



Curso de Inverno 2018

Introdução às Tecnologias Espaciais

FOGUETES DE SONDAGEM E LANÇADORES DE SATÉLITES

10 a 26 de julho

Danton J. F. Villas Bôas, M.Sc.

Instituto de Aeronáutica e Espaço - IAE

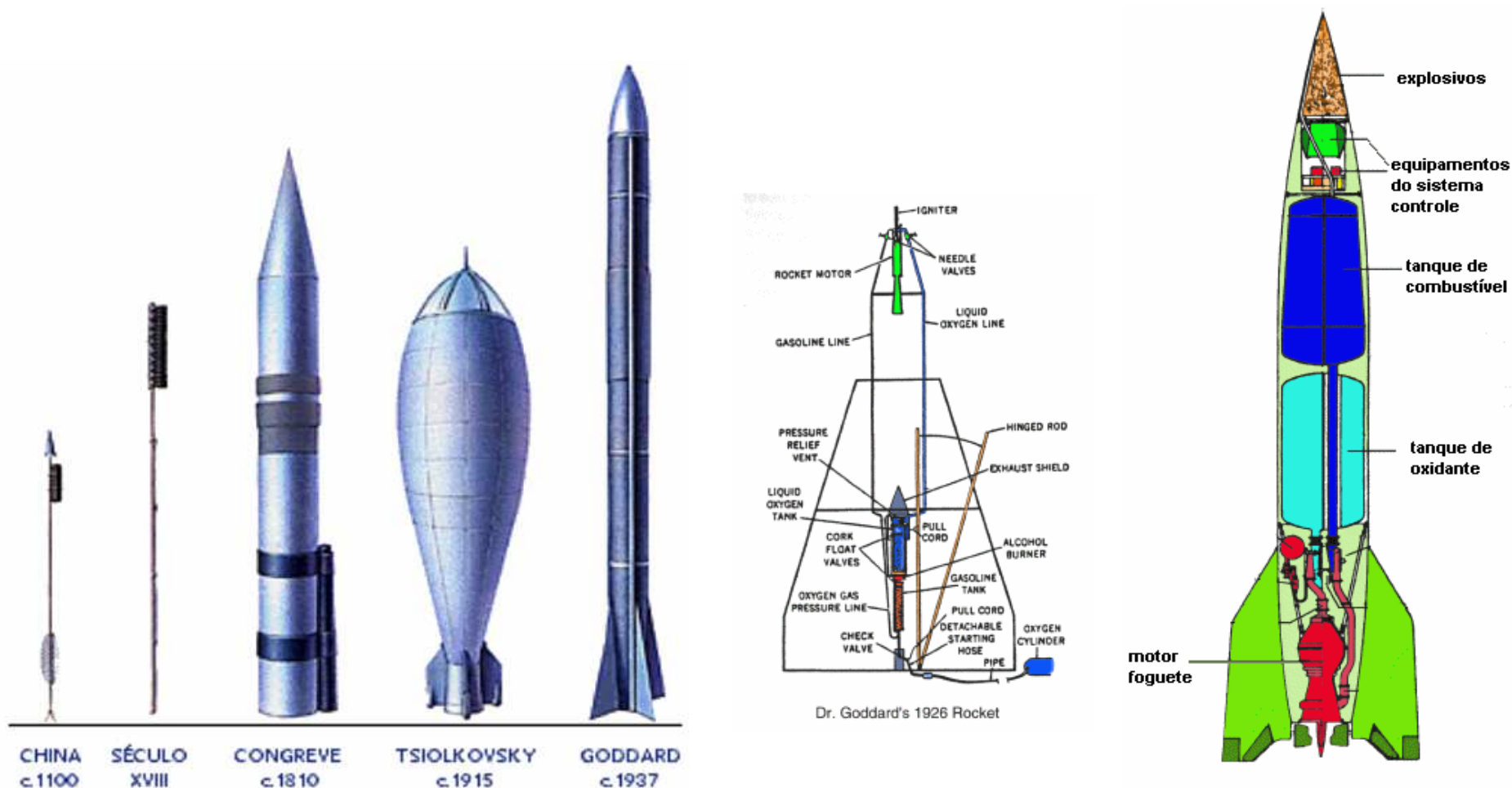
Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial - DCTA



Viaje nesta idéia!



Primeiros Foguetes



China (c 1100), Konstantin Tsiolkovsky (1903),
Robert Goddard (1926), Alemanha V-2 (década 1930)

Propulsão dos Foguetes

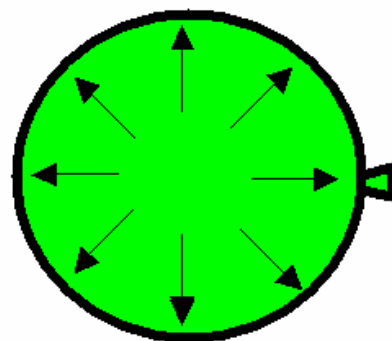
Os princípios físicos básicos dos fogos de artifício são os mesmos que lançam uma nave no espaço: o combustível é misturado com um material chamado oxidante, que é rico em oxigênio, que é o gás necessário para a combustão. Essa mistura é chamada de propelente, e é queimada formando gases quentes que se expandem e escapam violentamente por um orifício fazendo o foguete subir.

