



# Engenharia Espacial

- Programa Espacial

- Conjunto de atividades de longo prazo combinando vários projetos e para implementar o objetivo estabelecido (exemplo Programa MECB)

- Missão Espacial

- É o objetivo (podem ser vários) ou missão estabelecida pelos "stakeholders" (interessados, os usuários são os principais) para o sistema a ser desenvolvido. Considera utilizar satélites ou outros artefatos colocados no espaço como um dos meios para atingir o(s) objetivo(s).

- Projeto Espacial

- Conjunto de atividades de estudo e realização de um sistema espacial. Em geral é desenvolvido em fases (0, A, B, C, D, E, F), e possui cronograma, orçamento e alocação de recursos humanos bem definidos.

# Vocabulário / Glossário

- Sistema

- Conjunto de elementos ou componentes (subsistemas) que interagem de forma organizada com objetivos/funções gerais comuns e que contém propriedades emergentes obtidas somente pela integração das funções individuais dos elementos. Os componentes de um Sistema podem ser bastante diversos, tais como pessoas, organizações, procedimentos, softwares, equipamentos e instalações.

- Satélites

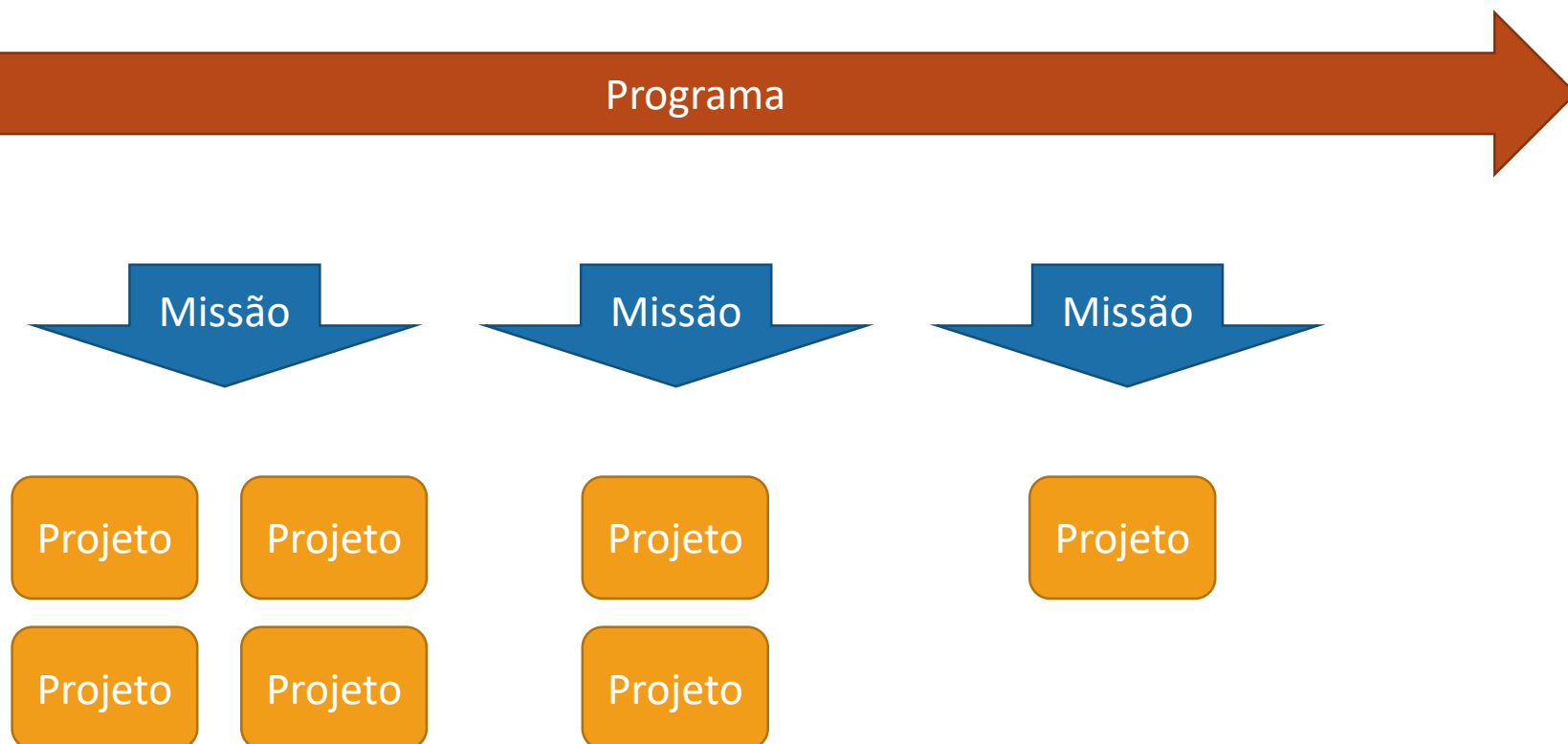
- Qualquer elemento que esteja em órbita (da Terra) com um determinado porte pode ser caracterizado como um satélite. Os satélites que desenvolvemos são caracterizados como satélites artificiais.
- Satélites são constituídos de um módulo de **carga útil** (“payload”) e de um **módulo de serviço** (“bus” ou “plataforma”).
  - A **carga útil** é constituída de um ou mais equipamentos estritamente vinculados à particular missão.
  - A **plataforma** é constituída pelas partes necessárias para suportar o lançamento, sustentar a operação da carga útil no espaço e garantir as funções de serviço (“housekeeping”) como apontamento, controle de temperatura, execução das funções de bordo e comunicação como o pessoal de Terra para manter o satélite funcionando.

# Vocabulário / Glossário

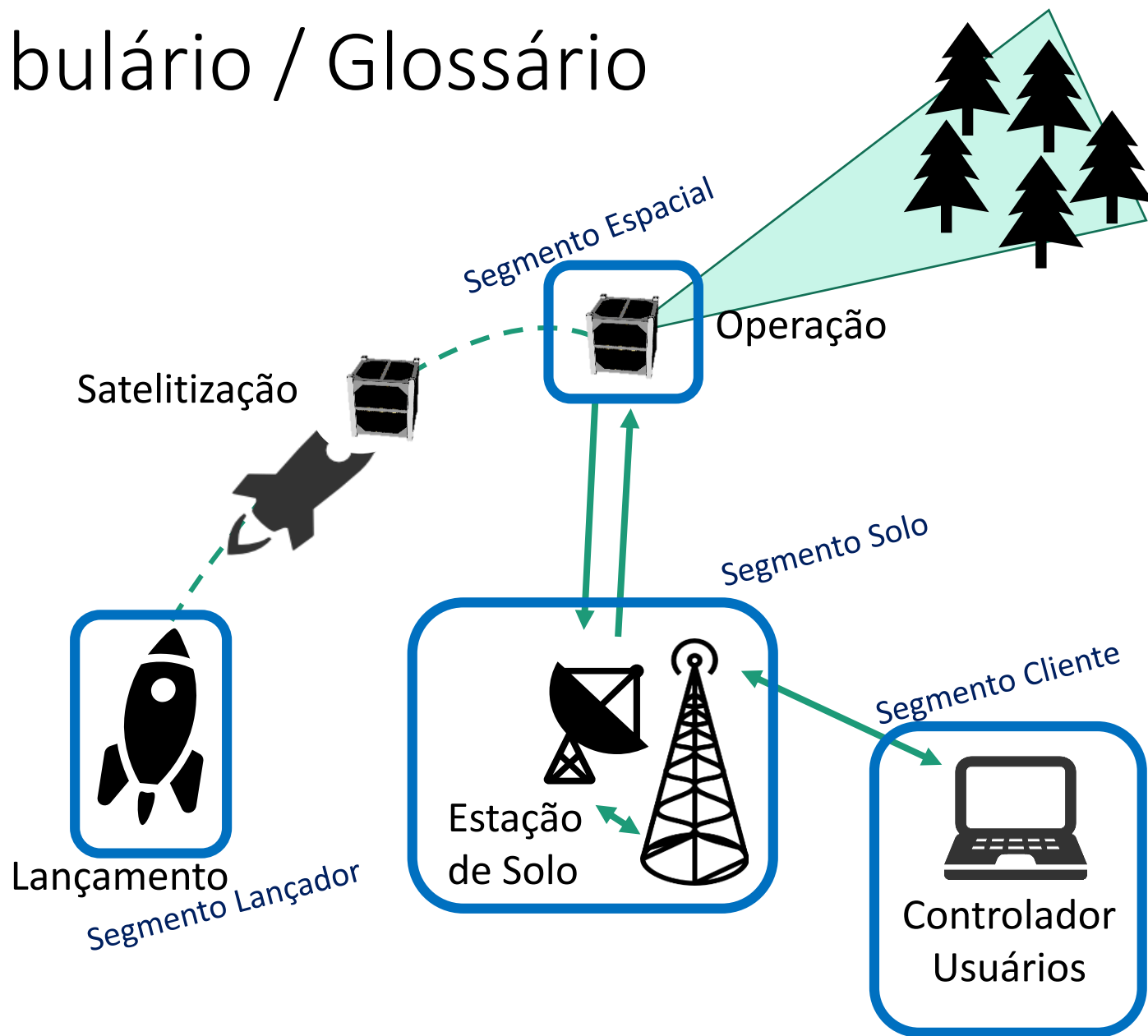
- Requisitos

- São exigências estabelecidas antes de se desenvolver um sistema, subsistema ou equipamento. Devem ter diversas características tais como:
  - não estabelecem uma solução;
  - são verificáveis;
- Podem ser funcionais (exigem a implementação de uma função), de desempenho (estabelecem um desempenho mínimo) ou operacionais (estabelecem características operacionais).
- Quando impõem vínculos ou limites são caracterizadas como restrições (exemplo – custo menor do que, a massa menor do que..).
- As interfaces são geralmente definidas e impostas a todos os equipamentos que a usam. No contexto espacial as interfaces são dinâmicas e nas fases iniciais elas variam até serem consolidadas.
- Textual → Diagramático → Modelos

