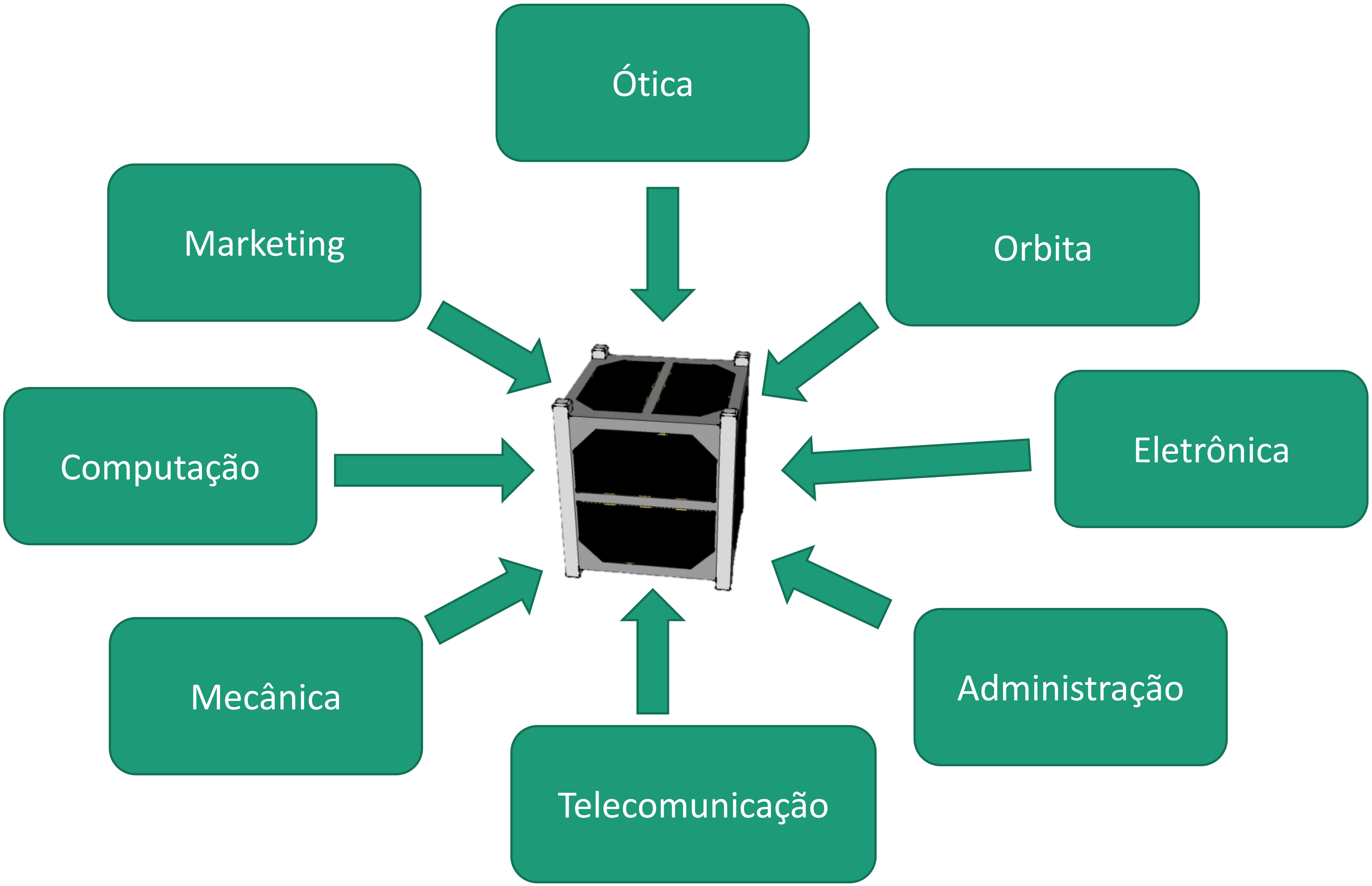
Concepção	Viabilidade	Projeto		Execução	Operação	Descarte
FASE 0	FASE A	FASE B	FASE C	FASE D	FASE E	FASE F
Análise de Missão	Análise de viabilidade	Definição Preliminar do Projeto	Definição Detalhada do Projeto	Produção e Qualificação	Operação	Descarte



MDR – Revisão de Definição da Missão
PRR – Revisão de Requisitos Preliminares
PDR – Revisão de Projeto Preliminar
CDR – Revisão Detalhada do Projeto
AR – Revisão de Aceitação
ELR – Revisão do final de vida

SRR – Revisão de Requisitos do Sistema
QR – Revisão de Qualificação
FRR – Revisão de Prontidão para Voo
ORR – Revisão de Prontidão para Operação
LRR – Revisão de Prontidão para Lançamento
CRR – Revisão de comissionamento (teste órbita)

... E diferentes disciplinas...



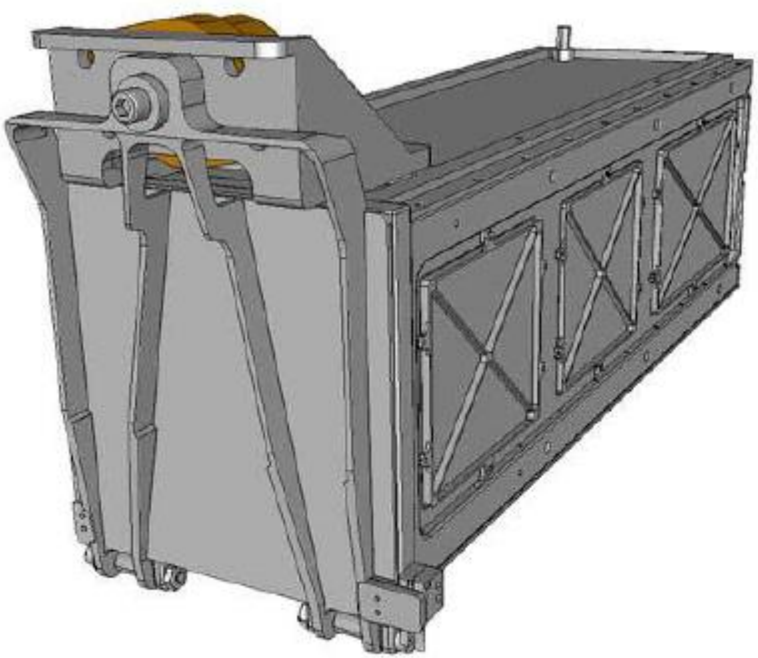
LANÇAMENTO

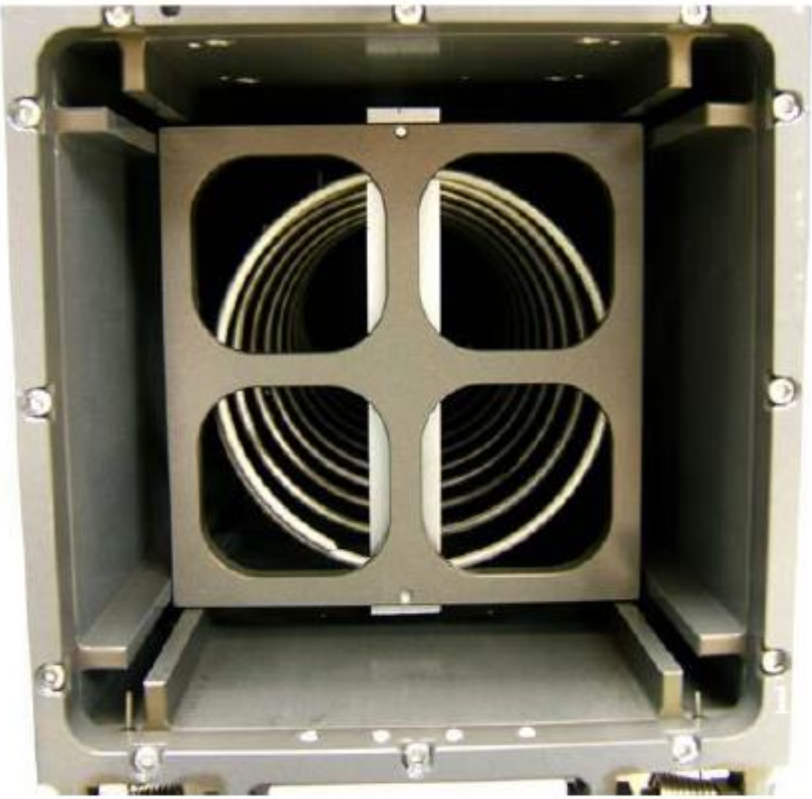
- Carona; órbita polar; lançamento "terciário"
- Baixo custo; em torno de 150 KUS$
- PSLV (Índia); DNPER (Rússia); VEGA (ESA); LM (China); Soyuz (Russia); ISS; VLM (?) (Brasil – 2021? Cooperação com o DLR)
- Dificuldade de lançamento dedicado; alto custo em relação ao custo do cubesat (100 KUS$ + estação 100 KUS$)
- Busca por lançadores de pequeno porte (VLS/VLM); NASA; RocketLab; Virgin etc