A Física do Foguete

Esse efeito físico é descrito na Terceira Lei do Movimento, Isaac Newton (século XVIII)., que explica que a cada ação (os gases escapando) há uma reação em sentido contrário e de mesmo valor (a força que movimenta o foguete).

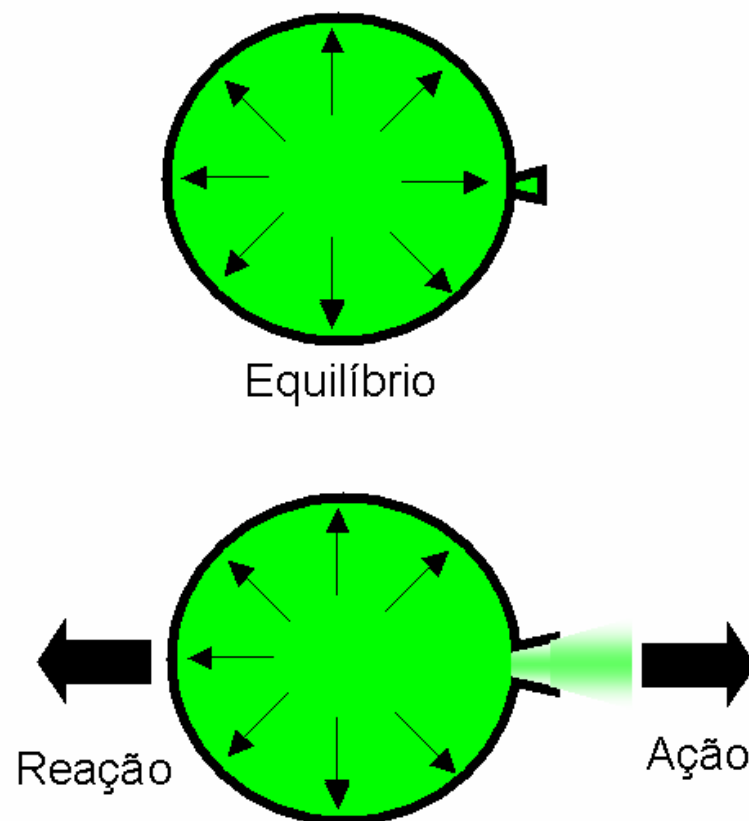


Propulsão de Foguetes

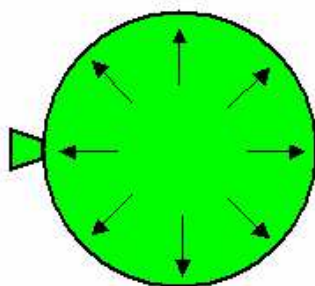


Equilíbrio

Propulsão de Foguetes



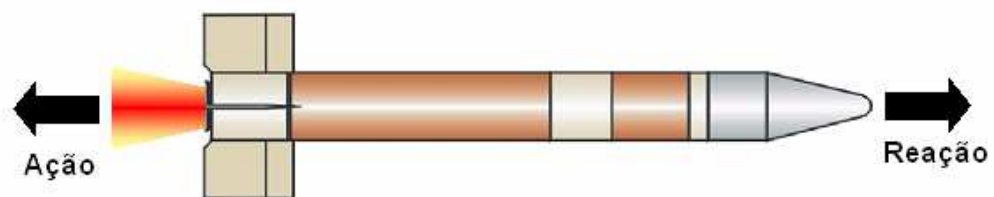
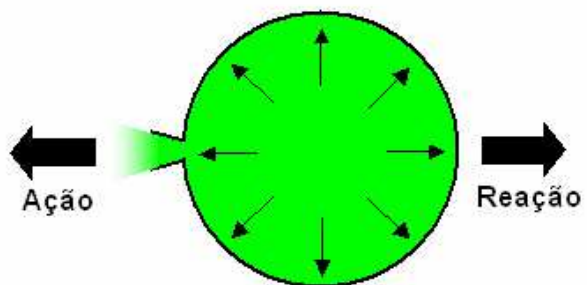
Propulsão de Foguetes