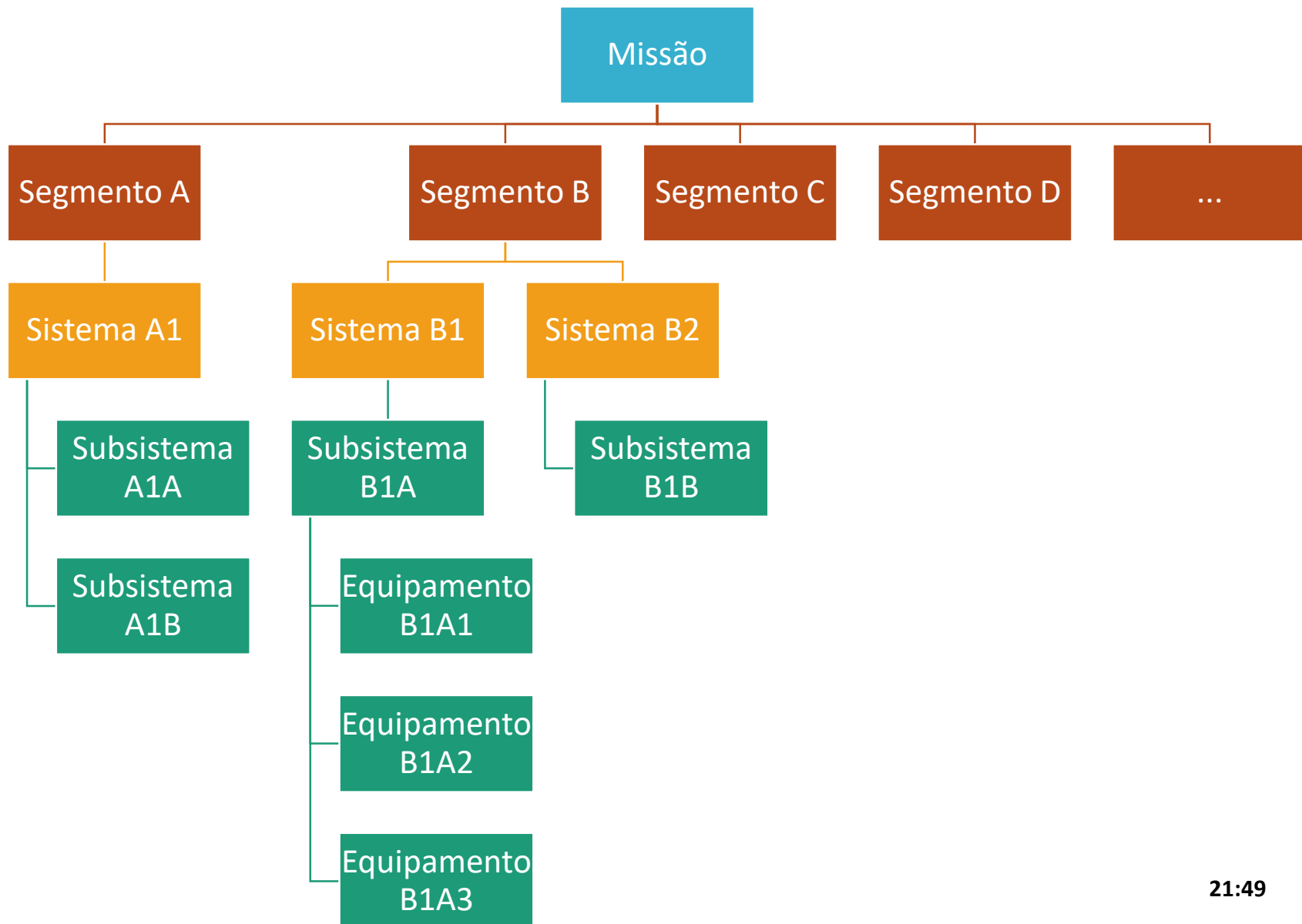
# Vocabulário / Glossário



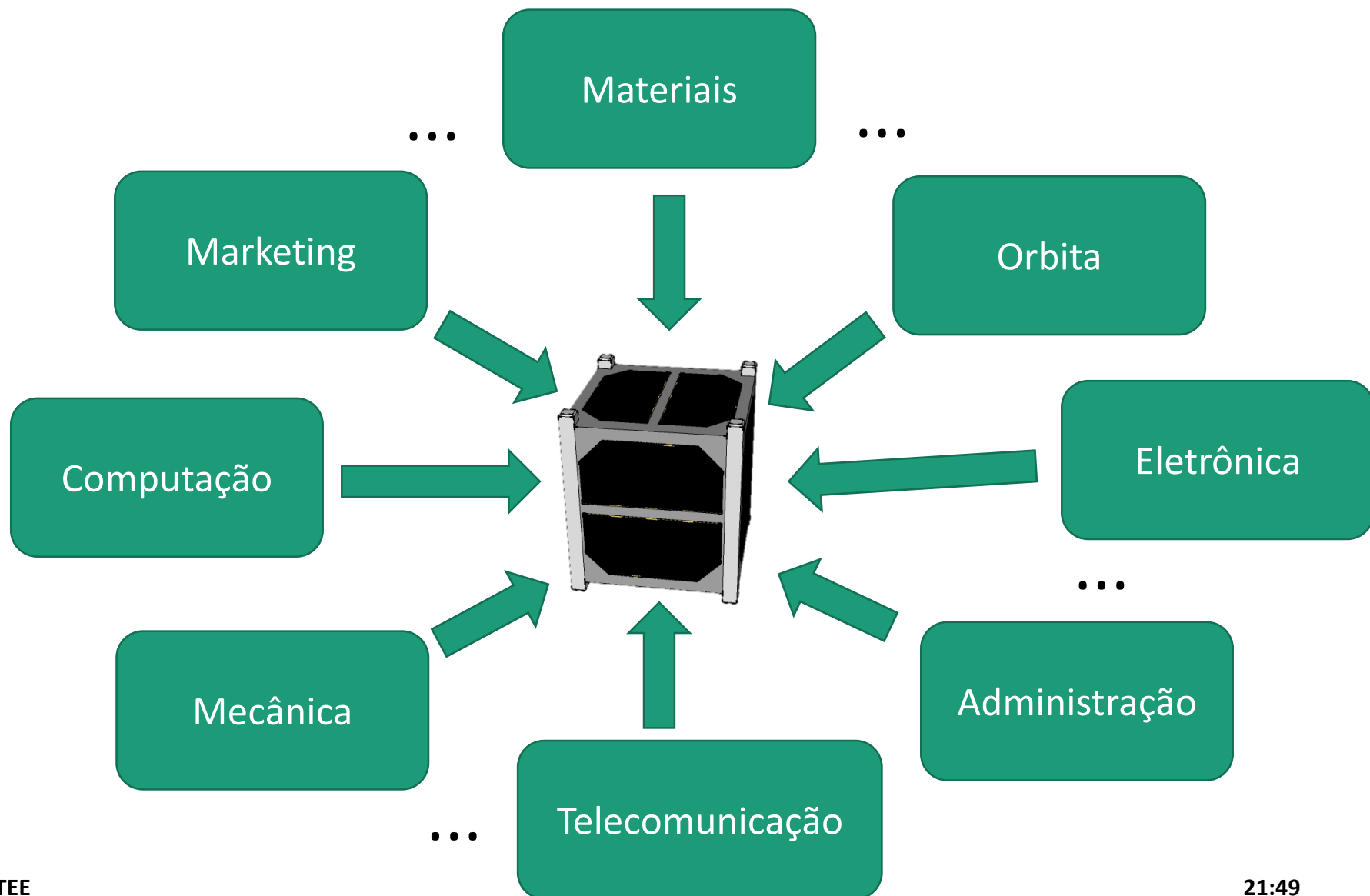
# Vocabulário / Glossário



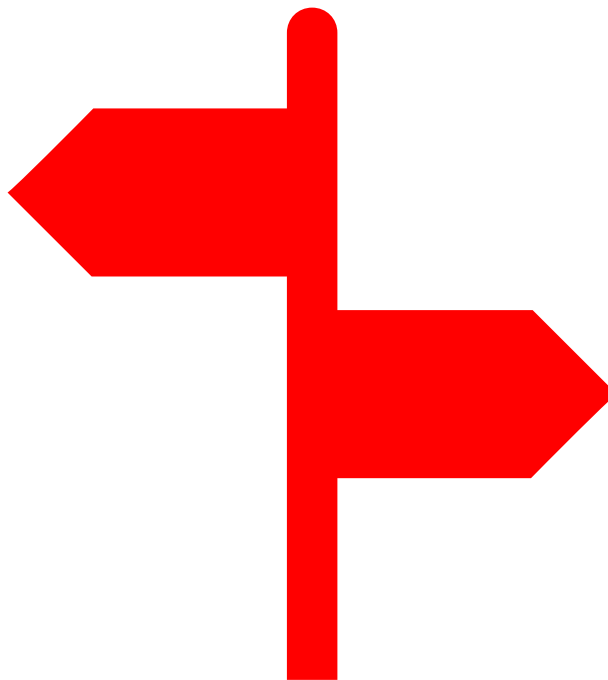
# Hierarquia



# Conhecimento em diferentes disciplinas...







# Principais Marcos

# Principais Eventos Internacionais

1962 - Telstar



1973 - Skylab



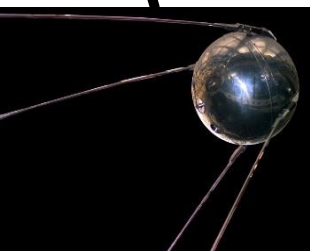
1981 - Shuttle



1990 - Hubble



1957 - Sputnik



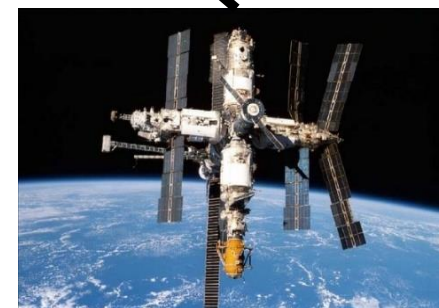
1969 - Apollo 11



1977 - Voyagers



1986 - MIR

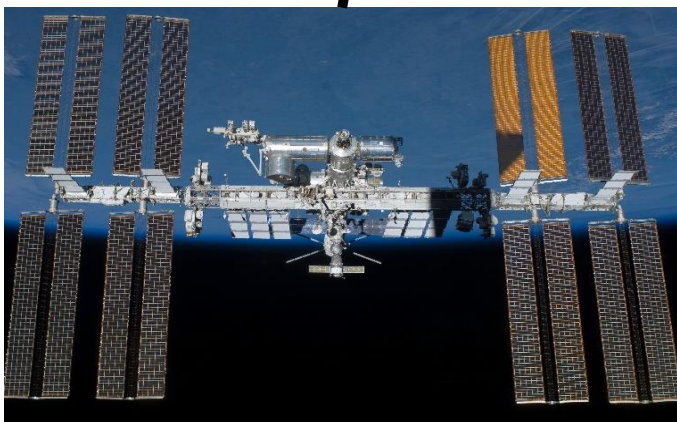


# Principais Eventos Internacionais

2012 - Curiosity



<Vídeo>



2011 - ISS



2014 - Rosetta

# [1/5] Eventos em datas:

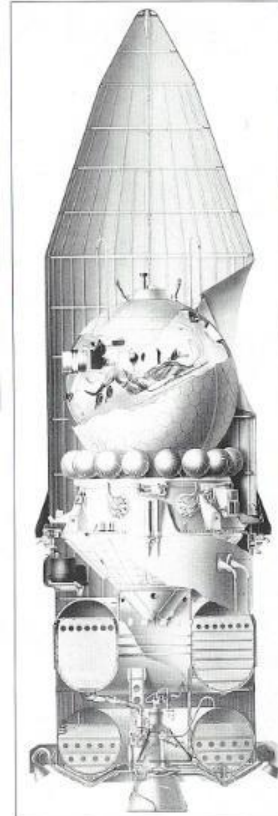
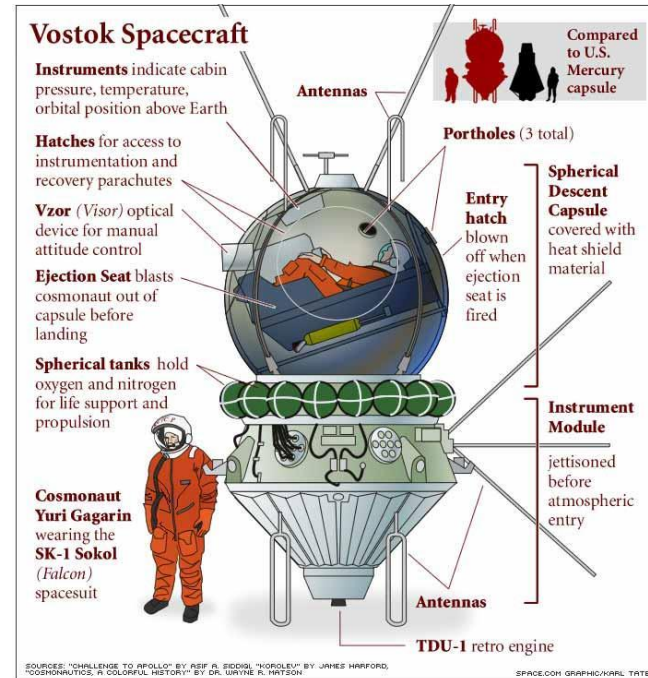
- ~ 1100: Chineses inventam a pólvora e utilizam foguetes primitivos em batalhas
- 1770: Foguetes feitos de bambu, couro, e ferro são utilizados contra tropas britânicas na Índia
- 1802: Willian Congreve inicia o desenvolvimento de foguetes de longo alcance
- 1903: Konstantin Tsiolkovsky (Rússia) publica a teoria da propulsão por foguete
- 1923: Hermann Oberth (Austro-Húngaro) publica conceitos para as viagens espaciais
- 1926: Robert H. Goddard (USA) lança com sucesso o primeiro foguete com propulsão líquida
- 1942: Primeiro lançamento com sucesso do míssil V2 alemão
- 1957
  - Lançamento do primeiro satélite artificial – Sputnik (URSS)
  - Primeiro animal em órbita – Laika, cachorro a bordo do Sputnik 2 (URSS)
  - USA tentam lançar seu primeiro satélite (Vanguard) e falham
- 1958
  - USA lançam seu primeiro satélite – Explorer 1
  - NASA é fundada





# [2/5] Eventos em datas:

- 1959
  - Explorer 6 transmite as primeiras imagens da Terra para a televisão
  - Primeiras imagens do lado oculto da Lua – Luna 3 (URSS)
- 1960
  - Primeiro satélite meteorológico – Tiros (USA)
  - Primeiro satélite de comunicações – Echo (USA)
- 1961
  - Primeiro homem no espaço – Yuri Gagarin a bordo da Vostok 1 (URSS)
  - Segundo homem no espaço – Vladimir Titov a bordo da Vostok 2
  - Primeiro americano no espaço – Alan Shepard a bordo da Mercury (USA)
  - **Kennedy** lança a meta de pousar um homem na Lua até o final da década
- 1962
  - Primeiro americano em órbita – John Glenn a bordo da Mercury
  - Primeiro encontro “rendezvous” no espaço – Vostok 3 e 4
- 1963: Primeira mulher no espaço – Valentina Tereshkova (URSS)
- 1964
  - Primeira sonda em Marte – Mariner 4 (USA)
- 1966
  - Primeiro acoplamento no espaço – Gemini 8 x Agena (USA) – Primeira situação de emergência obriga retorno prematura



# JFK – 12 de Setembro de 1962

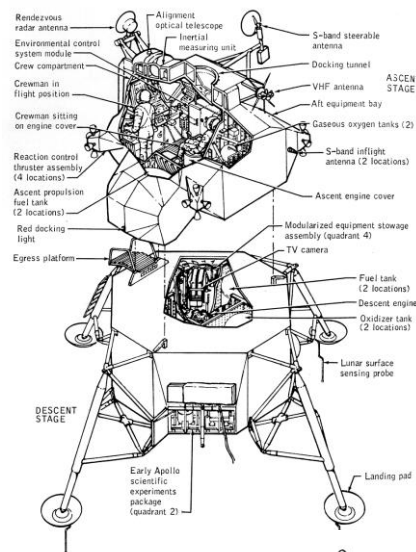


- Nós escolhemos ir para lua nesta década, e realizar outros feitos,
  - não pelo fato de serem fáceis,
  - mas pois são difíceis.
- Este objetivo vai servir para organizar e
- medir o melhor das nossas energias e habilidades,
- e este desafio é um que estamos dispostos a aceitar, um que não vamos adiar, e um que pretendemos vencer, e os outros, também.

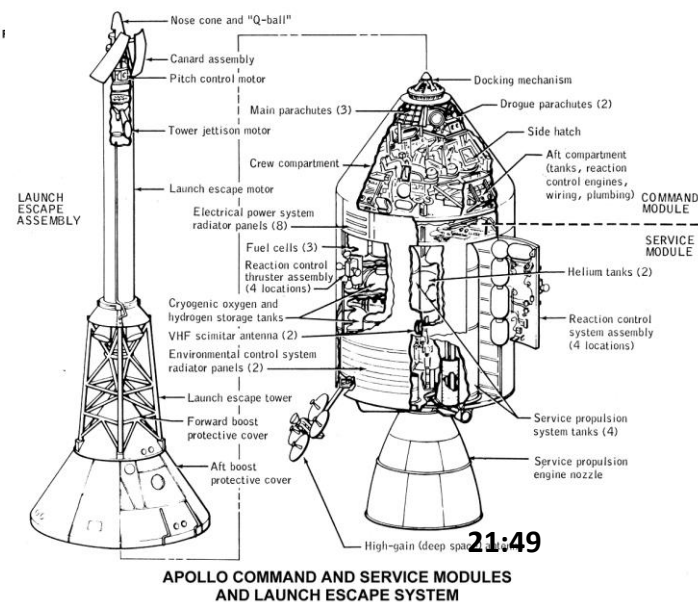