Além de padronizar os satélites, padronizou-se a interface de transporte

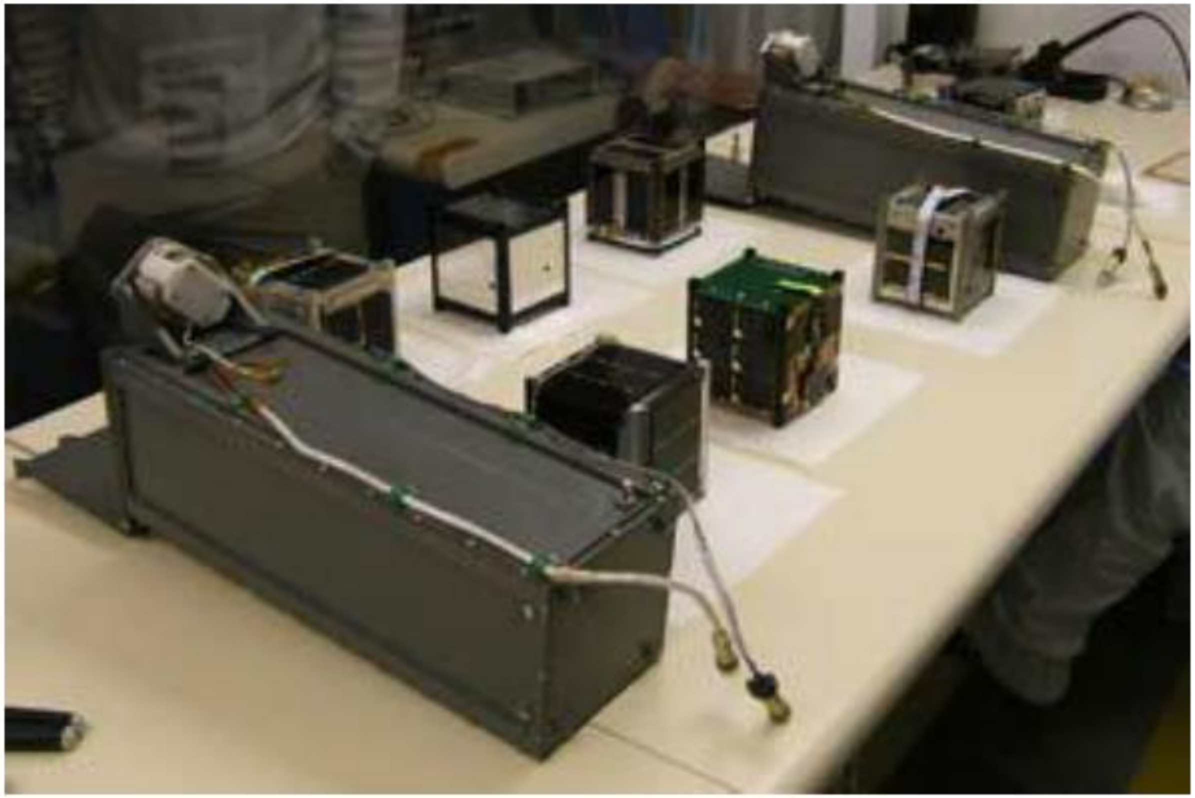
INTERFACE COM O LANÇADOR

- Padrão (P-POD MkIII ICD)
- POD – Picosatellite Orbit Deployer





CUBESATS E P-POD´S

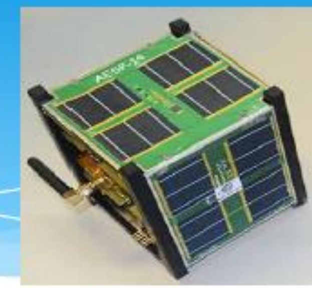


SATÉLITES MINIATURIZADOS

SpaceX

Dragon

ISS



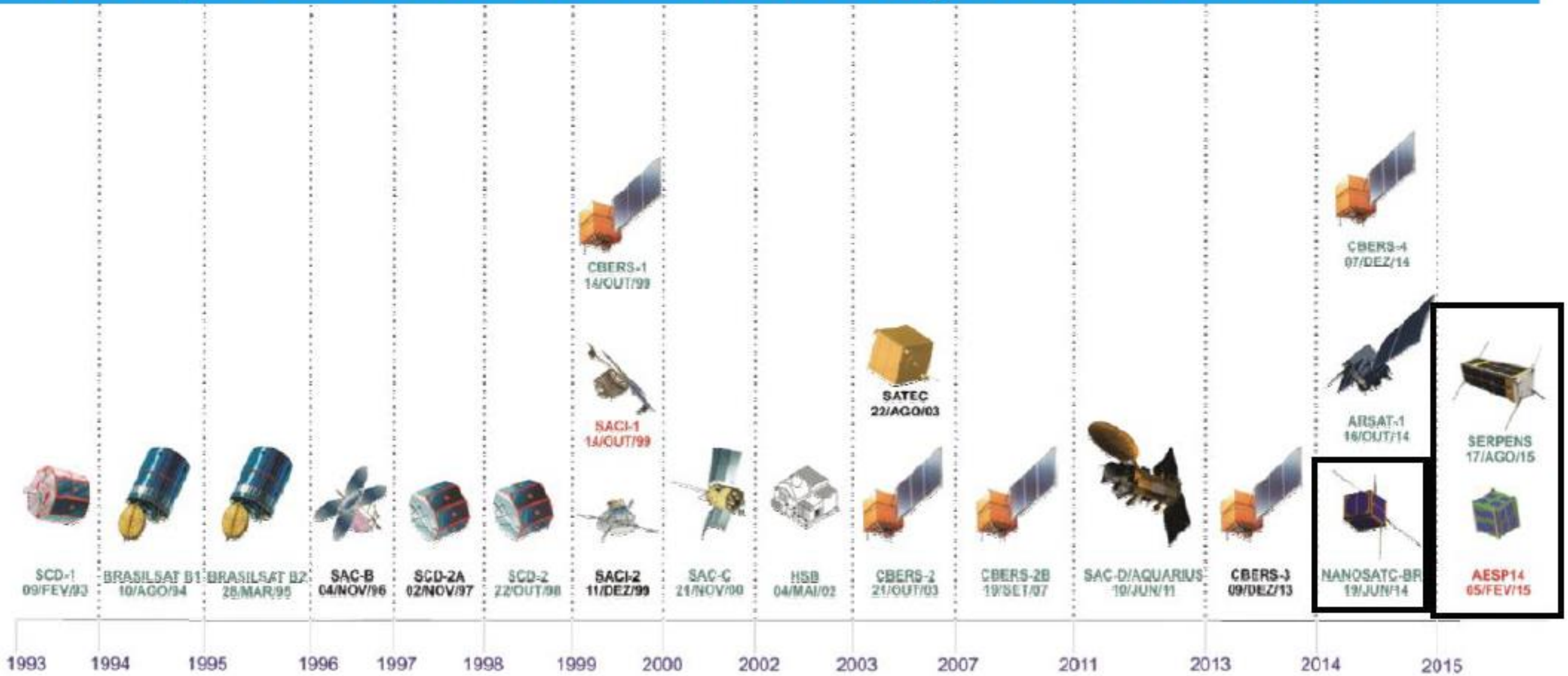
AESP-14
(ITA/INPE)
(2015)
400 km

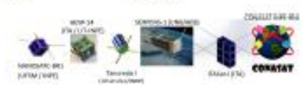
Falcon-9

P-POD

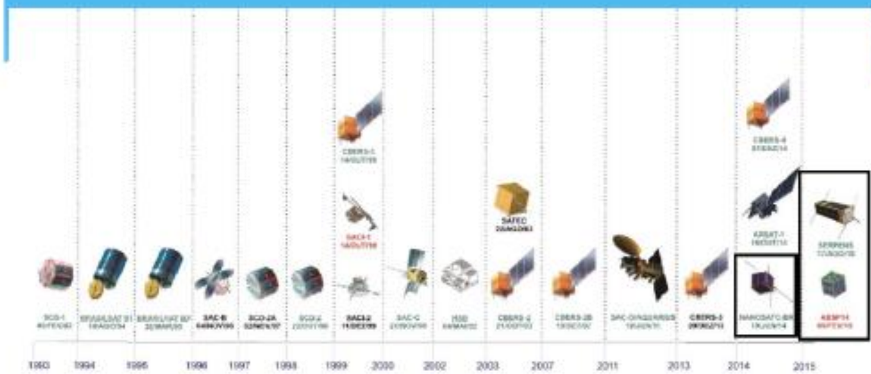
Missões Cubesats no INPE

INPE, seus satélites e introdução a cubesats





INPE, seus satélites e introdução a cubesats



AESP-14
(ITA / LIT-INPE)

SERPENS-1 (UNB/AEB)

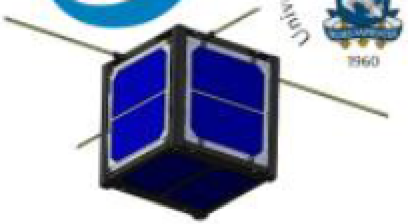
CONASAT INPE-RN

NANOSATC-BR1
(UFSM / INPE)

Tancredo I
(Ubatuba/INPE)

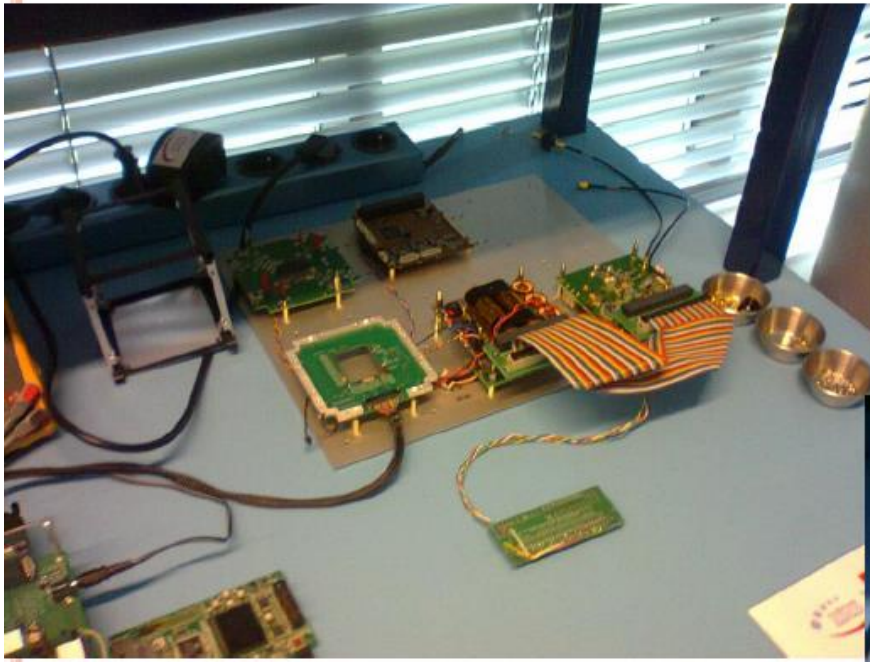
ITASat-I (ITA)

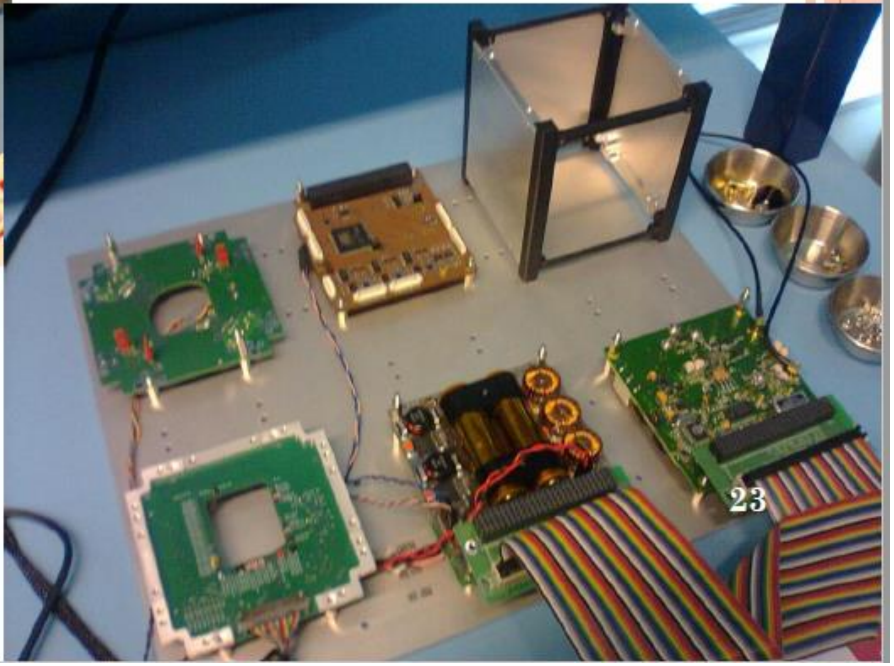
NanosatC-Br1



- Cooperação INPE/CRS e UFSM
- Objetivos
  - Missão científica – magnetômetro; medidas do campo magnético na AMAS
  - Missão tecnológica – testes de CI´s projetados no Brasil para uso espacial (resistentes à radiação – pioneiros)
    - FPGA com software tolerante a falha e driver on/off
  - Acadêmicos – formação de alunos de graduação
- Compra da plataforma e estação e desenvolvimento da carga útil, AIT e operação.