Equilíbrio

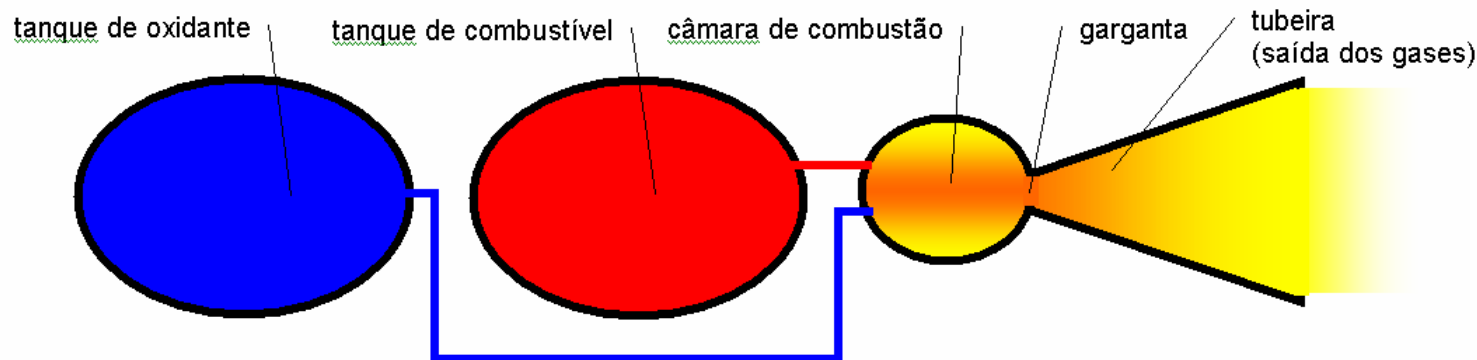


Equilíbrio



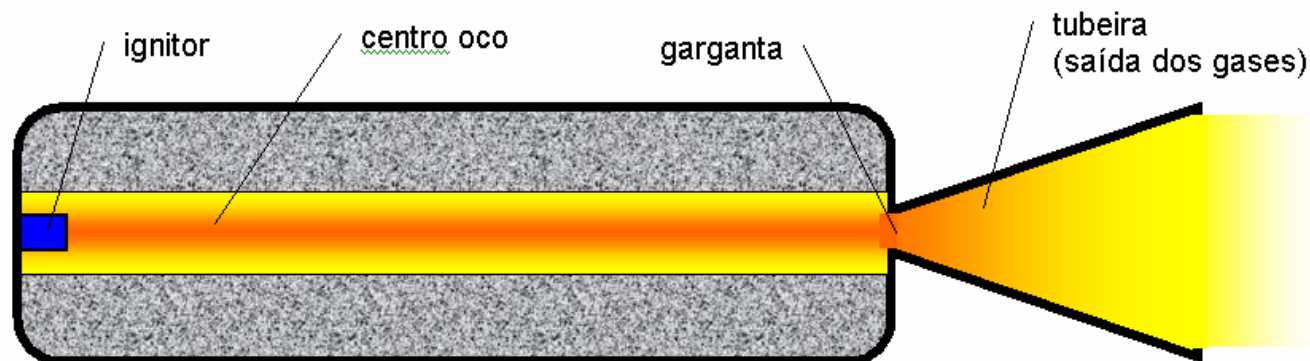
Propulsão Líquida

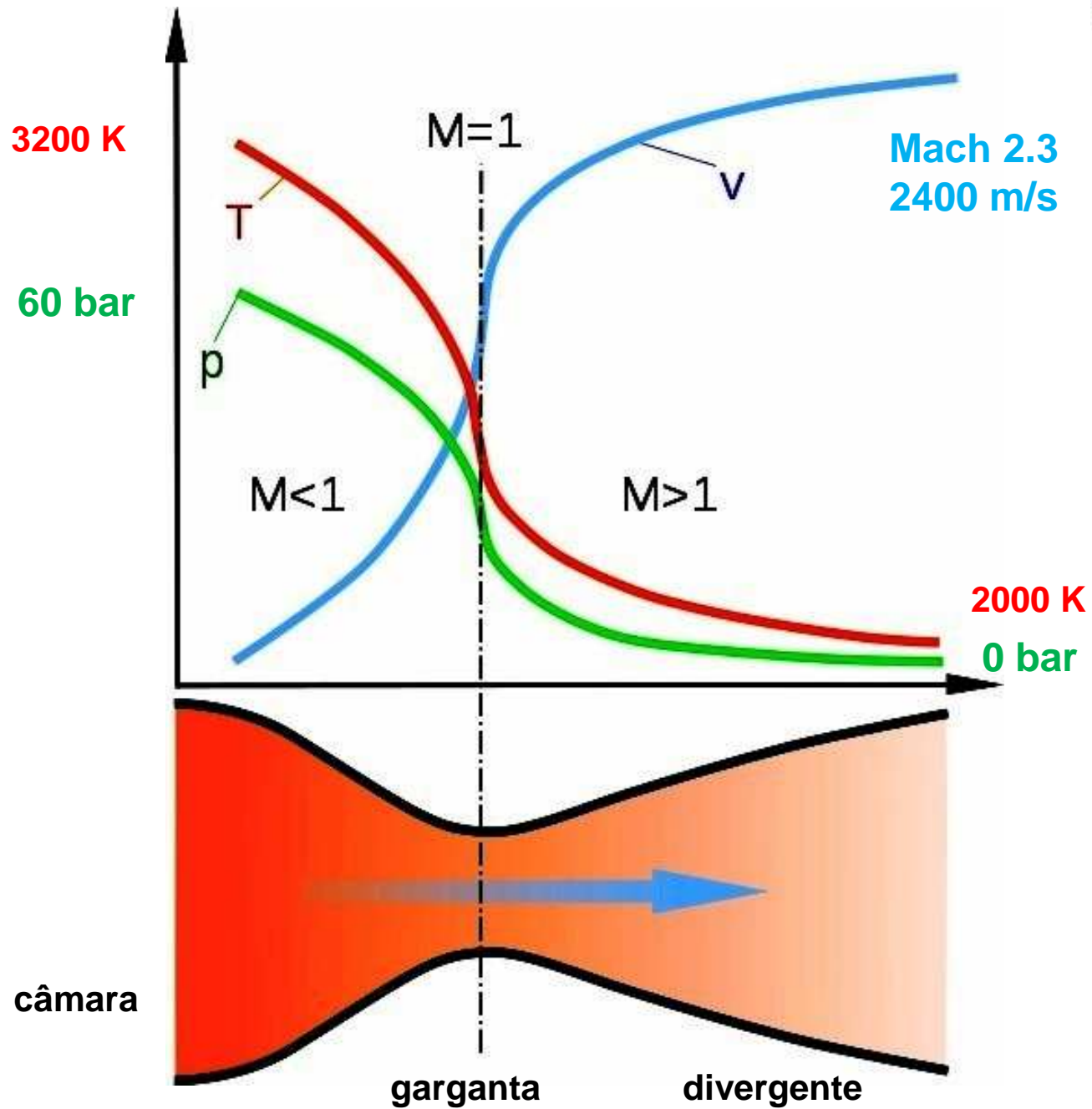
Em um propulsor líquido, o combustível e o oxidante são armazenados em tanques e bombeados e injetados na câmara de combustão onde são misturados e ocorre a combustão. A combustão produz grandes quantidades de gás de exaustão com alta temperatura e pressão. Os gases quentes são ejetados através de uma tubeira que serve para acelerar o fluxo. O empuxo é então produzido de acordo com a terceira lei de Newton. Os propelentes líquidos podem ser do tipo hipergólico em que o simples contato do combustível e oxidante é suficiente para iniciar a combustão. Nos outros casos é necessário o uso de um sistema de ignição semelhante aos usados nos propulsores sólidos.



Propulsão Sólida

Em um propulsor sólido, o combustível e o oxidante são misturados formando o propelente sólido que é inserido em um cilindro. Sob condições de temperatura normais, o propulsor não se queima, mas a combustão se iniciará quando exposto a uma fonte externa do calor. Um dispositivo de ignição, chamado de ignitor, é usado iniciar a queima do propelente sólido, e é instalado normalmente em uma das extremidades do motor. Durante a queima o gás de exaustão será produzido e esta prosseguirá até que todo o propelente tenha sido consumido. Normalmente os blocos de propelentes têm o centro oco, para que a combustão ocorra nesta região aumentando a área de queima.