- We choose to go to the moon. We choose to go to the moon in this decade and do the other things, not because they are easy, but because they are hard, because that goal will serve to organize and measure the best of our energies and skills, because that challenge is one that we are willing to accept, one we are unwilling to postpone, and one which we intend to win, and the others, too.

# [3/5] Eventos em datas:

- 1967
  - Incêndio na Apollo 1 durante treinamento mata tripulação (USA)
  - Vladimir Komarov morre a bordo da Soyus 1 (URSS)
- 1968
  - Primeira missão pilotada Apollo 7
  - Primeiros humanos em órbita da Lua – Apollo 8
- 1969
  - Primeiros humanos na Lua – Apollo 11
- 1970
  - Primeiro pouso em Vênus – Venera 7 (URSS)
  - Tripulação da Apollo 13 sobrevive a acidente durante a missão
- 1971
  - Primeira estação espacial – Salyut 1 (URSS)
  - Primeira tripulação à bordo de uma estação espacial e acidente fatal na reentrada da Soyus 11 (tres tripulantes)
  - Primeiro satélite em Marte – Mariner 9
- 1972
  - Lançamento do Landsat 1 (USA)
- 1973
  - Primeiro sobrevôo de Jupiter – Pioneer 10 (USA)
  - Lançamento da Skylab (USA)
  - Mars 5 é lançado com sucesso (URSS)



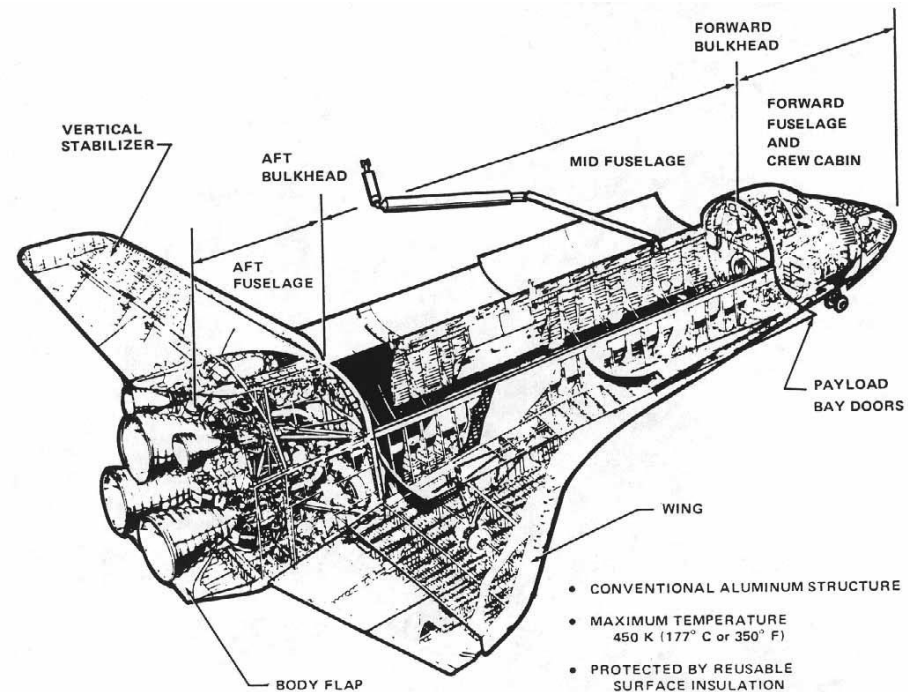
LUNAR MODULE CONFIGURATION I



APOLLO COMMAND AND SERVICE MODULES AND LAUNCH ESCAPE SYSTEM

# [4/5] Eventos em datas:

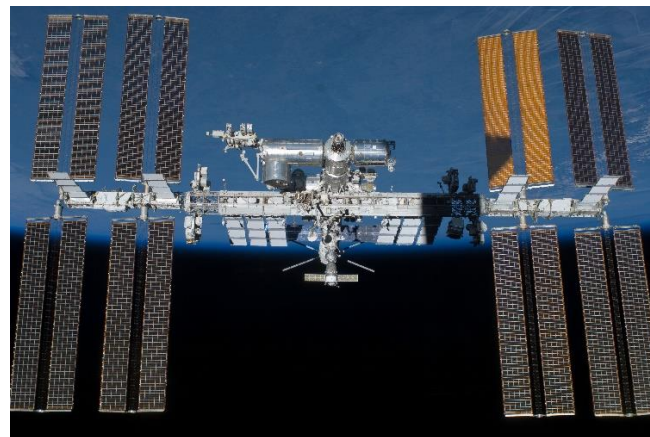
- 1975
  - Primeiro lançamento do foguete N1 (Japão)
  - Missão conjunta Apollo-Soyus (USA/URSS)
- 1978 – Lançamento da constelação GPS em fase experimental (USA)
- 1979
  - Skylab reentra na atmosfera
  - Primeiro lançamento com sucesso do foguete Ariane
- 1981 – Space Shuttle voa pela primeira vez
- 1984 – Primeiro reparo em órbita feito pela tripulação do Space Shuttle
- 1985 – Ariane 1 lança a sonda Giotto
- 1986
  - Acidente do Space Shuttle Challenger destrói a nave e mata a tripulação
  - Lançamento da estação espacial MIR
  - Primeira missão para MIR
  - Encontro com o cometa Halley pelas sondas Vega, Giotto, Suisei e Sakigake
- 1987: Primeiro lançamento do foguete Energia (URSS)





# [5/5] Eventos em datas:

- 1988
  - Ônibus espacial BURAN voa sem pilotos (URSS)
  - Cosmonautas Titov e Manarov estabelecem recorde de 366 dias no espaço
  - Primeiro lançamento do foguete Ariane 4
- 1990 - Lançamento do telescópio Hubble (USA)
- 1995 - Primeiro Ônibus Espacial (missão STS-71) a acoplar na estação MIR
- 1997 – Primeiro voo bem sucedido do foguete europeu Ariane 5
- 1998 - NASA e a Agência Espacial Russa iniciam a montagem da Estação Espacial Internacional, que deve se prolongar até 2011
- 2003
  - Ônibus Espacial Columbia se desintegra durante reentrada, levando à decisão pela suspensão do programa em 2010 (encerrado de fato em 2011)
  - NASA lança os jipes marcianos Spirit e Opportunity
- 2011 – Encerramento das operações do ônibus espacial



# Principais Eventos Nacionais



- O satélite SCD-1 foi desenvolvido pelo INPE e lançado pelo foguete americano Pegasus em 9/fevereiro/**1993**. Ele opera continuamente desde seu lançamento.