NanosatC-Br1 - plataforma



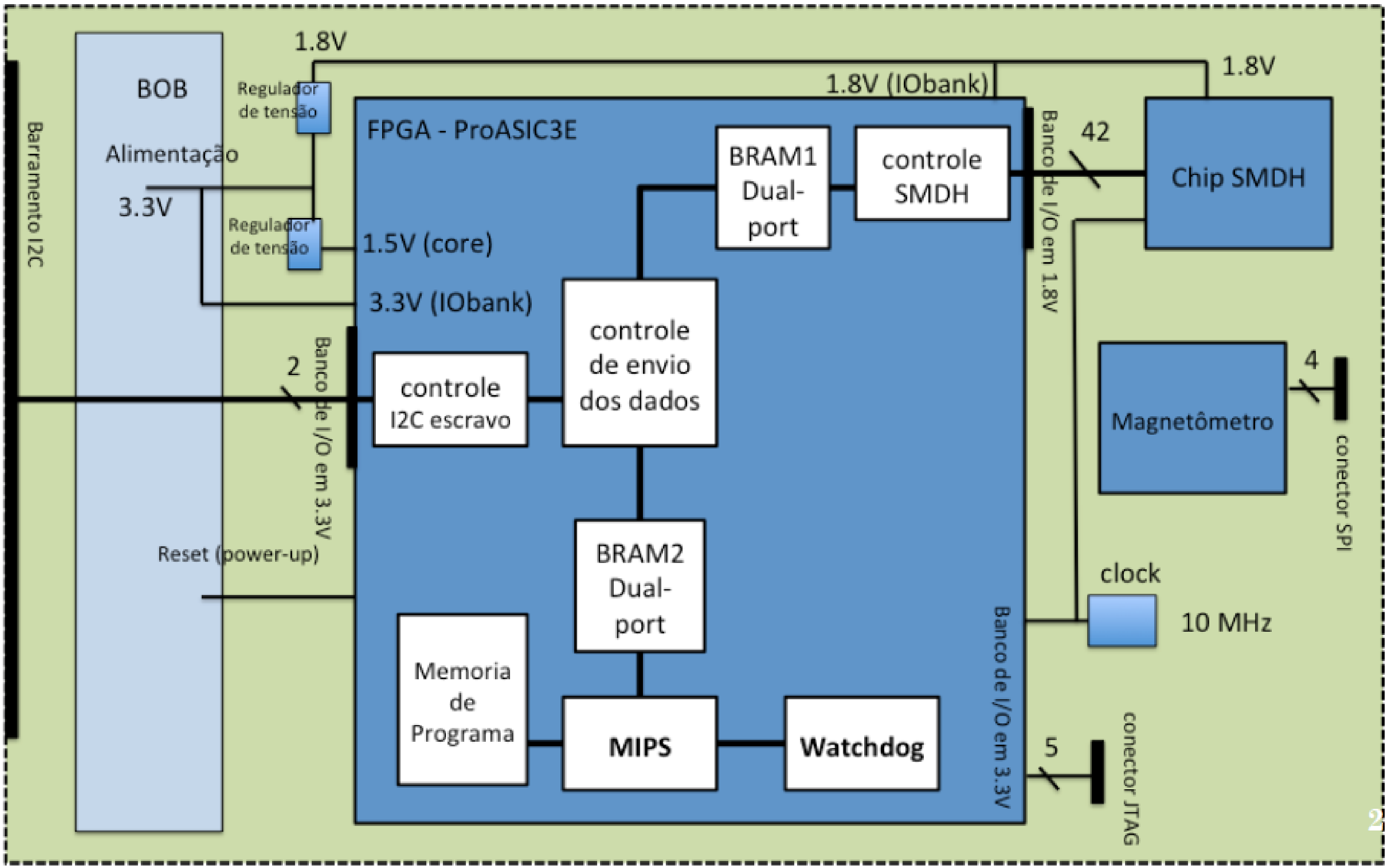


NanosatC-Br1 - MV

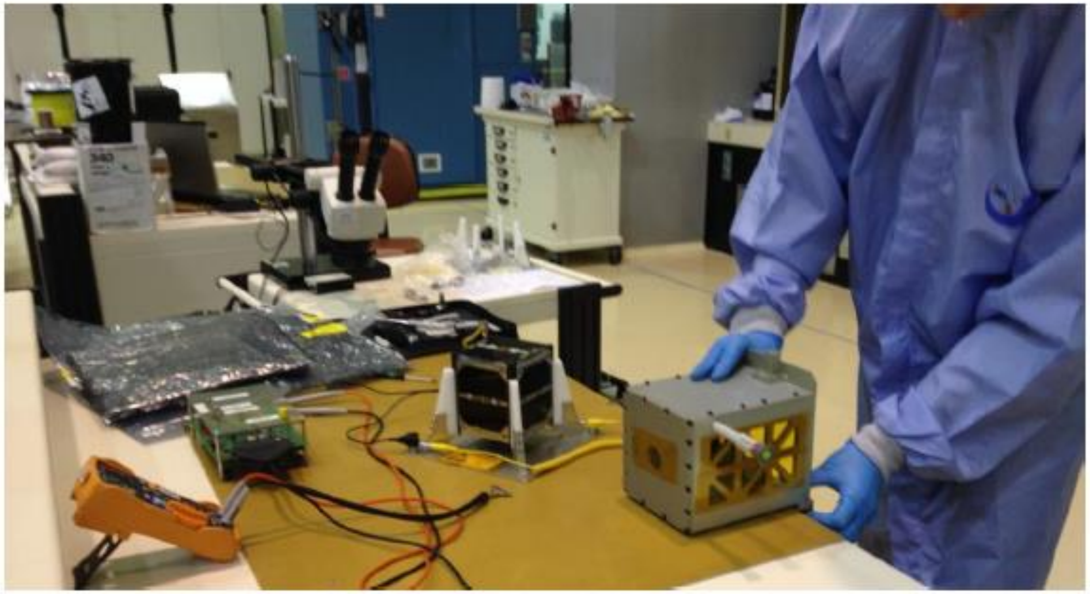
NanosatC-Br1 – cargas úteis

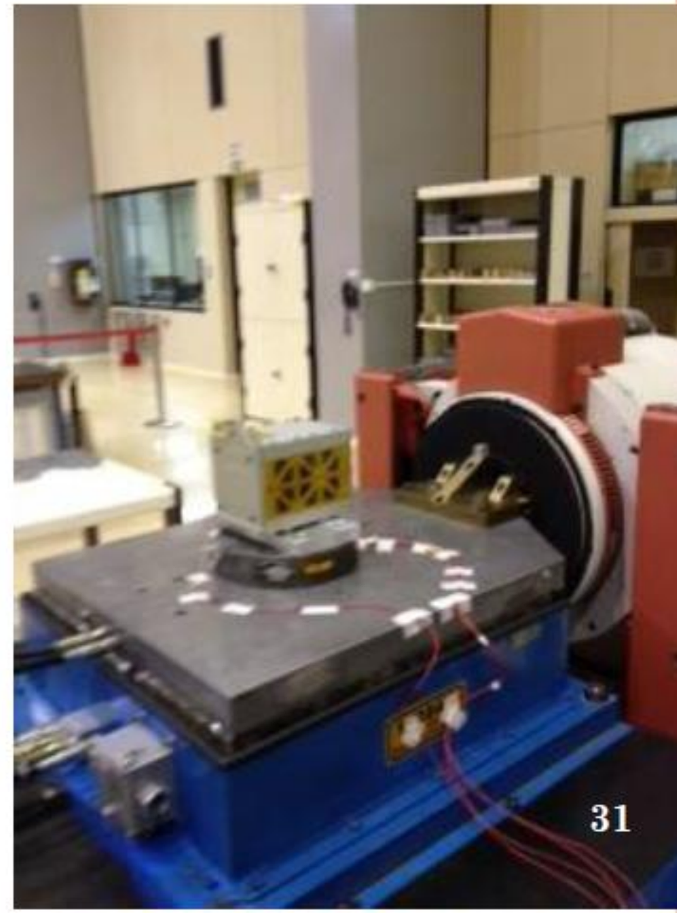
- Magnetômetro – XEN1210, XI 2x2x4 mm., 3 eixos + eletrônica
- Driver on/off
  - Projeto SMDH biblioteca in house
    - Projeto com proteção à radiação; pioneiro no país
  - Protótipo fabricado no exterior
  - Demanda do INPE/DEA/PMM
- FPGA
  - UFRGS – Lab. Informática
  - Resistência à radiação por software tolerante a falha; pioneiro no país; testado em solo no IEAv. para dose acumulada.
  - Componente industrial
  - Aplicação pioneira