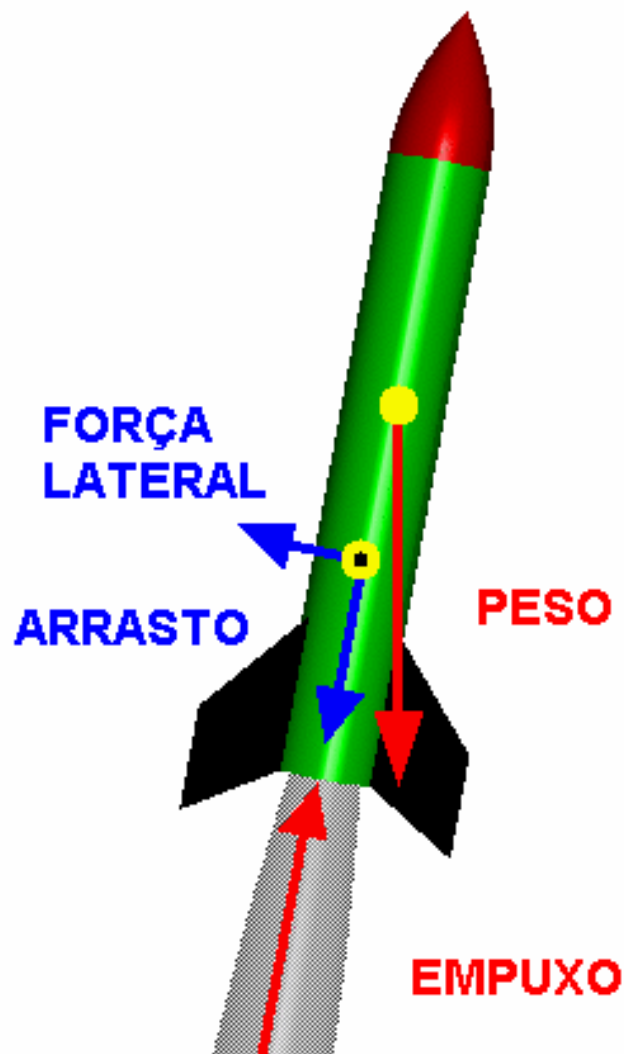




Tiros em Banco Propulsor VLS-1

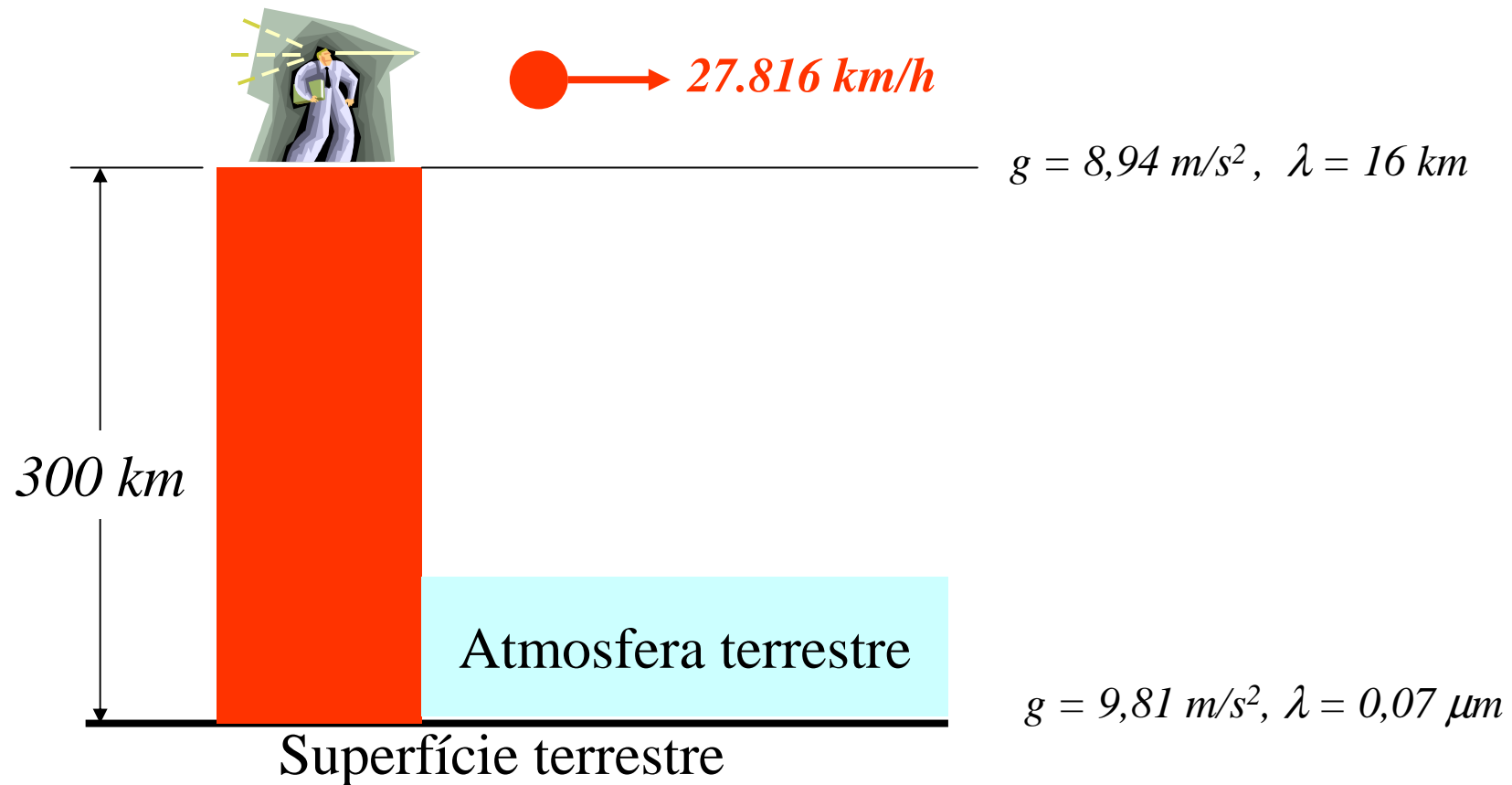


Forças Atuantes em um Foguete

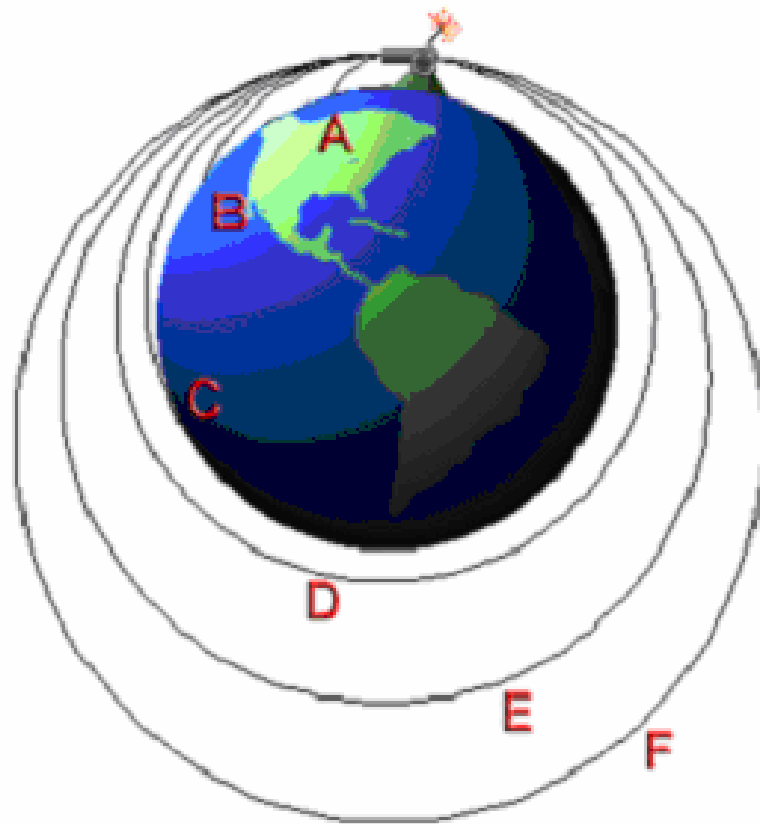


Terceira Lei do Movimento (Issac Newton) : A cada ação (os gases escapando) há uma reação em sentido contrário e de mesma magnitude (a força que movimenta o foguete).

Onde Acaba a Gravidade?



21 milhões de km



$$v = \sqrt{\frac{G.M}{R_T + h}}$$

$$v = 7,7 \text{ km/s} = 27.816 \text{ km/h} !!!!!$$