- O satélite SCD-2 foi também construído pelo INPE e lançado em outubro de **1997** pelo mesmo lançador americano Pegasus. Ele opera continuamente.

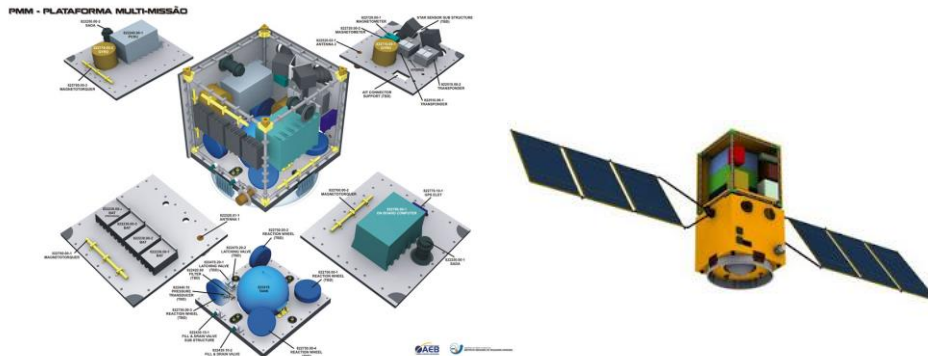
- Brasil e da China assinaram em **1988** um acordo de parceria envolvendo o INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) e a CAST (Academia Chinesa de Tecnologia Espacial) para o desenvolvimento de dois satélites avançados de sensoriamento remoto, denominado Programa CBERS (China-Brazil Earth Resources Satellite)