Placa de carga útil do NanosatC-Br1

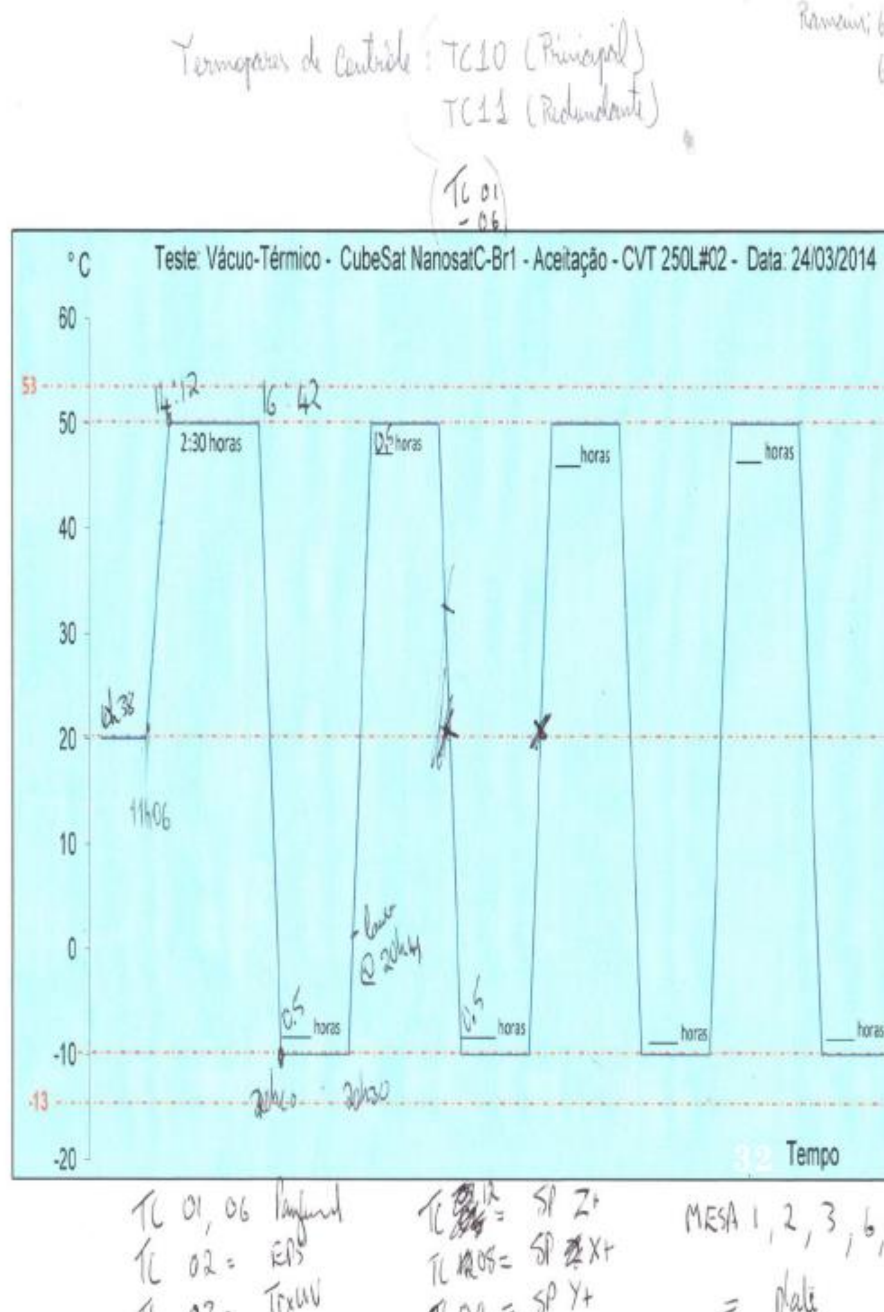


TESTES - VIBRAÇÃO

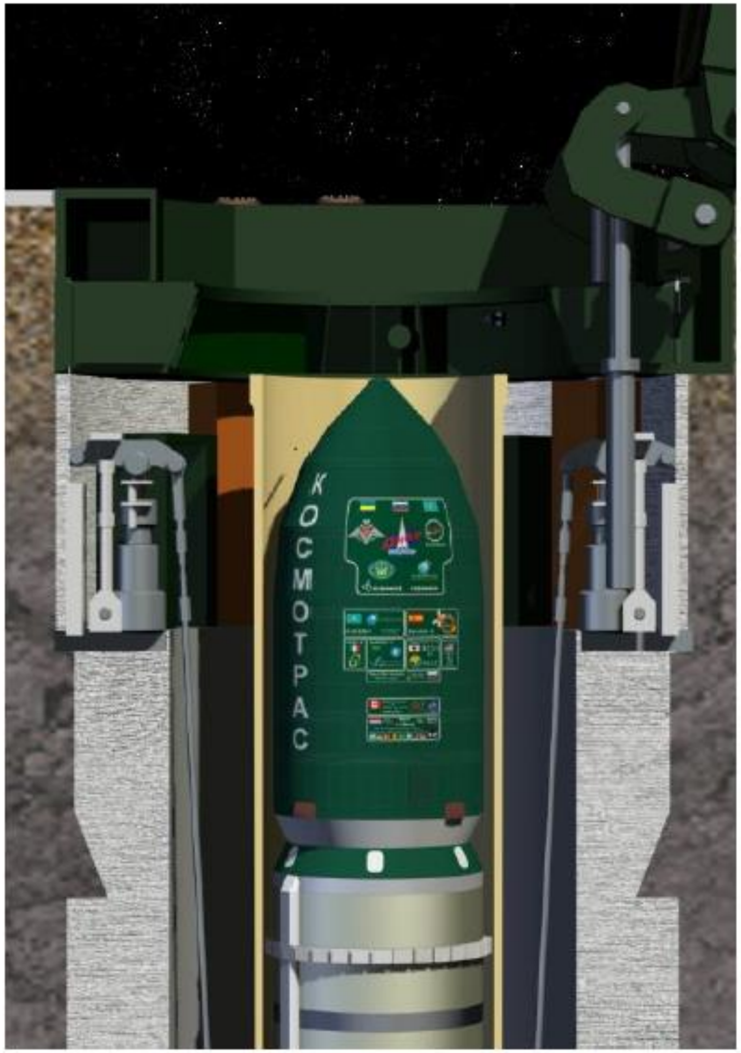




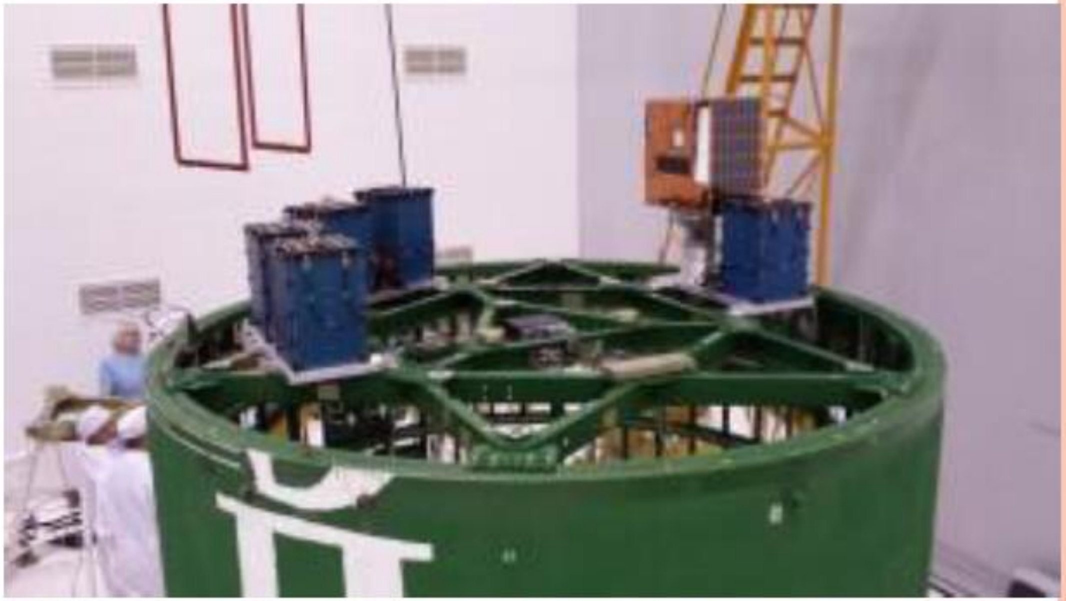
TESTES - TÉRMICOS



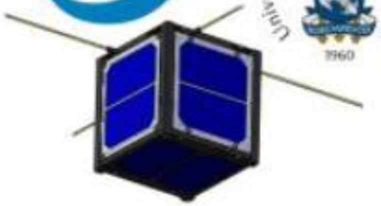
NanosatC-Br1 – Lançamento



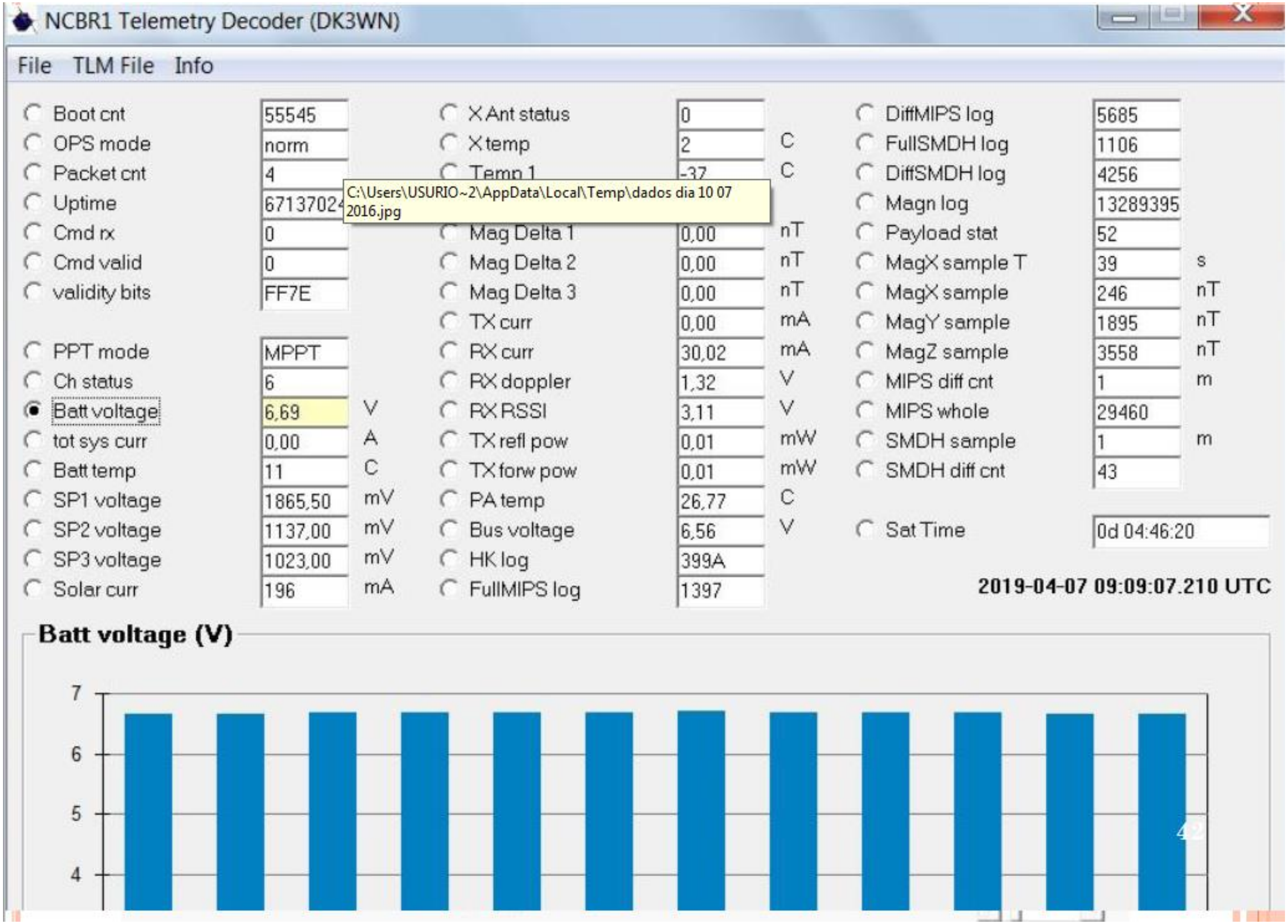
NCBR1 – DNEPR, YASNY



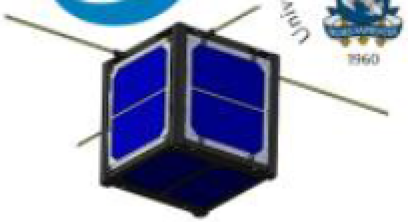
NCBR1 – Operação



- Elementos orbitais da Plataforma A
- Lançado em modo de segurança
  - Transmissão em código Morse – beacon
- Variação de frequência do sinal devido ao efeito Dopler e à temperatura
- Envio de telecomandos
- Mudança para modo nominal
  - Transmissão digital em hexa
    - Beacon – 165 bytes
    - Arquivos de carga útil e parâmetros da plataforma
  - Decodificação para valores de engenharia


NCBR1 Telemetry Decoder (DK3WN)
File
TLM File
Info
Boot cnt 55545
OPS mode norm
Packet cnt 4
Uptime 67137024
Cmd rx 0
Cmd valid 0
validity bits FF7E
PPT mode MPPT
Ch status 6
Batt voltage 6,69 V
tot sys curr 0,00 A
Batt temp 11 C
SP1 voltage 1865,50 mV
SP2 voltage 1137,00 mV
SP3 voltage 1023,00 mV
Solar curr 196 mA
X Ant status 0
X temp 2 C
Temp 1 -37 C
C:\Users\USURIO~2\AppData\Local\Temp\dados dia 10 07 2016.jpg
Mag Delta 1 0,00 nT
Mag Delta 2 0,00 nT
Mag Delta 3 0,00 nT
TX curr 0,00 mA
RX curr 30,02 mA
RX doppler 1,32 V
RX RSSI 3,11 V
TX refl pow 0,01 mW
TX forw pow 0,01 mW
PA temp 26,77 C
Bus voltage 6,56 V
HK log 399A
FullMIPS log 1397
DiffMIPS log 5685
FullSMDH log 1106
DiffSMDH log 4256
Magn log 13289395
Payload stat 52
MagX sample T 39 s
MagX sample 246 nT
MagY sample 1895 nT
MagZ sample 3558 nT
MIPS diff cnt 1 m
MIPS whole 29460
SMDH sample 1 m
SMDH diff cnt 43
Sat Time 0d 04:46:20
2019-04-07 09:09:07.210 UTC
Batt voltage (V)
7
6
5
4

NCBR1 – Operação (2)

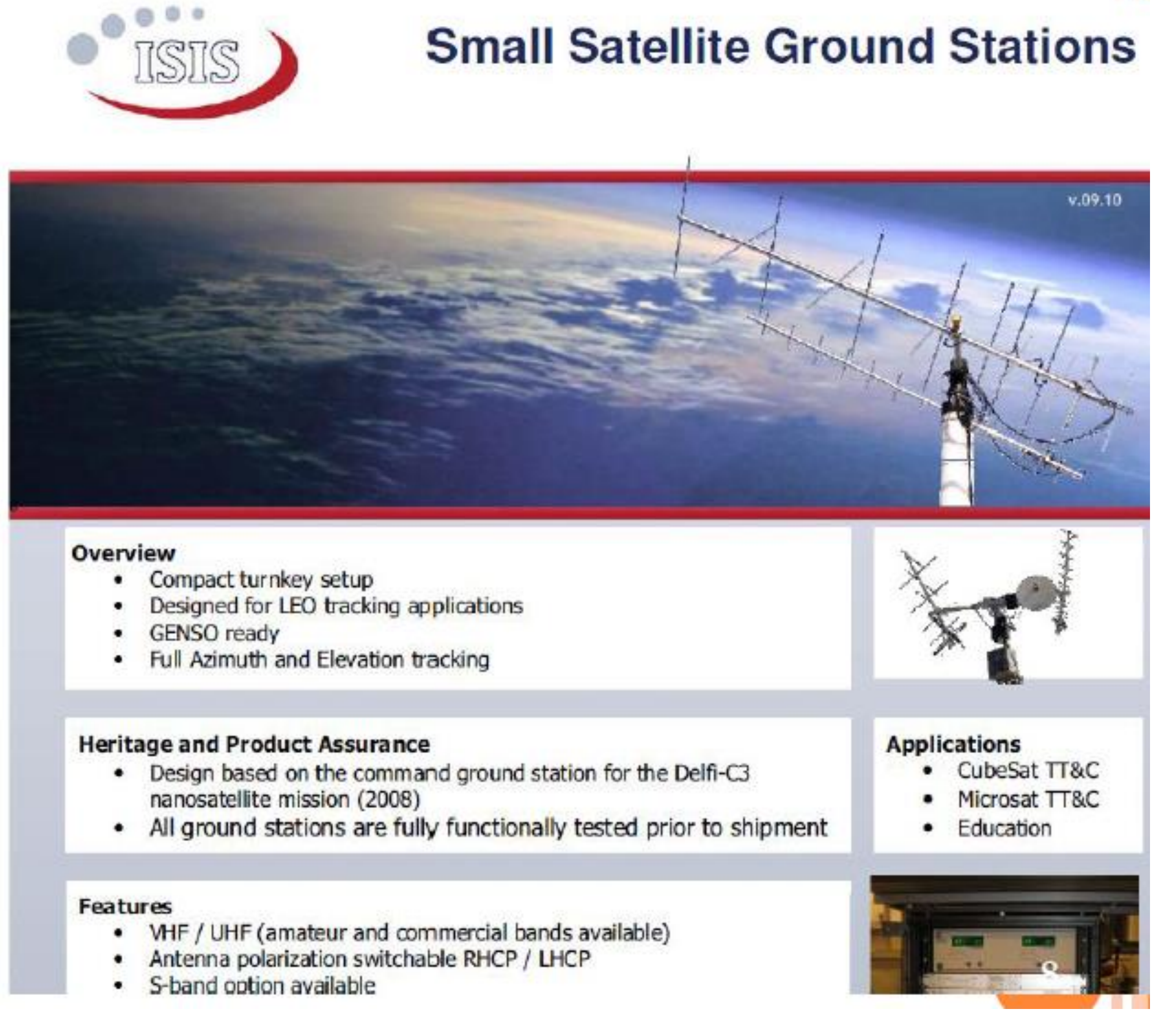


- Dois outros modos de operação
  - Repouso (*idle*)
  - Estabilização (*detumbling*)
    - Baixa velocidade de rotação; diminuindo com o tempo
- Variação da frequência do sinal com a temperatura diminuindo
- Estação mestre de SM – envio de telecomandos

NCBR1 – OPERAÇÃO (3)

- Estação no ITA
- Estação no CRN em desenvolvimento – já operando o ITASAT
- Ambas (CRS e ITA) operacionais; por alunos
- Operação nominal, inclusive remotamente
- Banco de dados das cargas úteis e da plataforma enviados de SM e no ITA para o INPE SJC
- Acesso via internet através de cadastro e log in.
- Rastreio por radio amadores no Brasil e exterior

ESTAÇÃO



ISIS

Small Satellite Ground Stations

v.09.10

Overview
- Compact turnkey setup
- Designed for LEO tracking applications
- GENSO ready
- Full Azimuth and Elevation tracking

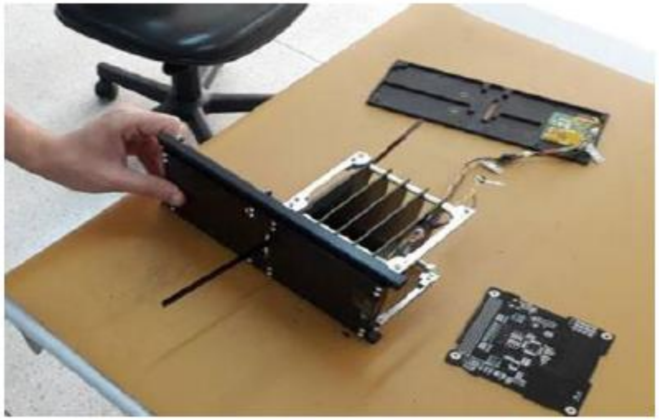
Heritage and Product Assurance
- Design based on the command ground station for the Delfi-C3 nanosatellite mission (2008)
- All ground stations are fully functionally tested prior to shipment

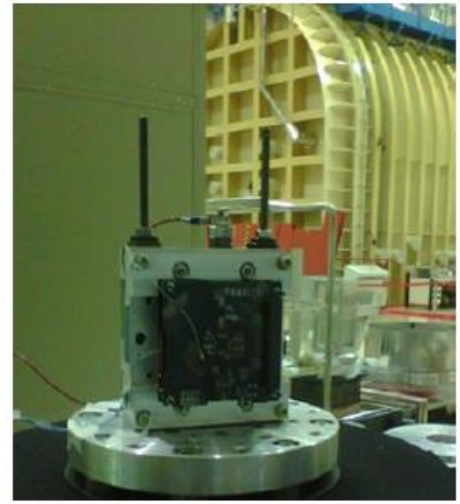
Applications
- CubeSat TT&C
- Microsat TT&C
- Education