Newton e a teoria da
gravitação universal

G = constante gravitacional universal = $6,673 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2 / \text{kg}^2$,
 M = massa da Terra = $5,98 \cdot 10^{24} \text{ kg}$
 $G M = 3,986 \cdot 10^{14} \text{ m}^3 / \text{s}^2$



missão do foguete:

transferir

$$v = \sqrt{\frac{G.M}{R_T + h}}$$

$$v = 7,7 \text{ km/s} = 27.816 \text{ km/h} !!!!!$$

VELOCIDADE

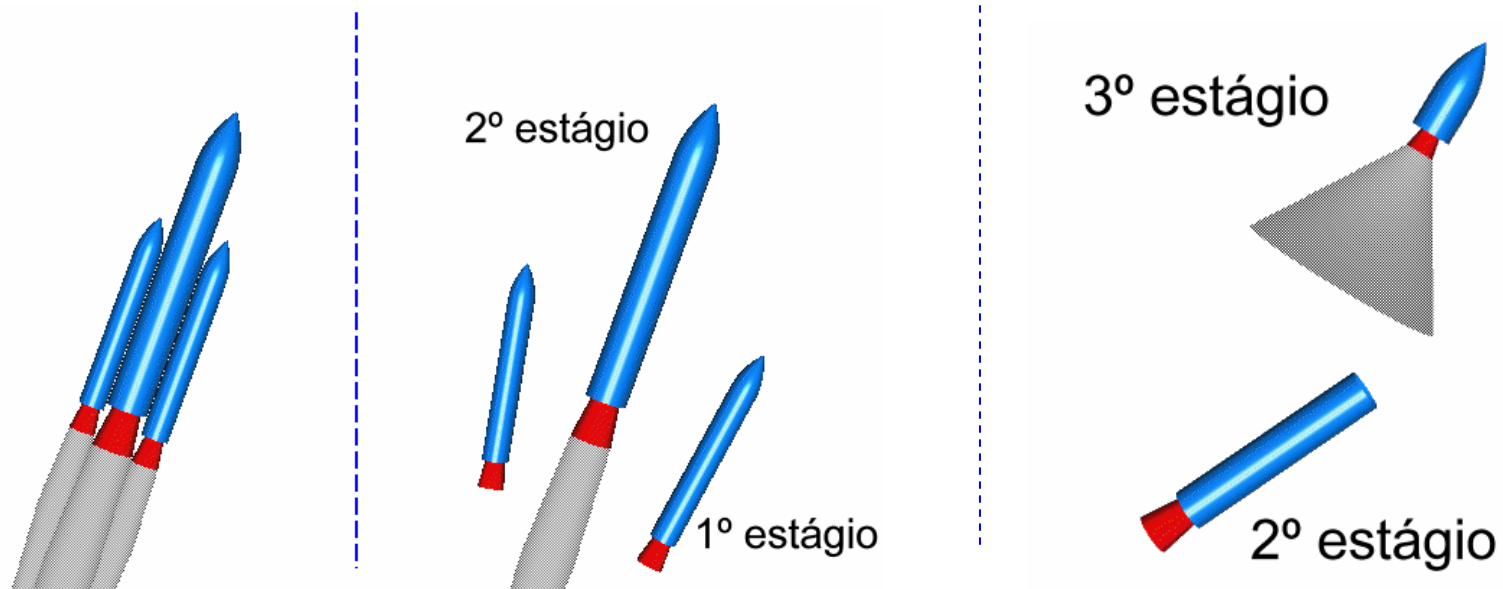
Newton e a teoria da
gravitação universal