<Vídeo>

**CBERS-1 (1999) / CBERS-2 (2003) / CBERS-3 (2013) / CBERS-4 (2014)**

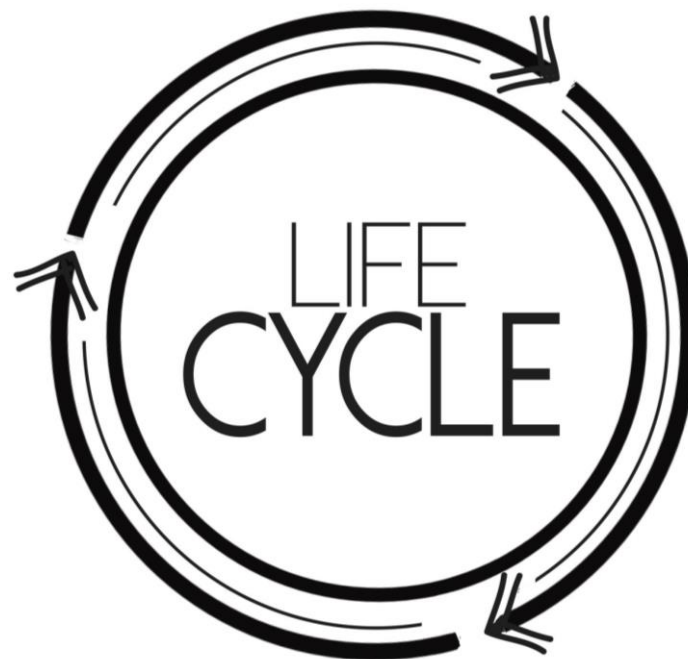
# Principais Eventos Nacionais



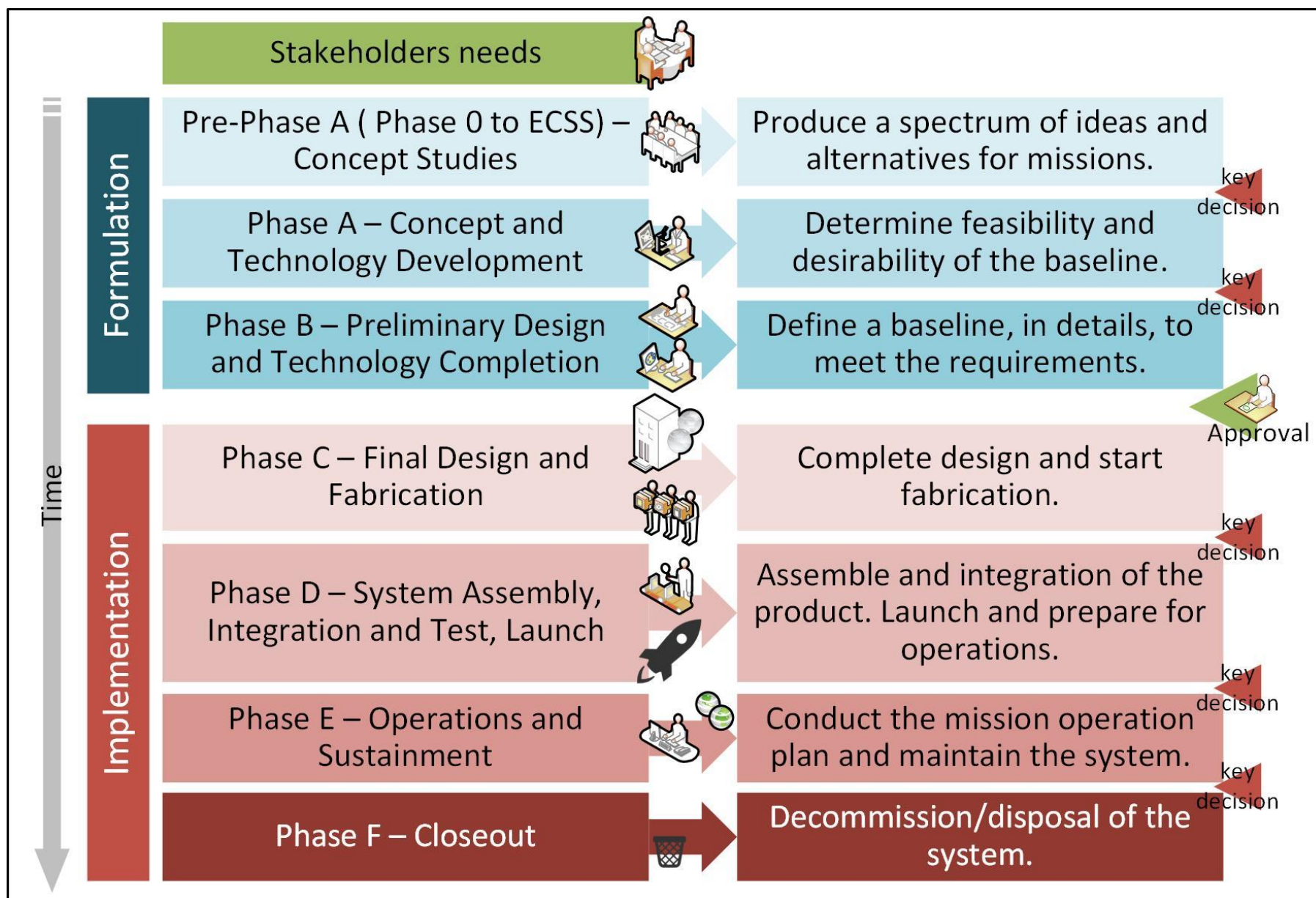
## ■ PMM - Amazônia



- Satélite Geoestacionário de Defesa e Comunicações Estratégicas

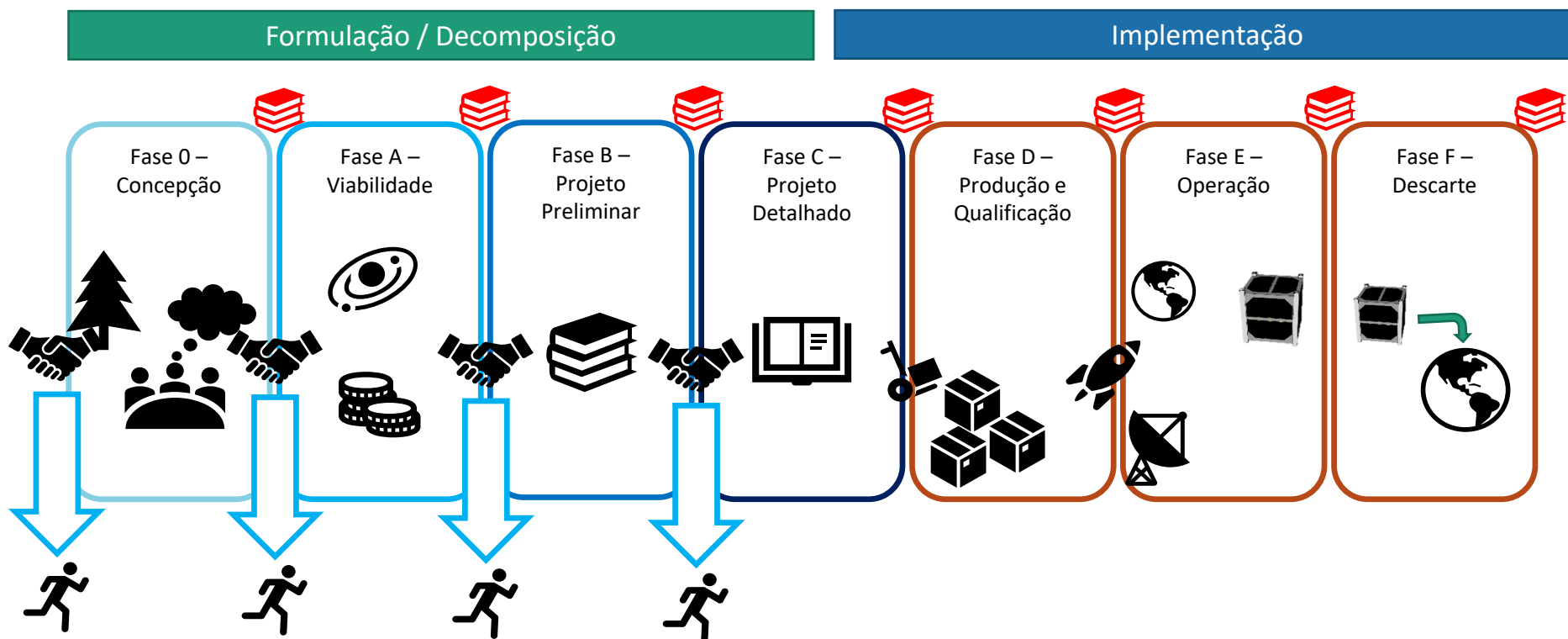


# Ciclo de Vida





# Fases





# Revisões

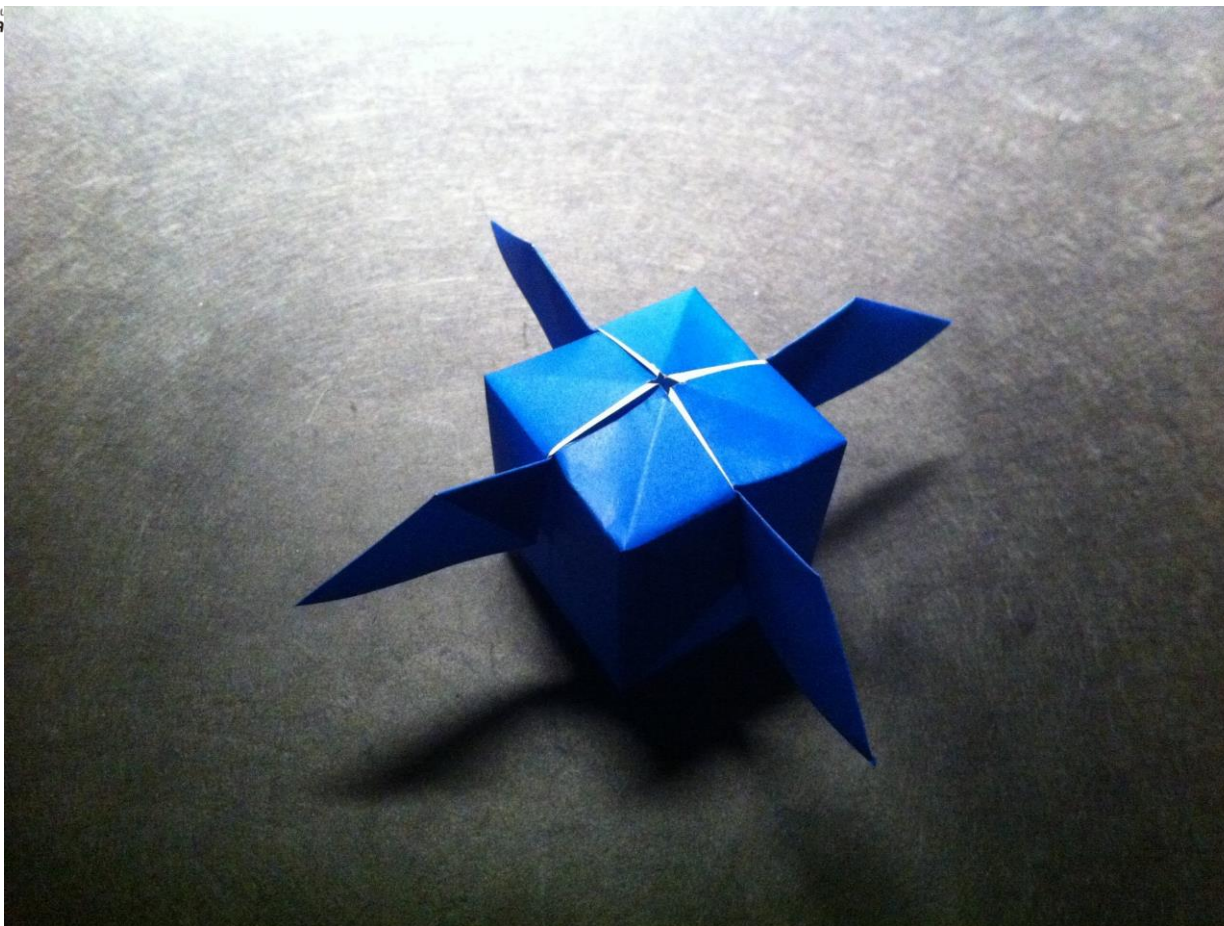
# O valor das Revisões

- **Revisões técnicas** são marcos importantes para medir o progresso, maturidade e reavaliar lições aprendidas. Elas...
  - Proveem confirmações para seguir para próximas fases.
  - Encorajem e estabelecem disciplina no projeto e integração da perspectiva de todo o projeto.
  - Identifica riscos e opções de mitigação.
  - Descrevem planos e prioridades para as próximas fases.
- **Revisões técnicas** dão a todos (engenheiros, cientistas, público, clientes) a oportunidade de concordar com as decisões do projeto (baseline).
  - Alocações funcionais, de recursos e de desempenho são descritas e concordadas.
  - Restrições e interfaces são descritas e concordadas.
  - Riscos e problemas são identificados e concordados.



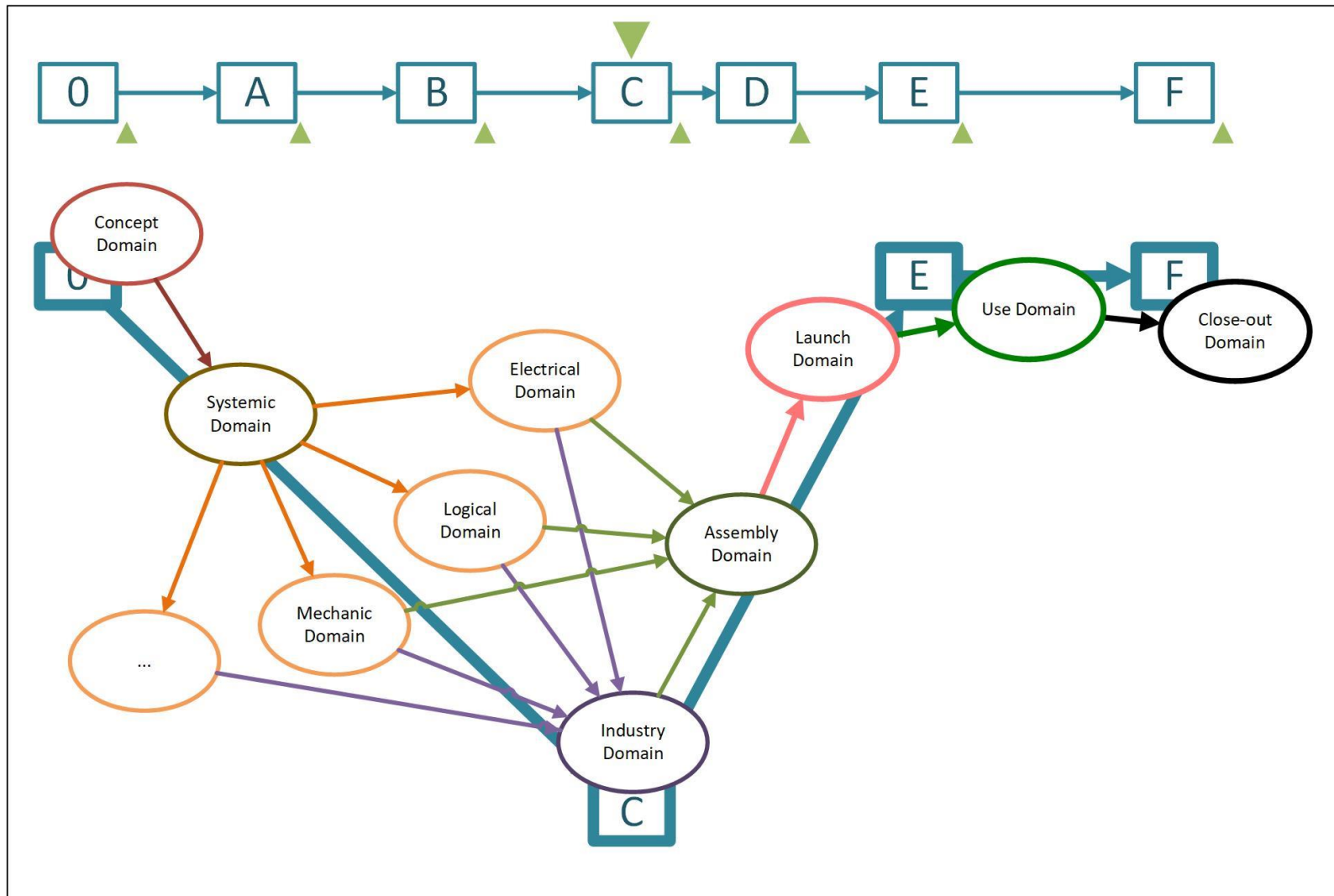
# Mínimo Conjunto de Revisões

- **MCR (Mission Concept Review)** – O conceito proposto atende as necessidades e objetivos da missão?
- **SRR/MDR (System Requirement Review)** – Esses requisitos funcionais e não funcionais (performance) e o conceito selecionado satisfazem a missão?
- **PDR (Preliminary Design Review)** – Esses designs preliminares atendem aos requisitos de sistema considerando custo, cronograma e risco?
- **CDR (Critical Design Review)** – Esse design está maduro o suficiente para ir para a fabricação, montagem, integração e testes?
- **SIR (System Integration Review)** – Os sistemas, ambientes, pessoas, planos e procedimentos estão prontos para a integração?
- **TRR (Test Readiness Review)** – O design está pronto para iniciar os testes?
- **ORR (Operational Readiness Review)** – Todos os equipamentos, softwares, pessoas e procedimentos estão prontos para iniciar a operação?
- **FRR (Flight Readiness Review)** – Todos os sistemas estão prontos para o lançamento? Os equipamentos de solo e pessoal estão prontos?
- **PLAS (Post-Launch Assessment Review)** – Após o Lançamento, todos os sistemas da espaçonave estão prontos para iniciar as rotinas de operação?
- **CERR (Critical Event Readiness Review)** – O design está preparado para executar atividades críticas da missão durante a operação?
- **DR (Decommissioning Review)** – O sistema está pronto para acabar.