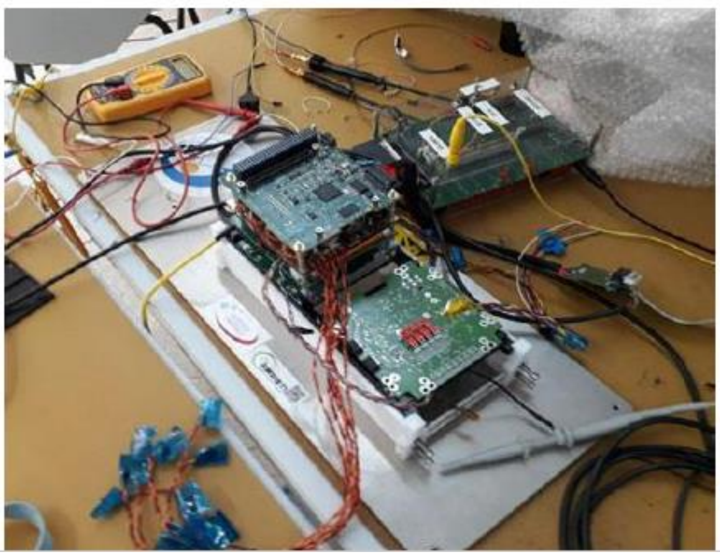
Features
- VHF / UHF (amateur and commercial bands available)
- Antenna polarization switchable RHCP / LHCP
- S-band option available

NanosatC-Br2

Cargas úteis científicas

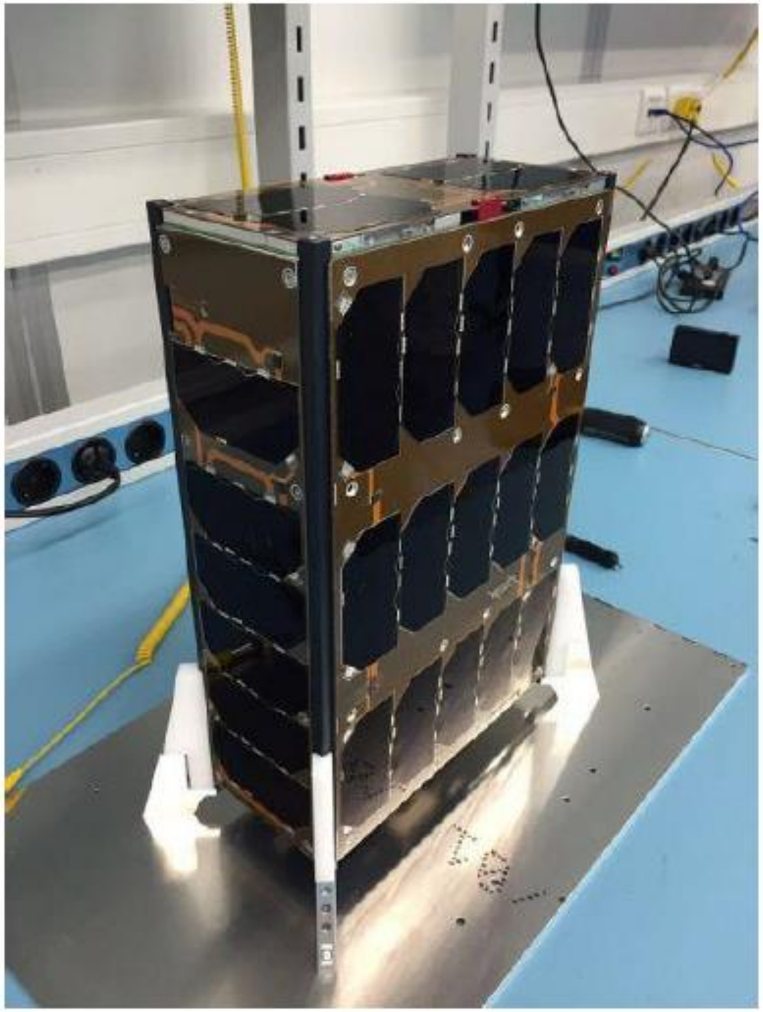






CARGAS ÚTEIS TECONOLÓGICAS

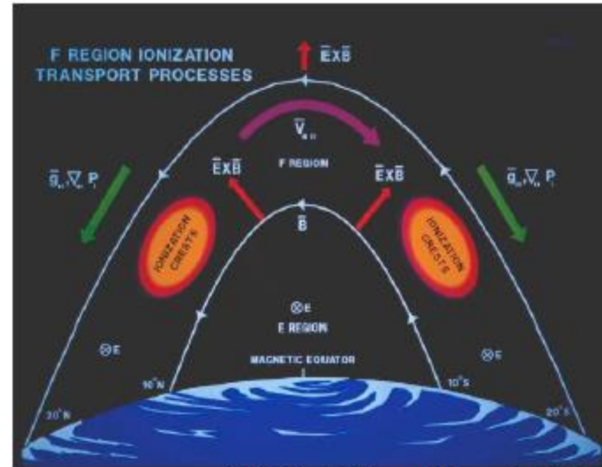
ITASAT



SPORT

- The equatorial ionization anomalies

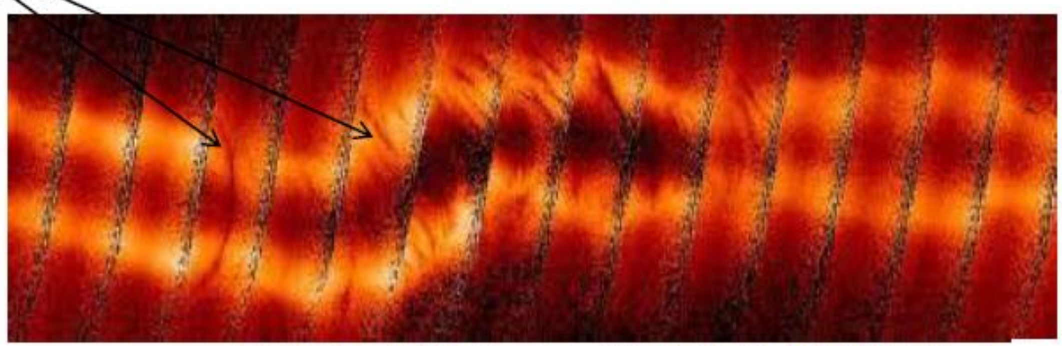
- Plasma Bubbles



Bela Fejer, The Equatorial Ionosphere: A Tutor
CEDAR Meeting, Seattle Washington, 2015

GUVI (Same Local Time, Different Longitudes)

Why do bubbles form and sometimes not at Different Longitudes?

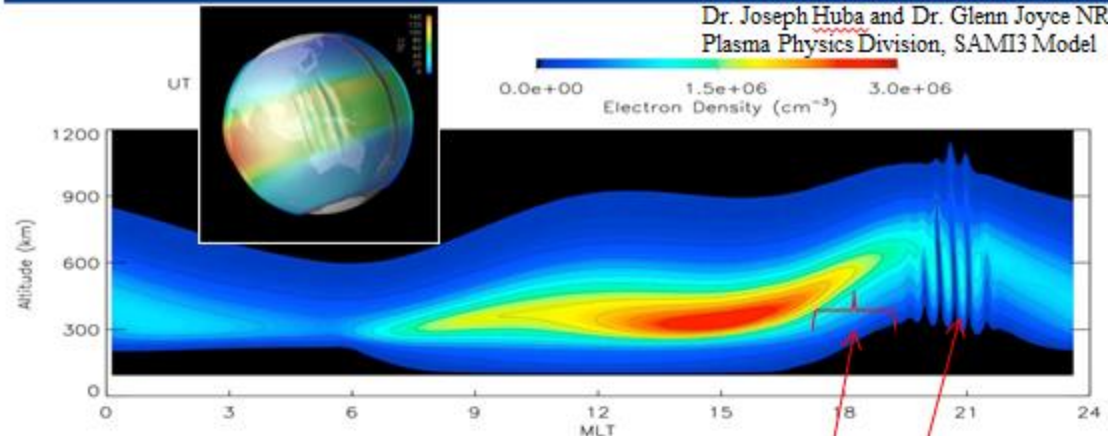


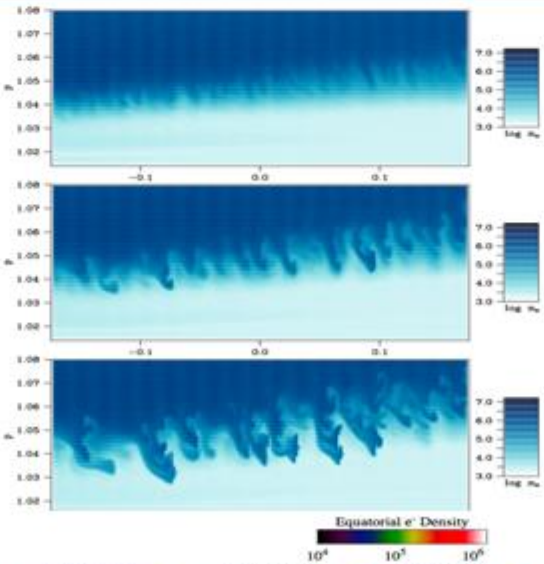
Kil, Hyosub, et al. "Coincident equatorial bubble detection by TIMED/GUVI and ROCSAT-1." Geophysical research letters 31.3 (2004).

Plasma Bubbles

About 1.5 Hours to form a bubble

Dr. Joseph Huba and Dr. Glenn Joyce NRL
Plasma Physics Division, SAMI3 Model

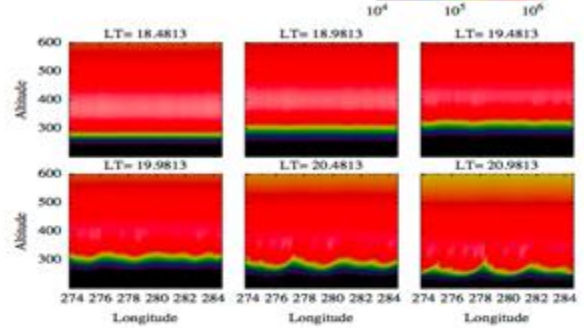




What is the state of the ionosphere here?

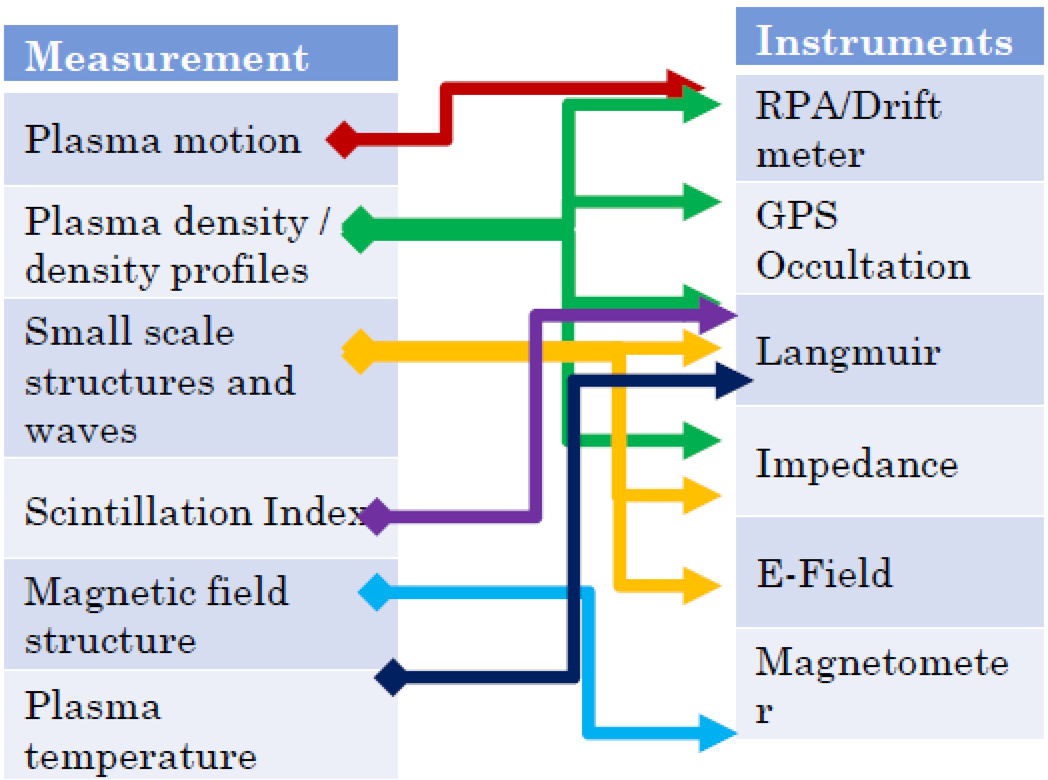
That leads to bubbles here ?

When bottom side seeding perturbations seem to always be present



Retterer, J. M., and P. Roddy. "Faith in a seed: on the origins of equatorial plasma bubbles." Annales Geophysicae. Vol. 32. No. 5. Copernicus GmbH, 2014.