G = constante gravitacional universal = $6,673 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2 / \text{kg}^2$,

M = massa da Terra = $5,98 \cdot 10^{24} \text{ kg}$

$G M = 3,986 \cdot 10^{14} \text{ m}^3 / \text{s}^2$

Estágios de um Foguete

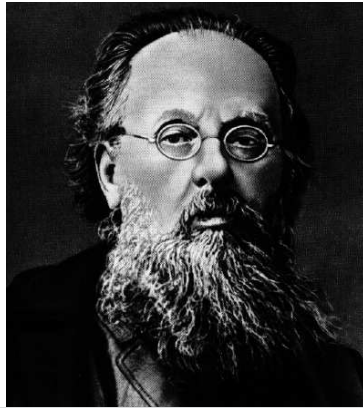


antes da separação

depois das separações

$$\mathbf{F = m.a \quad \Rightarrow \quad a = F / m}$$

Equação Tsiolkovsky



Em 1896, o cientista russo Konstantin Tsiolkovsky estabeleceu a equação básica que rege o ganho de velocidade dos foguete

$$v = I_{sp} g \ln (m_0 / m_f)$$

		Msat=	300 kg		
		isp=	270 s		
		Massas (kg)			
Estágio	Estrutura	Propelente	m ₀	m _f	Incr. Vel (m/s)
1	6.000	40.000	55.500	15.500	3.444
2	1.000	7.000	9.500	2.500	3.605
3	200	1.000	1.500	500	2.966
				Total	10.015
	Mono Estagio				
	7.200	48.000	55.500	7.500	5.404

V=10.015 m/s

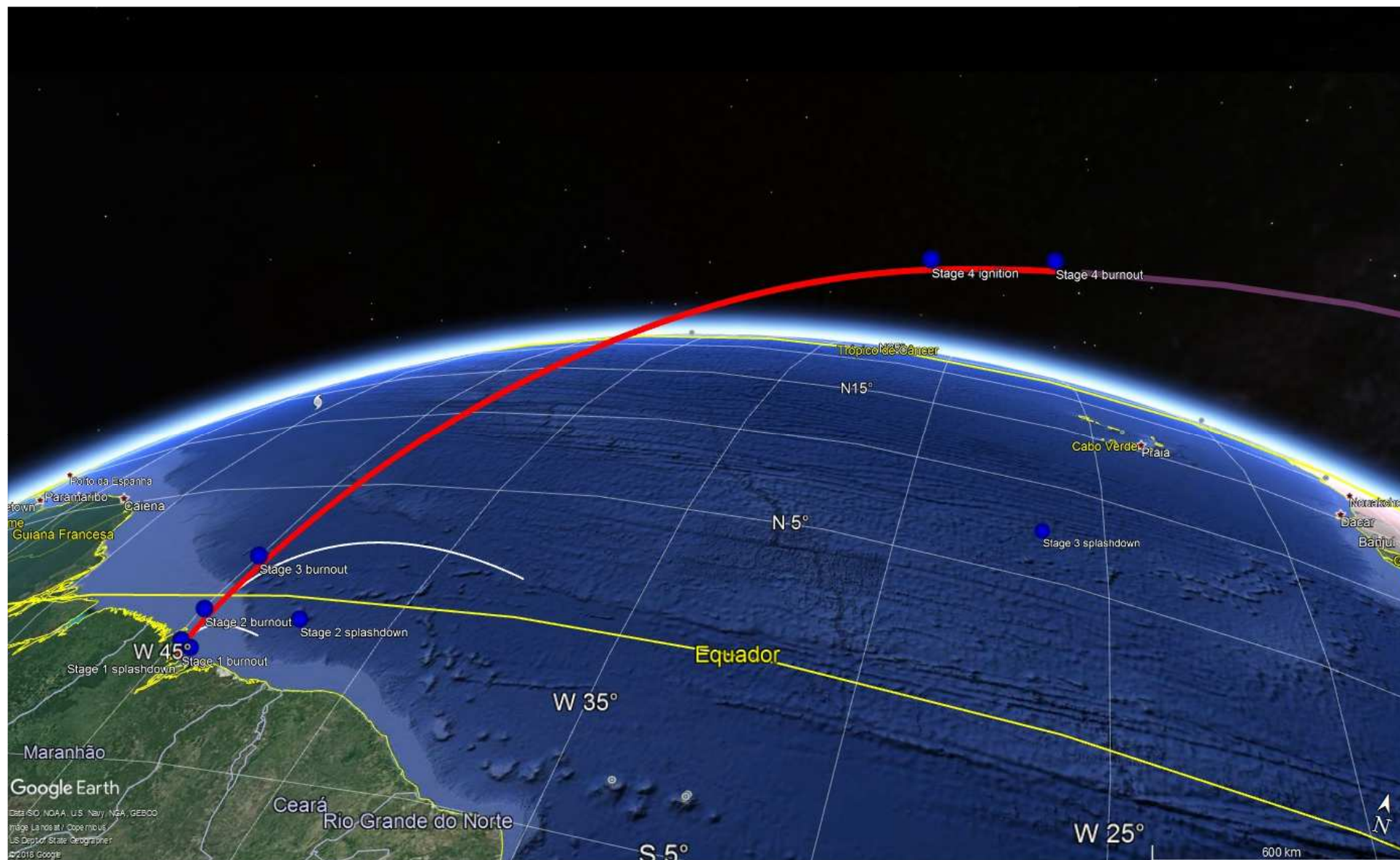
V=5.404 m/s (mono estágio)