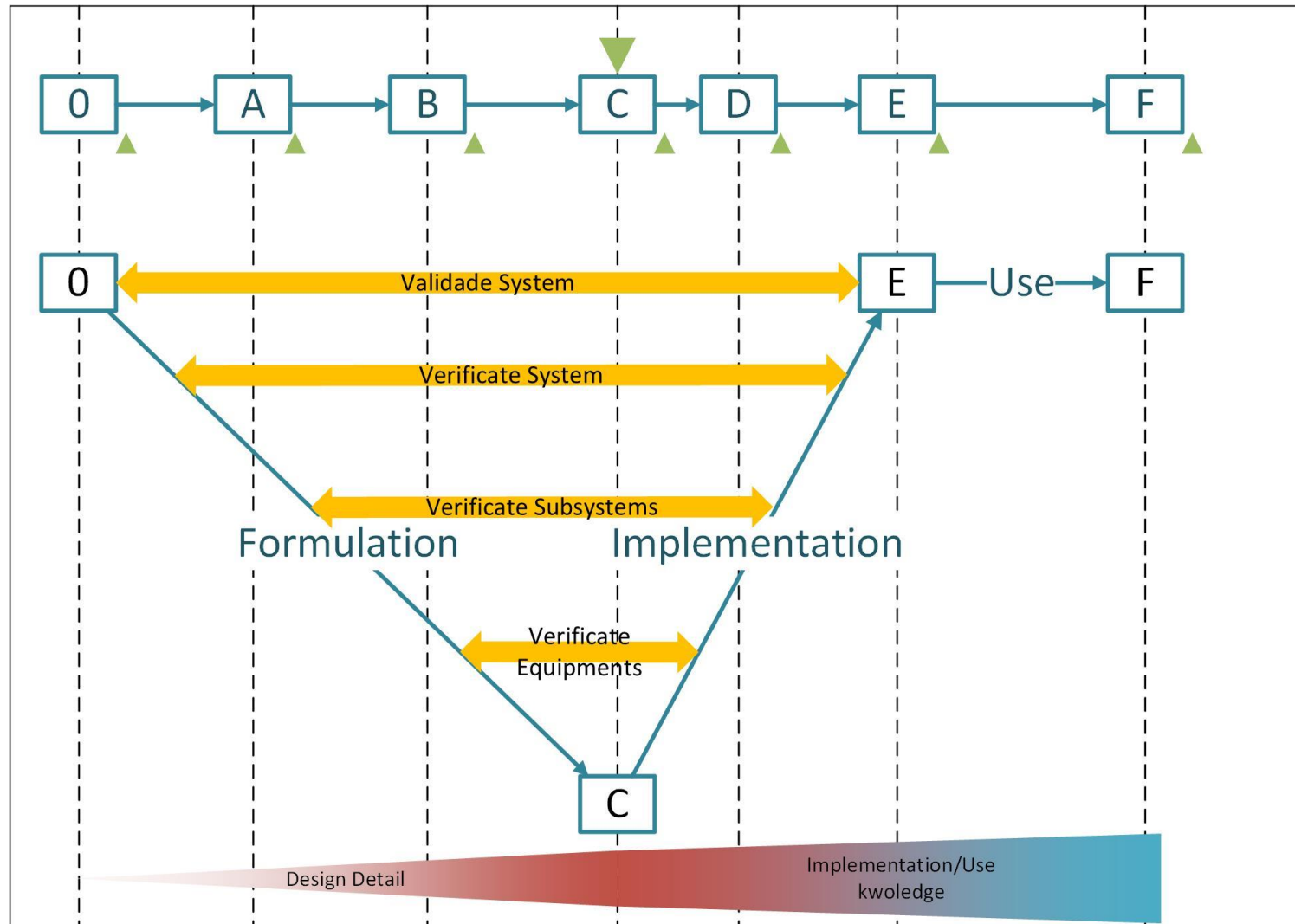


# Filosofia de Modelos

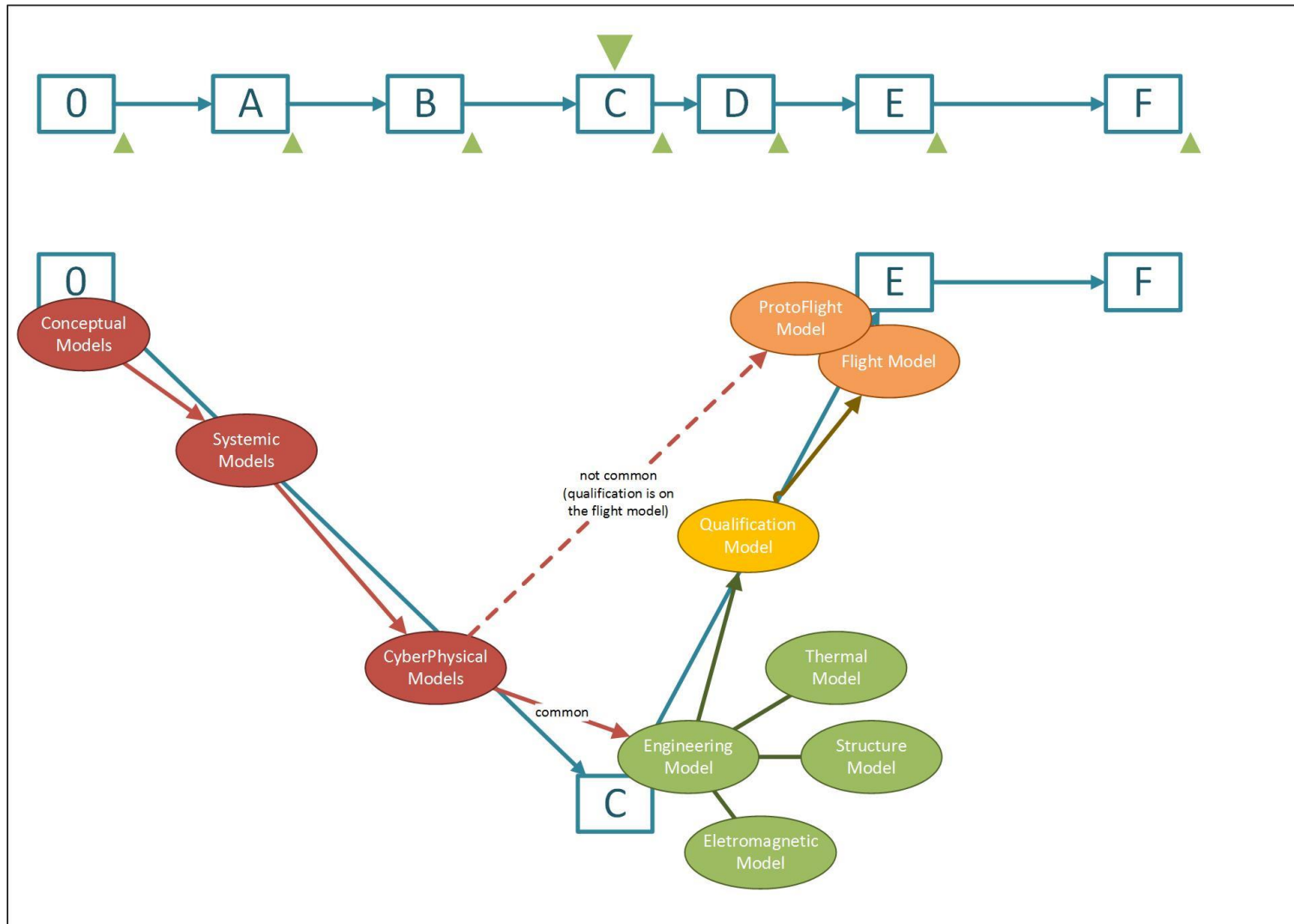
# Domínios de conhecimento em cada etapa



# Necessidade de Verificar/Validar

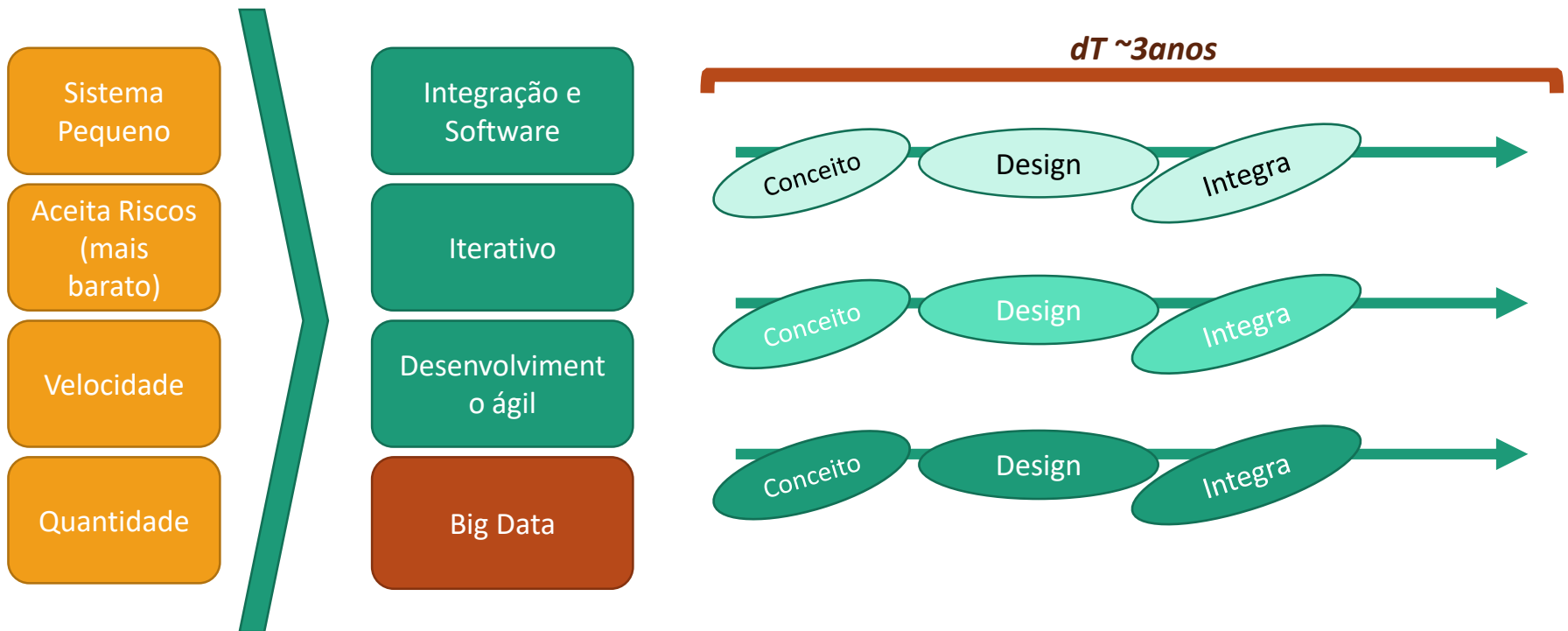


# Leva a construirmos n modelos de um satélite



# Pequenos Satélites

# E como é a engenharia de pequenos satélites?!?!



# Taxonomia por “massa”

Grupo do satélite	Massa do satélite	
LARGE satellite	> 1000kg	
MEDIUM satellite	500 a 1000kg	
SMALL satellite	< 500kg	
	MINI	100 a 200kg
	MICRO	10 a 100kg
SMALL satellites:	NANO	1 a 10kg
	PICO	0,1 a 1kg
	FEMTO	< 100gr

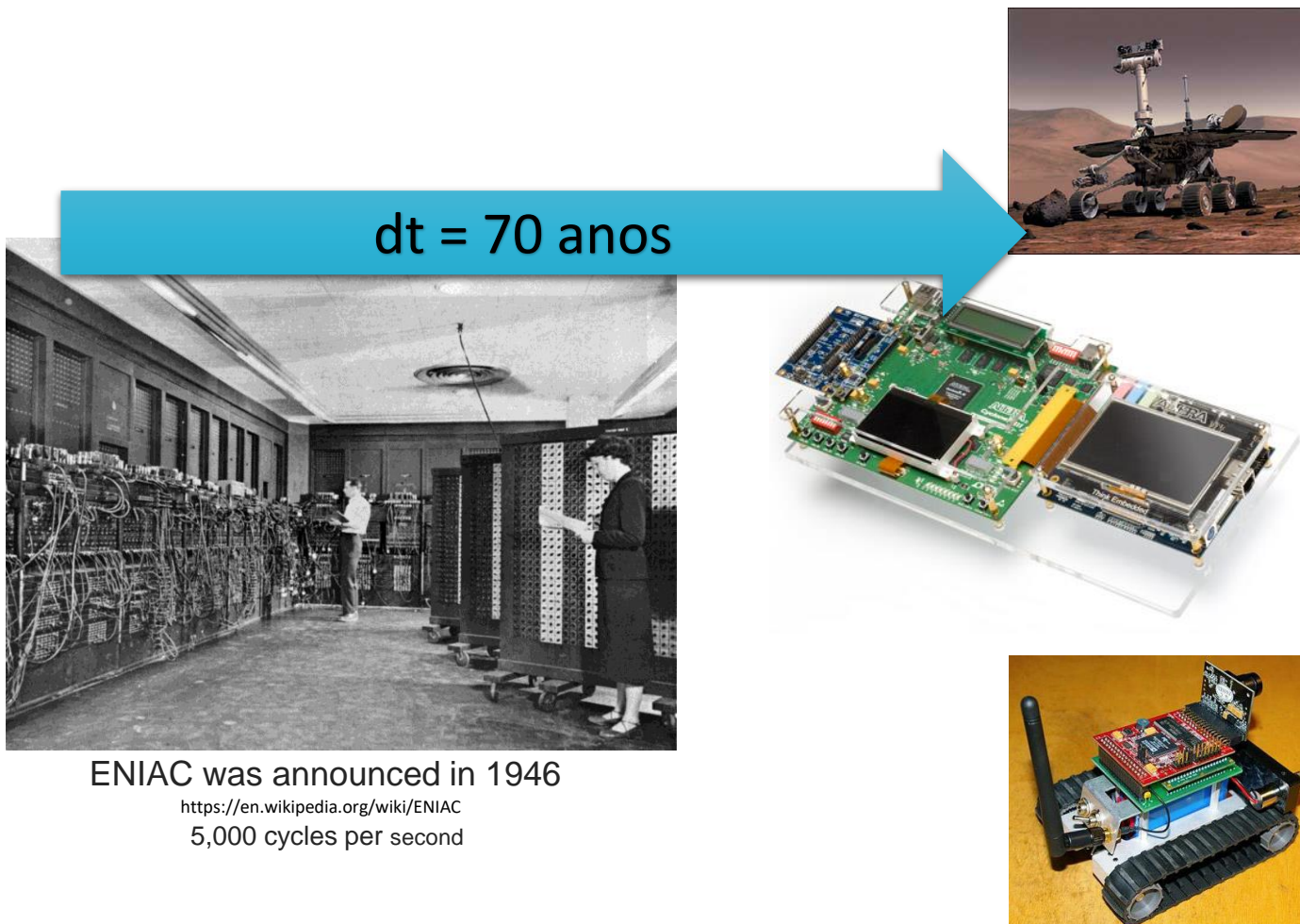
Geralmente geoestacionários, e observação do espaço.