MEASUREMENTS, INSTRUMENTS AND TOTAL S/C MASS

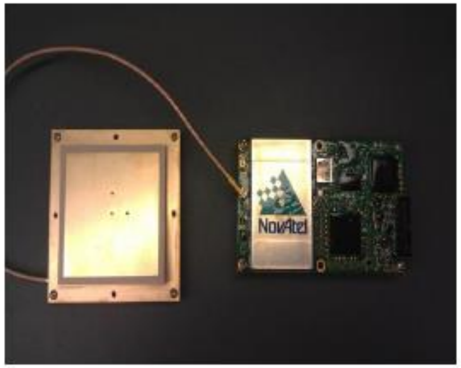


Component	TRL	Mass (g)
IVM	5	1000
GPS RO	8	200
E-Field	8	80
Langmuir	8	80
Impedance	5	160
Magnetometer	6	150
Star Camera	8	166
Mechanisms	7	380
Antennas	8	180
Solar Panels	8	700
CubeComputer	8	320
NanoMind	8	65
Syrlinks	8	225
TrxUV	8	85
NanoPower	8	320
iMTQ	8	194
Structure	8	3500
Total		**7805**
Nanoracks	9	16900
Margin		**9095**

SPORT Instruments

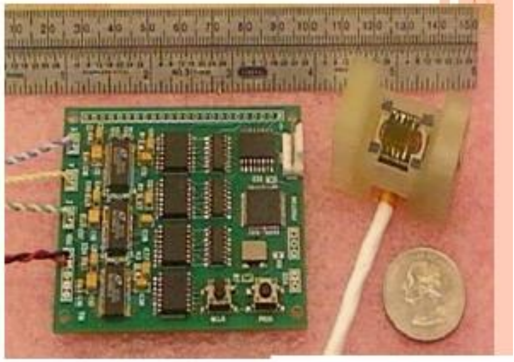
Ion Velocity Meter
UTD

GPS Occultation
Receiver
Aerospace

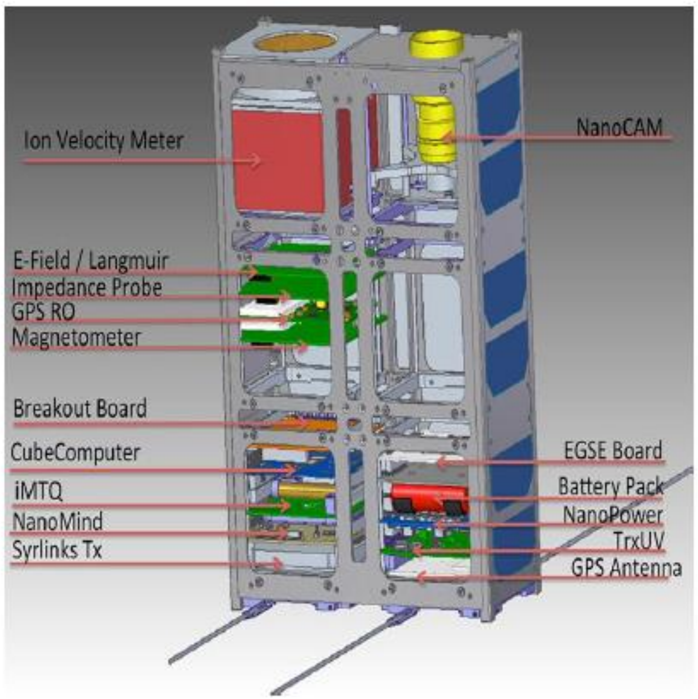


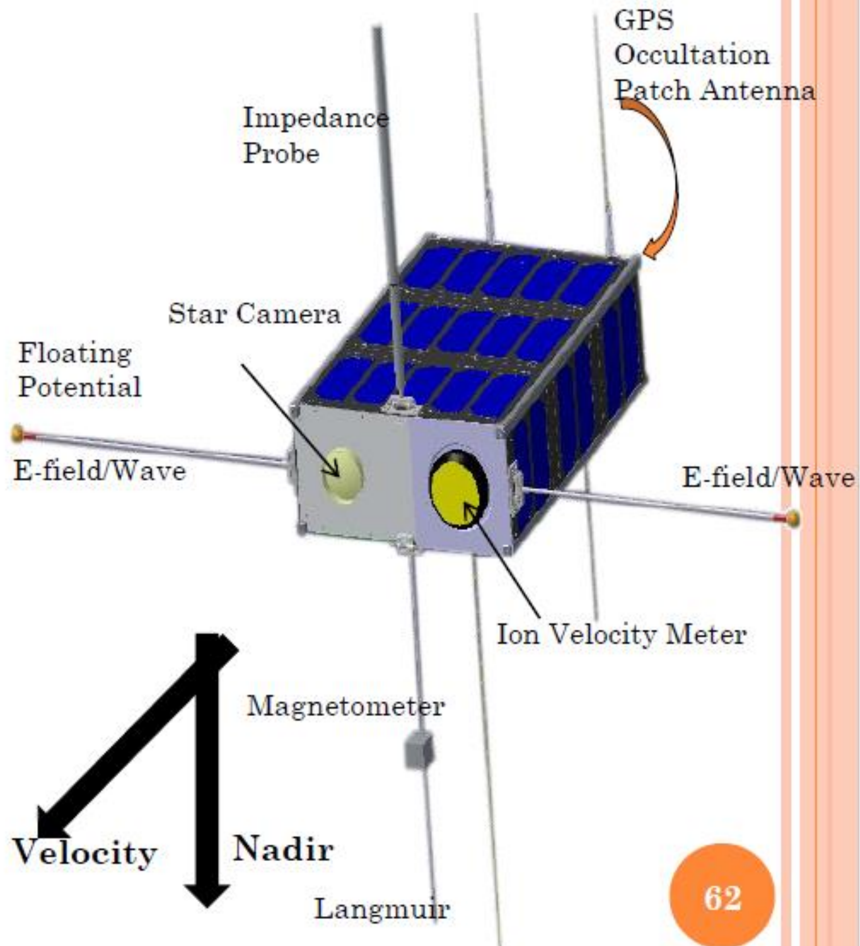
Langmuir, E-field,
Impedance Probe
USU

Fluxgate Magnetometer
NASA Goddard

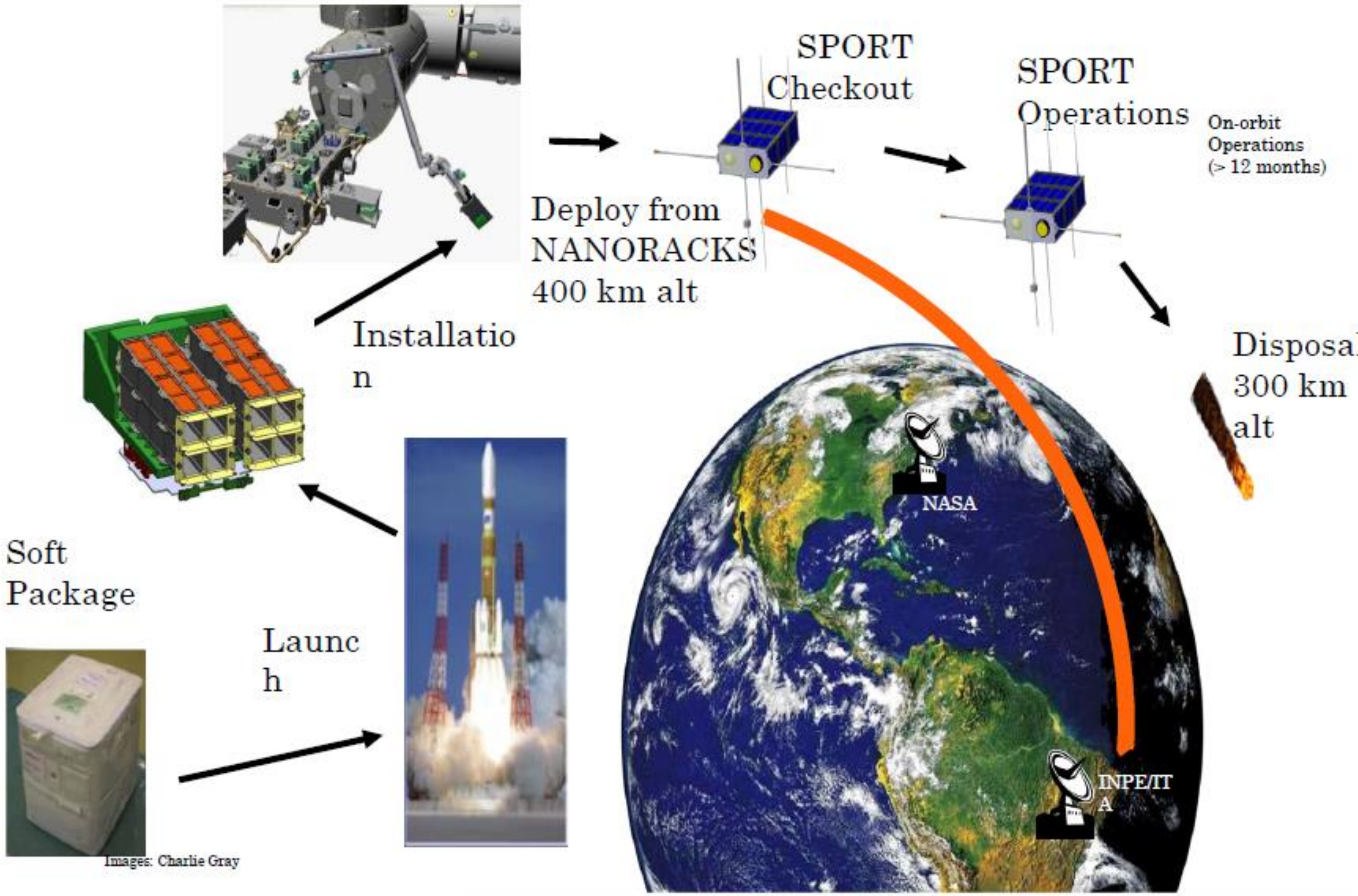


SATELLITE


Ion Velocity Meter
NanoCAM
E-Field / Langmuir
Impedance Probe
GPS RO
Magnetometer
Breakout Board
CubeComputer
iMTQ
NanoMind
Syrlinks Tx
EGSE Board
Battery Pack
NanoPower
TrxUV
GPS Antenna

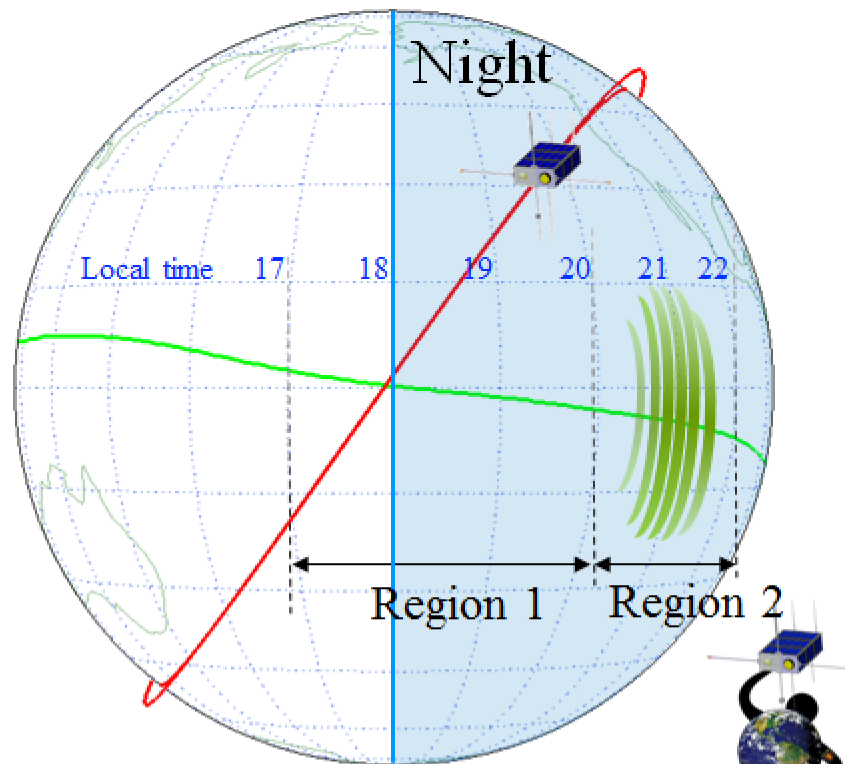

GPS
Occultation
Patch Antenna
Impedance
Probe
Star Camera
Floating
Potential
E-field/Wave
E-field/Wave
Ion Velocity Meter
Magnetometer
Velocity
Nadir
Langmuir
62