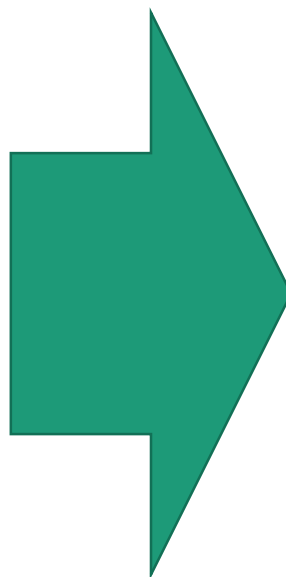
Geralmente militares, científicos, e observação da terra.

Geralmente científicos, provas de conceito, e educacionais.

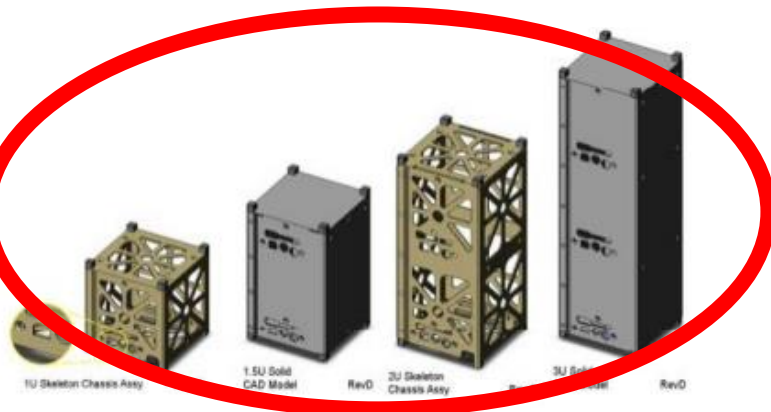


# Miniaturização





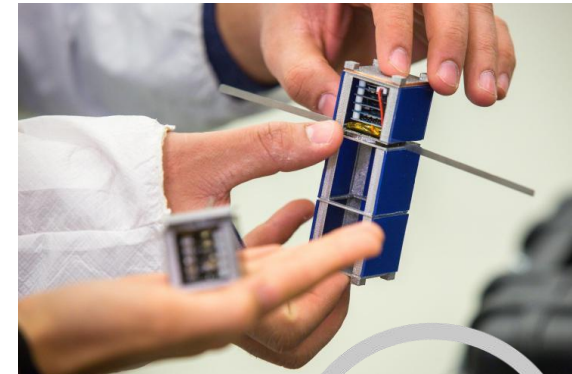
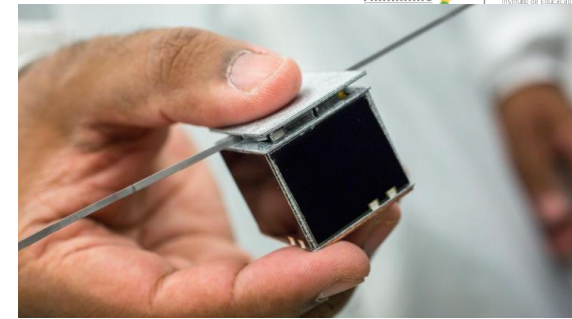
# Small Sats (até 10kgs) :



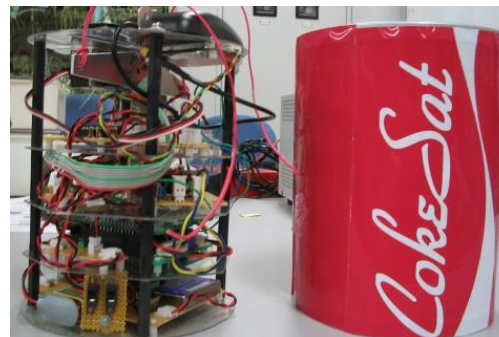
CubeSats



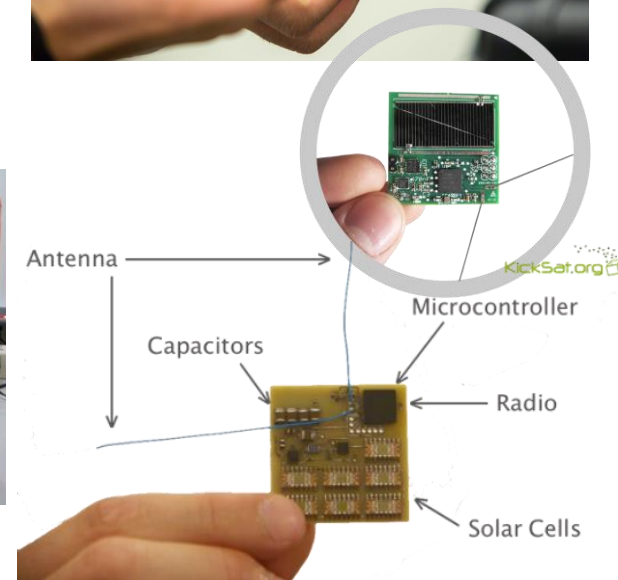
TubeSats



PocketQub



CanSat

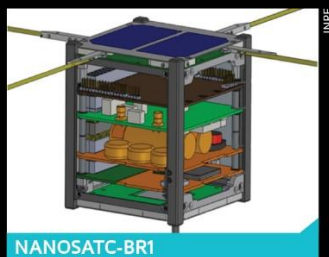




# Projetos BR

## Por dentro dos satélites

Estrutura, função e outras características dos artefatos espaciais brasileiros



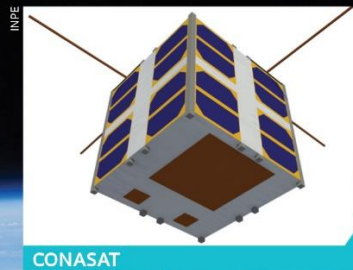
**NANOSATC-BR1**  
**Desenvolvimento** Inpe e UFSM  
**Tipo** Cubesat  
**Dimensões** 10 × 10 × 11,33 cm  
**Função** Satélite científico-tecnológico  
**Equipamentos a bordo** Subistemas de computação, potência, rádio, controle e carga útil  
**Lançador** Foguete russo DNEPR  
**Altitude da órbita** 600 km  
**Posicionamento** Órbita baixa polar (volta completa em torno da Terra a cada 90 minutos)  
**Tempo no espaço** 1 ano  
**Custo** R\$ 800 mil



**SERPENS**  
**Desenvolvimento** Consórcio de universidades, com apoio da AEB  
**Tipo** Nanossatélite - Cubesat 3U  
**Dimensões** 10 × 10 × 30 cm  
**Função** Prova de conceito para o sistema brasileiro de coleta de dados  
**Equipamentos a bordo** Transponder digital para coleta de dados, computador de bordo, sistema de energia e comunicação duplicados  
**Lançador** Estação Espacial Internacional (ISS)  
**Altitude da órbita** 400 km  
**Posicionamento** Órbita baixa polar  
**Tempo no espaço** Menos de 2 anos  
**Custo** R\$ 800 mil



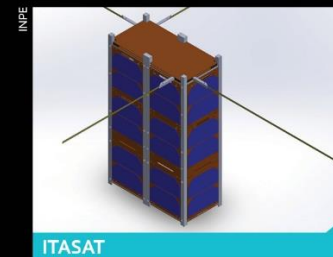
**AESP-14**  
**Desenvolvimento** ITA e Inpe  
**Tipo** Cubesat  
**Dimensões** 10 × 10 × 11,33 cm  
**Função** Ferramenta educacional que levará como experimento mensagem destinada a cientistas brasileiros  
**Equipamentos a bordo** Modem em banda UHF para enviar mensagens  
**Lançador** ISS  
**Altitude da órbita** 350 a 400 km  
**Posicionamento** Órbita baixa polar  
**Tempo no espaço** 90 dias  
**Custo** R\$ 150 mil



CONASAT



**TANCREDO-1**  
**Desenvolvimento** Escola Municipal Tancredo Neves e Inpe  
**Tipo** Tubesat  
**Dimensões** 9,7 cm de diâmetro e 12 cm de altura  
**Função** Educacional  
**Equipamentos a bordo** Computador de bordo, radiotransmissor/receptor, antena, subsistema de controle de potência e gravador num chip  
**Lançador** ISS  
**Altitude da órbita** 350 km  
**Posicionamento** Órbita equatorial, a mesma da estação  
**Tempo no espaço** 4 meses  
**Custo** R\$ 30 mil (sem o lançamento)



**ITASAT**  
**Desenvolvimento** ITA e Inpe  
**Tipo** Nanossatélite - Cubesat 6U  
**Dimensões** 10 × 22,6 × 34 cm  
**Função** Medidas de radiação e coleta de imagens  
**Equipamentos a bordo** Experimentos de comunicação, sensores de radiação, campo magnético e câmera  
**Lançador** Em fase de seleção  
**Altitude da órbita** 600 km a 700 km  
**Posicionamento** Órbita baixa polar  
**Tempo no espaço** 1 ano de operação  
**Custo** R\$ 1,8 milhão (sem o lançamento)

**Desenvolvimento** Inpe  
**Tipo** Nanossatélite - Cubesat 8U  
**Dimensões** 20 × 20 × 20 cm  
**Função** Satélite de coleta de dados ambientais  
**Equipamentos a bordo** Subistemas de computação, de controle de atitude, de telemetria e telecomando e antenas  
**Lançador** Não contratado até o momento  
**Altitude da órbita** 650 km  
**Posicionamento** Órbita baixa polar  
**Tempo no espaço** 1 ano  
**Custo** Previsão de R\$ 5 milhões

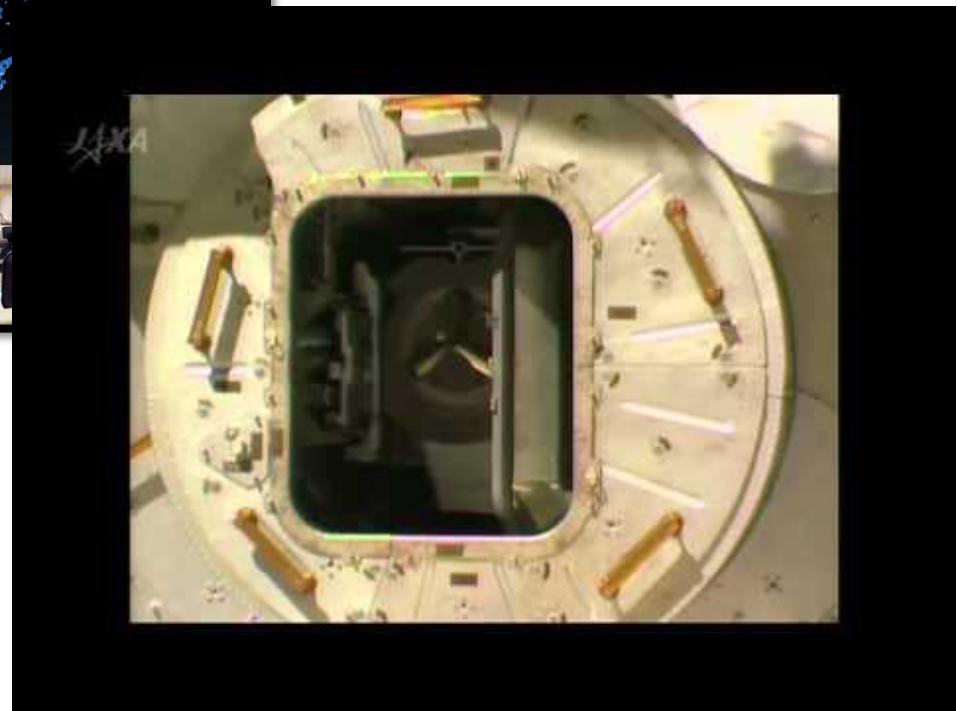
Revista FAPESP

# Dois exemplos



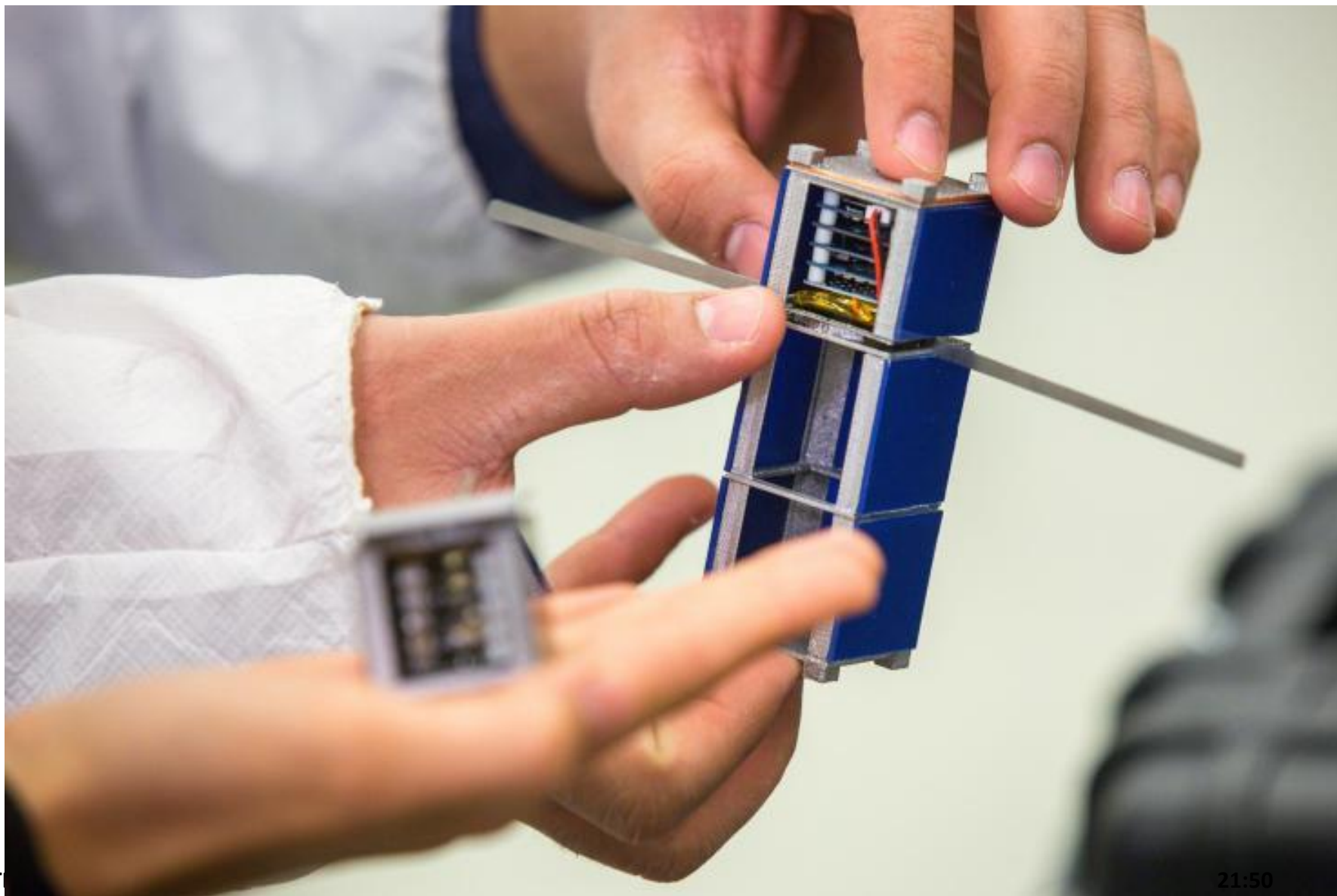
<Vídeo>

<Vídeo>

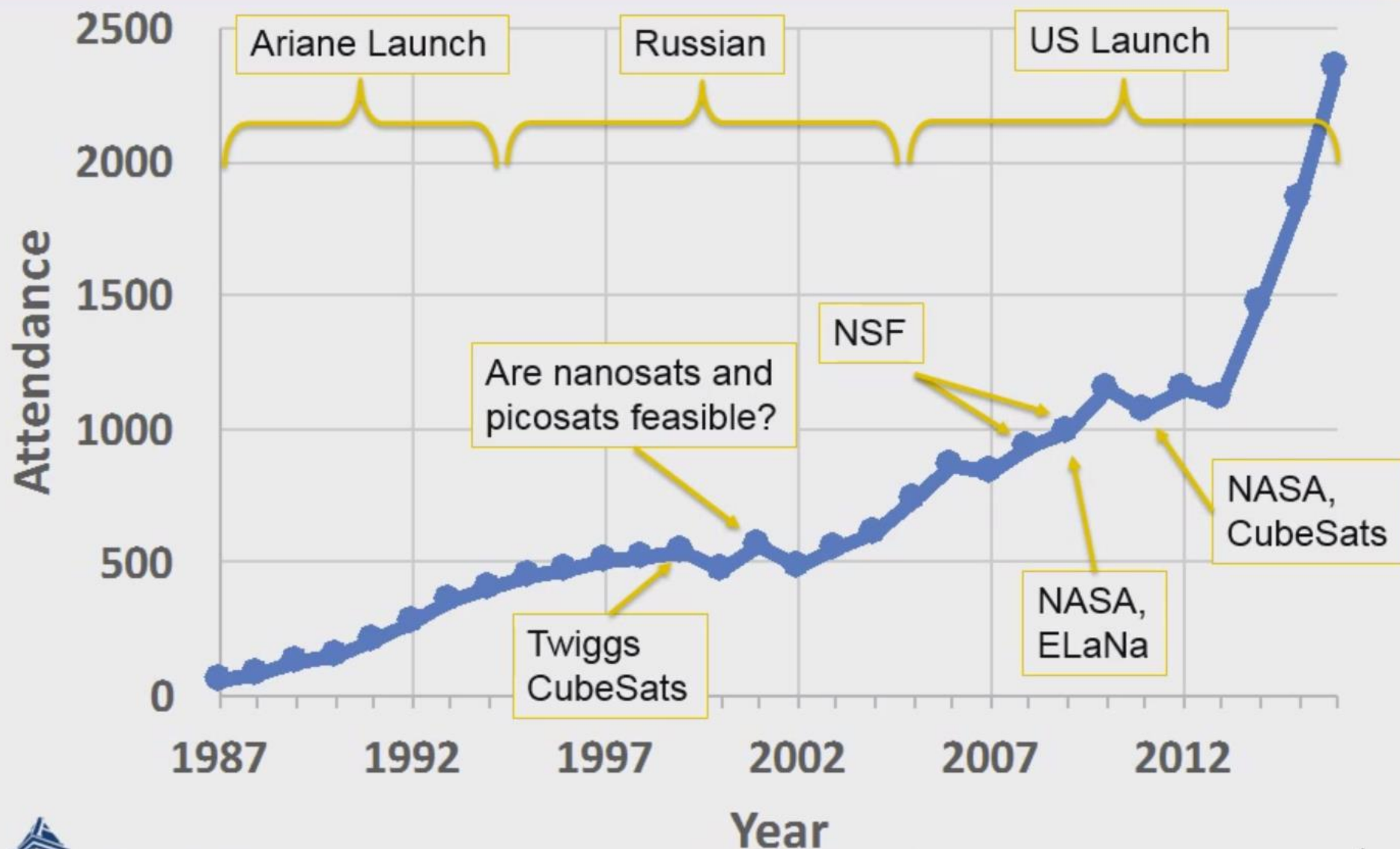




# Que tal o IEMA ter seu próprio programa espacial?



# USU Small Satellite Conference





—Small Satellites—  
PIONEERING  
INDUSTRY

BRINGING VISIONARIES, SCIENTISTS, ENGINEERS, AND BUSINESS LEADERS TOGETHER  
**CONFERENCE**

**small**  
SATELLITE  
CONFERENCE

11 AUGUST  
LOGAN, UT, USA

31<sup>ST</sup>

ANNUAL CONFERENCE ON SMALL SATELLITES

**SMALL SATELLITES**

**BIG DATA**

**DEVELOPING A  
NEW, EXPANDED,  
& TIMELIER  
UNDERSTANDING  
OF OUR WORLD!**

**AUGUST  
5-10  
2017**

**LOGAN, UTAH  
USA**

**small**  
SATELLITE  
AIAA/USU CONFERENCE ON SMALL SATELLITES

IT'S THE MISSION THAT MATTERS

TECHNICAL SESSIONS • COMMERCIAL EXHIBIT  
21<sup>ST</sup> Annual AIAA/USU Conference on Small Satellites  
August 13 to 14, 2007 • Logan Utah, USA

THE  
OMMERCE  
OF  
SMALL SATELLITES

AUG 2-7  
2014

LOGAN  
UT, USA

21<sup>ST</sup> ANNUAL AIAA/USU CONFERENCE ON SMALL SATELLITES

PRE-CONFERENCE WORKSHOP • TECHNICAL SESSIONS  
EXHIBIT • RECEPTION

**small**  
SATELLITE  
AIAA/USU CONFERENCE ON SMALL SATELLITES

21:50

ENHANCING GLOBAL AWARENESS THROUGH  
**SMALL SATELLITES**