Mission ConOps

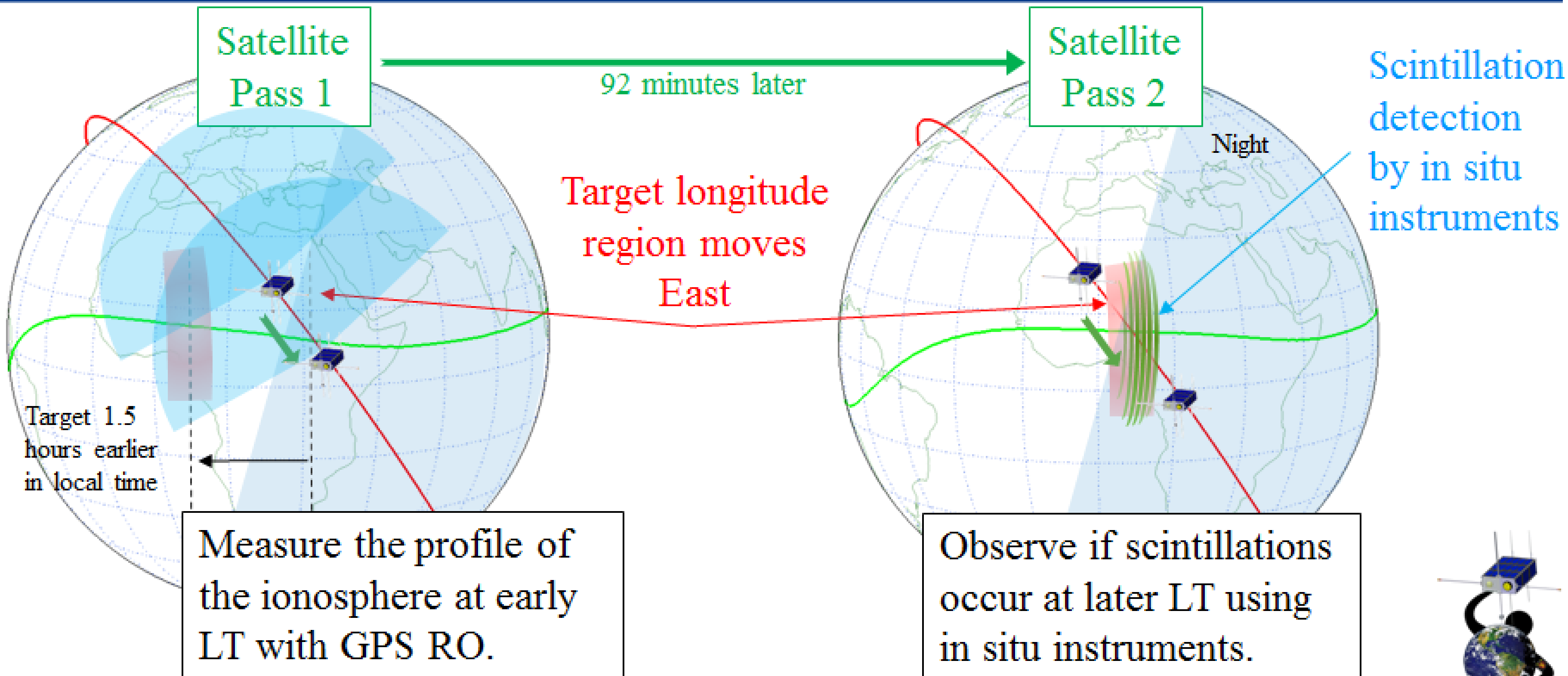


SPORT Methodology

- **The state of the ionosphere at early local times is related to the occurrence of scintillations at later local times.**
  - How does this relation vary with longitude?
- **Use case studies when SPORT ascending or descending node is within 17 to 24 LT sector.**
- **Examine ~15 degree longitude sectors**



Methodology Strategy 2

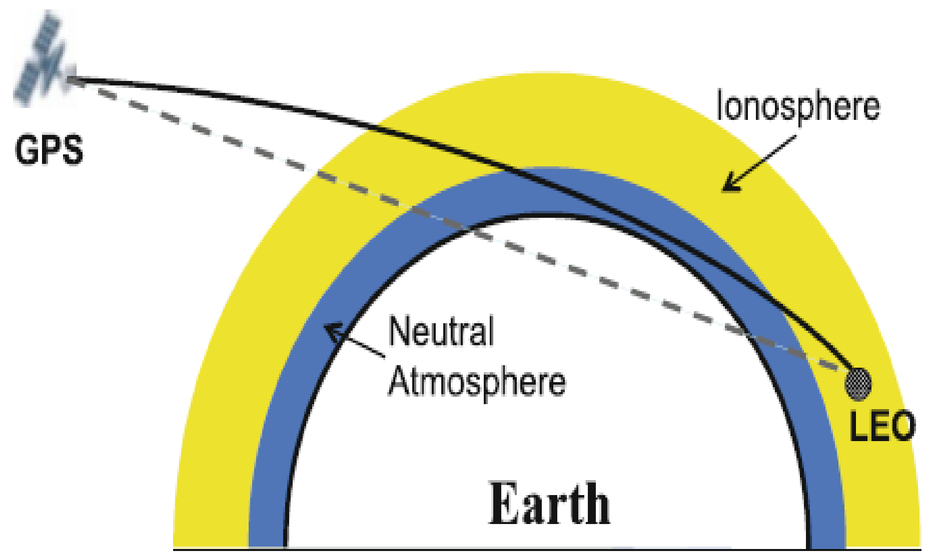


Rádio Ocultação

Uma radio ocultação (RO) GNSS (Sistema de Navegação Global por Satélite - *Global Navigation Satellite System)* ocorre quando um receptor a bordo de um satélite LEO (Órbita Terrestre Baixa- Low Earth Orbit) rastreia um satélite GNSS, quando ele sobe ou desce através da atmosfera terrestre.

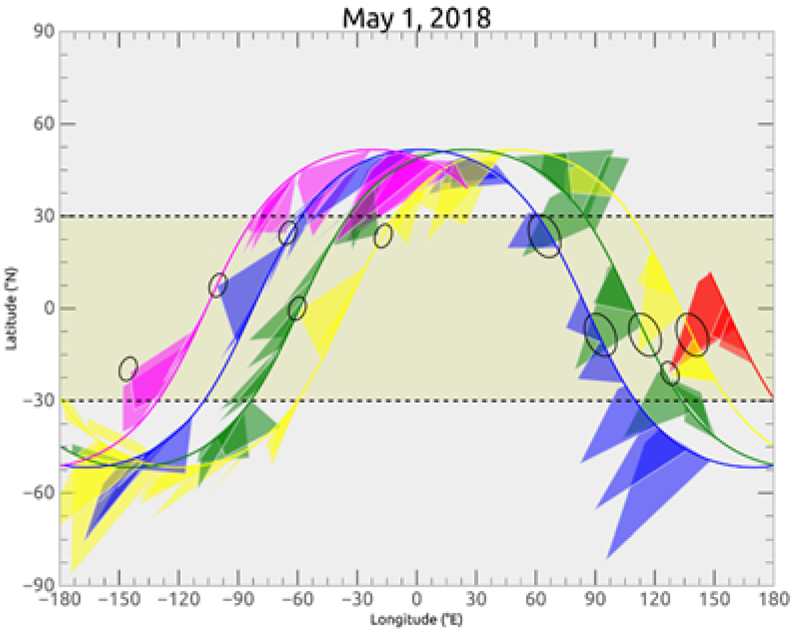
A amplitude e fase do sinal ocultado gravado do satélite, pode ser analisado para extrair, por exemplo :

conteúdo eletrônico total (TEC)
refratividade atmosférica
densidade
pressão
temperatura
umidade



How often are ideal occultation

- **Study using SPORT in ISS orbit.**
- Over one orbit in the region within ±30°
  - ~2 profiles over the previous orbit traces
  - ~2 profiles occur over successive orbit traces.



NanoMirax

- Cooperação INPE/empresa
- Missão científica – deteção de raios X; bursts de raios gamas associados a ondas gravitacionais
  - PI do INPE (João Braga)
  - 2U
- PIPE Fase II FAPESP – 1,2 MR$ p/ ME
- 4 pequenas empresas subcontratadas para desenvolvimento de 3 subsistemas, softwares de solo e bordo
- 2 subsistemas ainda importados.
  - Um deles (OBC) com proposta para desenvolvimento p/ empresa nacional, com participação da UFC e UFSM.
- Finalização Junho 2020

CCST - RaioSat & BiomeSat

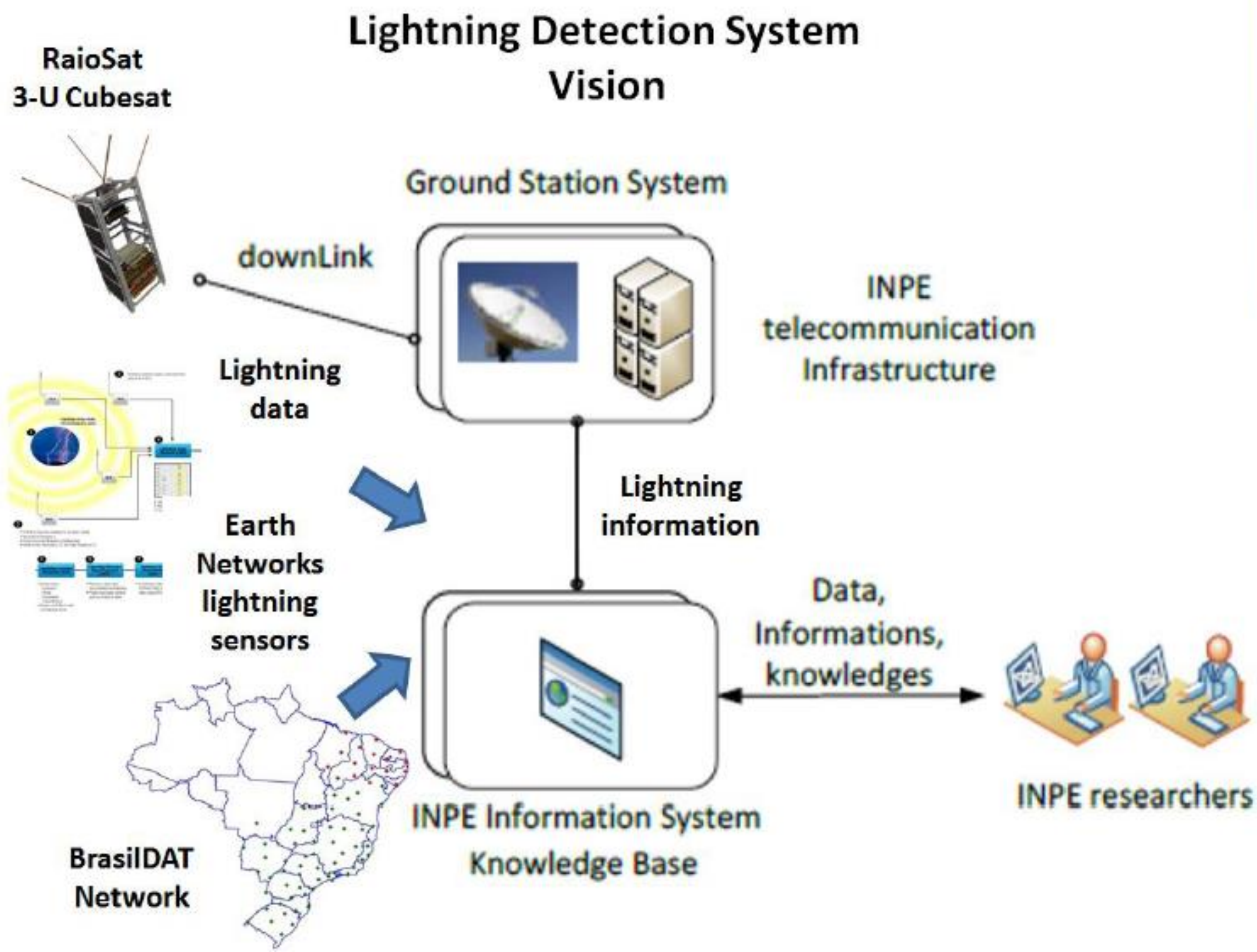
Rumo à agenda de desenvolvimento sustentável

Science for Sustainability

Metas de Desenvolvimento Sustentável (SDGs) da ONU e **Espaço**.

https://nacoesunidas.org/pos2015/

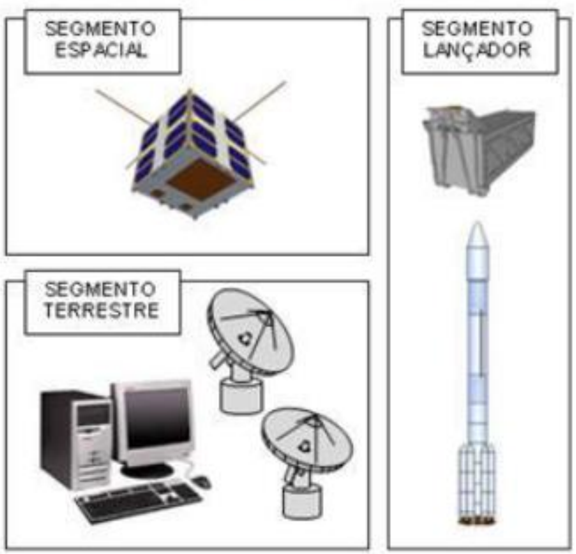
RaioSat

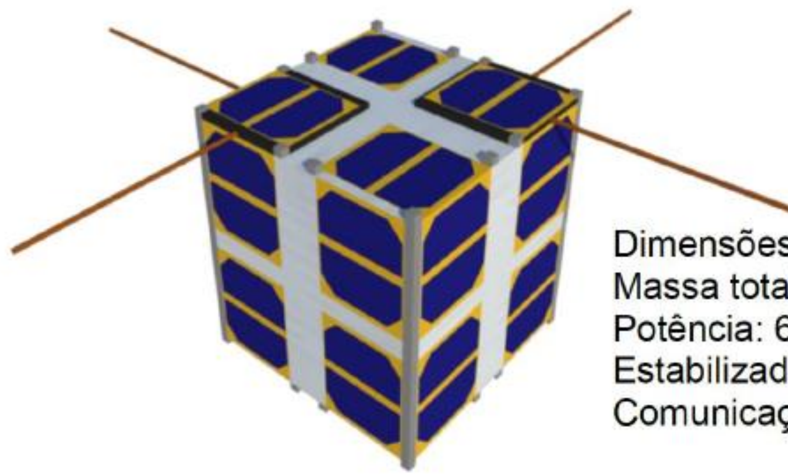

Lightning Detection System Vision
RaioSat
3-U Cubesat
Ground Station System
downLink
INPE telecommunication Infrastructure
Lightning data
Earth Networks lightning sensors
Lightning information
Data, Informations, knowledges
INPE Information System Knowledge Base
INPE researchers
BrasilDAT Network

CONASAT - CONSTELAÇÃO DE NANO SATÉLITES PARA COLETA DE DADOS AMBIENTAIS

CONASAT
CONSTELAÇÃO DE NANO SATÉLITES AMBIENTAIS

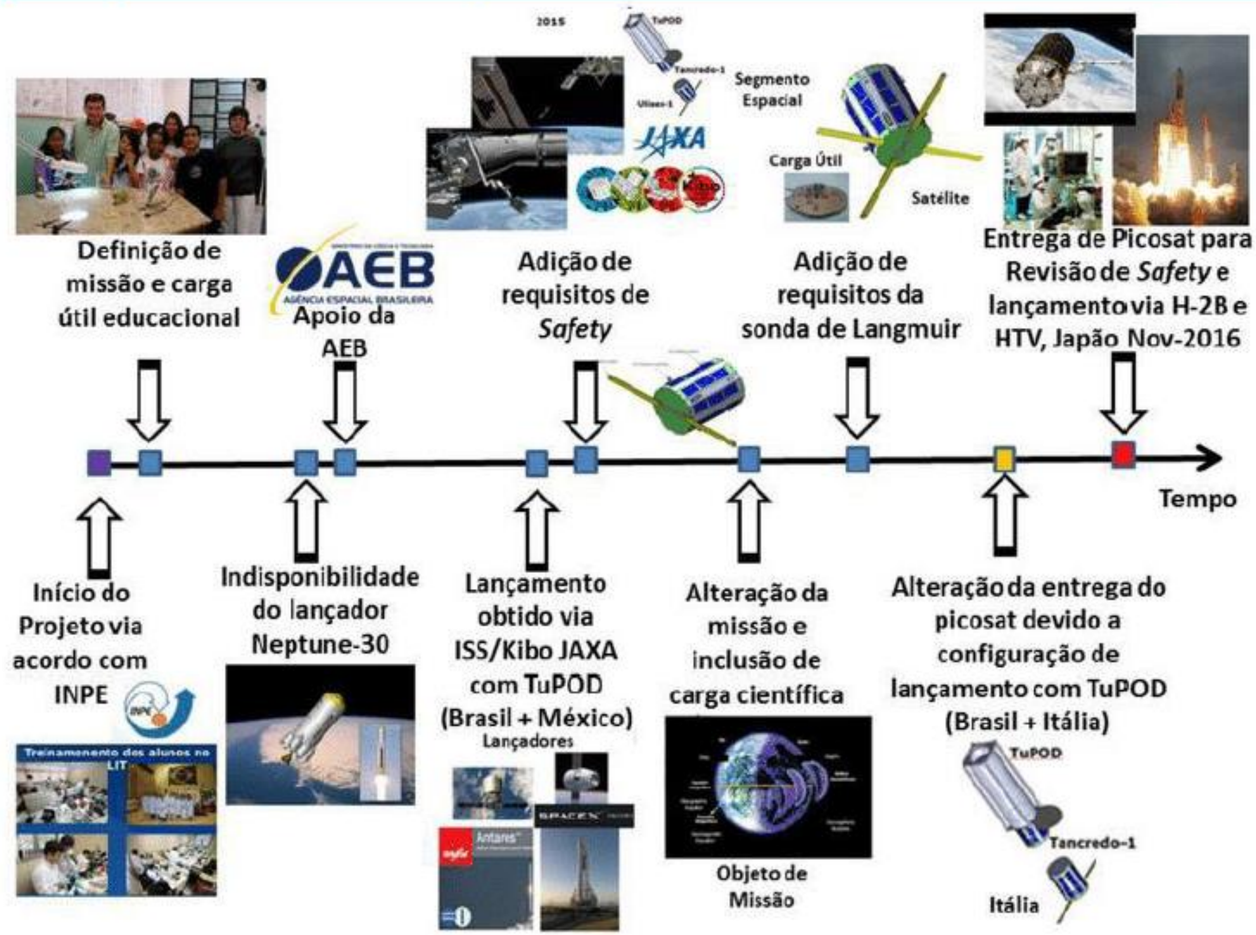
Arquitetura da Missão





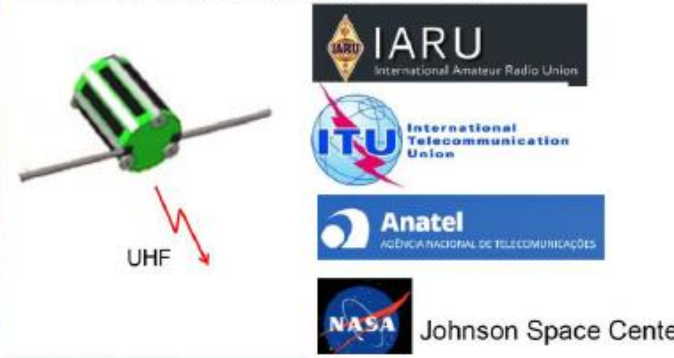
Dimensões: 22,6 x 22,6 x 22,7cm
Massa total: 8,3 kilogramas
Potência: 6,44 watt
Estabilizado em 2 eixos (x,y)
Comunicação: UHF e Banda S

A experiência no picosatélite Tancredo-I https://www.researchgate.net/project/UbatubaSat



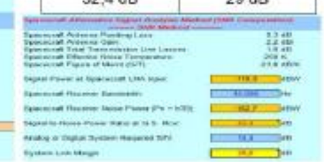
PicoSat – Tancredo I (UbatubaSat)
Arquitetura da Missão Espacial

Ter frequência de operação coordenada



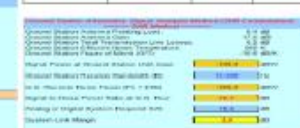
Potência TX Sat= 100 W

Margem Enlace (Método Eb/No)	Margem Enlace (Método SNR)
32,4 dB	29 dB



Potência TX Sat= 500 mW

Elevação	Distância	Eb/No	SNR
5 graus	1709 Km	6 dB	3,4 dB
0 grau	2196 Km	-3,1 dB	-5,6 dB



Subsistema de Comunicações

57

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

sid.inpe.br/mtc-m21b/2016/05.16.17.22-TDI

UMA METODOLOGIA PARA RE-ENGENHARIA DE SISTEMAS ESPACIAIS APLICADA A UM PICOSSATÉLITE

Auro Tikami

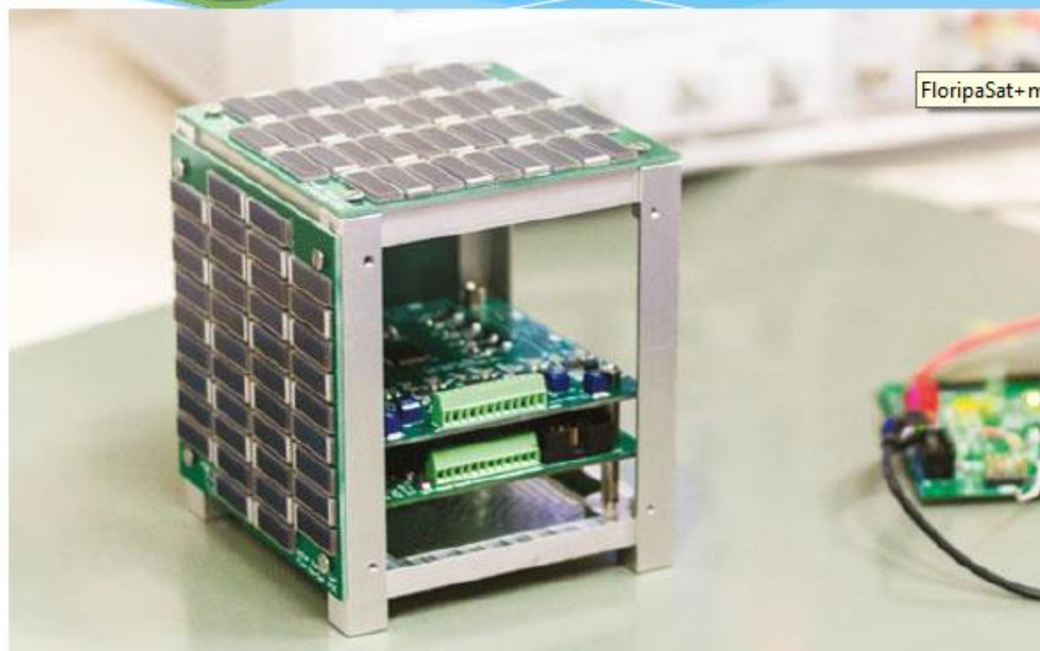
Floripa Sat

- O Floripa Sat surgiu de forma independente, inspirado em outros projetos experimentais do Centro Tecnológico (CTC) — como o BAJA SAE, do curso de Engenharia Mecânica, que se destina a produzir protótipos de veículos automotivos off-road.

- "Existe aqui na UFSC o BAJA; o barco elétrico; o carro elétrico. São vários projetos. Pensamos então em propor o desenvolvimento de um satélite para que os alunos se interessassem e se motivassem também pela área aeroespacial", explica o professor Eduardo Bezerra, do Departamento de Engenharia Elétrica e um dos coordenadores do projeto.

- O curso da UFSC foi criado em 2009 e é uma das únicas seis graduações em Engenharia Aeroespacial em todo o país.

https://github.com/floripasat

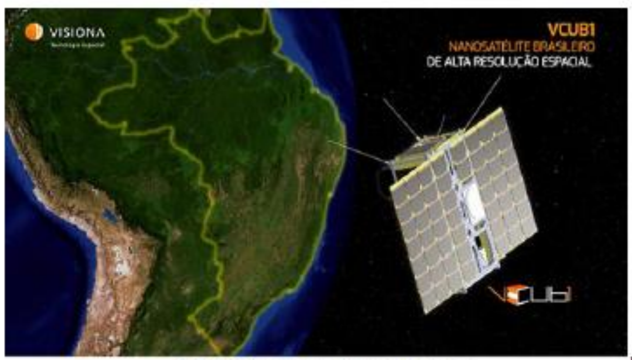


http://ciencia.ufsc.br/2015/12/11/missao-espacial/

Nanossatélite VCUB1 - Visiona

O nanossatélite VCUB baseia-se numa plataforma cubesat 6U de 10 kg com dimensões de 30 x 20 x 10 cm. Segundo a Visiona, a missão permitirá o desenvolvimento e validação de tecnologias espaciais e incorpora uma arquitetura de sistemas modular e escalável, que poderá ser utilizada no futuro em satélites de maior porte.

http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=4839

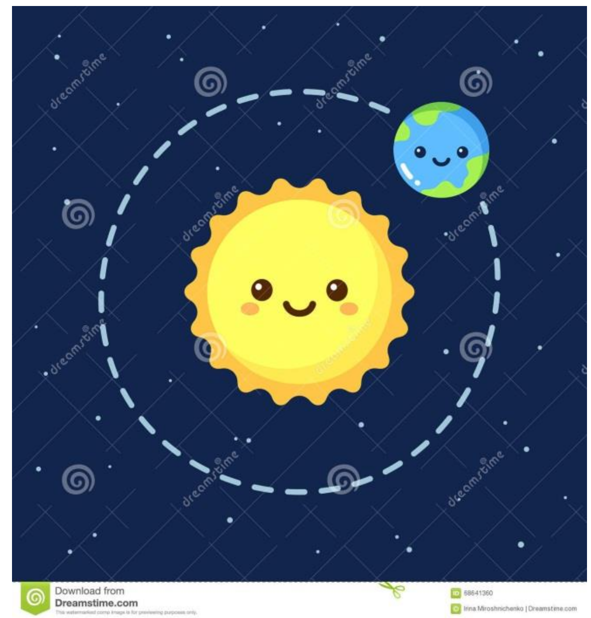


Concepção artística do nanossatélite VCUB1

Constelação virtual de 30 sensores de observação da terra

https://www.infodefensa.com/latam/2018/08/02/noticia-agencia-espacial-brasileira-projeto.html

Muito obrigado!!!



walter.abrahao@inpe.br
lazaro.camargo@inpe.br