Simulação de Trajetória: SKYNAV

```

*****
File VLS.DAT, Brazilian VLS type launcher launched in Alcantara (Four Stages)
-----
SN3OPT: PARALLEL STAGED LAUNCHER WITH OPTIMIZED COASTING
-----
LAUNCH SITE:  LONGITUDE [deg]                :      -44.380
                LATITUDE [deg]                :      -2.280
LEO FINAL ORBIT:ALTITUDE (ABOVE SEA-LEVEL) [km] :      750.000
                SUPERCIRCULAR VELOCITY [m/s]   :           .000
                INCLINATION (+FROM,-TO EQUATOR) [deg] :     -25.000
FIRST STAGE:  IGNITION MASS [t]               :      35.100
                BURNOUT MASS [t]               :       6.200
                JET-VELOCITY (VACUUM) [m/s]    :     2530.000
                JET-VELOCITY (SEA-LEVEL) [m/s] :     2215.000
                DRAG COEFFICIENT*SECTIONAL AREA [m2] :       3.000
SECOND STAGE: IGNITION MASS [t]               :       8.940
                BURNOUT MASS [t]               :       1.800
                JET-VELOCITY (VACUUM) [m/s]    :     2738.000
                JET-VELOCITY (SEA-LEVEL) [m/s] :     2738.000
                DRAG COEFFICIENT*SECTIONAL AREA [m2] :       1.300
THIRD STAGE:  IGNITION MASS [t]               :       5.700
                BURNOUT MASS [t]               :       1.330
                JET-VELOCITY (VACUUM) [m/s]    :     2656.000
FOURTH STAGE: IGNITION MASS [t]               :       .990
                BURNOUT MASS [t]               :       .170
                JET-VELOCITY (VACUUM) [m/s]    :     2765.000
MAXIMUM AERODYNAMIC LIFT [N/m²]               :     4000.000
-----
PAYLOAD MASS [kg]                             :      186.765
-----
CONTROL DATA:      16.459402152      2.478973801      7093.347829703
-----
TRAJECTORY CORNER INSTANTS:
-----
TIME T1 (END OF EXACT VERTICAL ASCENT,INPUT) [s]:       3.296
TIME T2 (FIRST STAGE BURNOUT ,OUTPUT) [s]          :      62.826
TIME T3 (SECOND STAGE BURNOUT, OUTPUT) [s]         :     124.913
TIME T4 (THIRD STAGE BURNOUT,OUTPUT) [s]           :     183.180
TIME T5 (FOURTH STAGE IGNITION,INPUT) [s]          :     607.882
TIME T6 (FOURTH STAGE BURNOUT,OUTPUT) [s]          :     682.427
-----

```



Resultado da Simulação de Trajetória:
Exemplo VLS do software SKYNAV

Principais Eventos de Vôo

- Ignições dos propulsores
- Separações de estágios e partes
- Controle de Atitude



Subsistemas, equipamentos, componentes

*Video from
the RocketCam™ system
by*

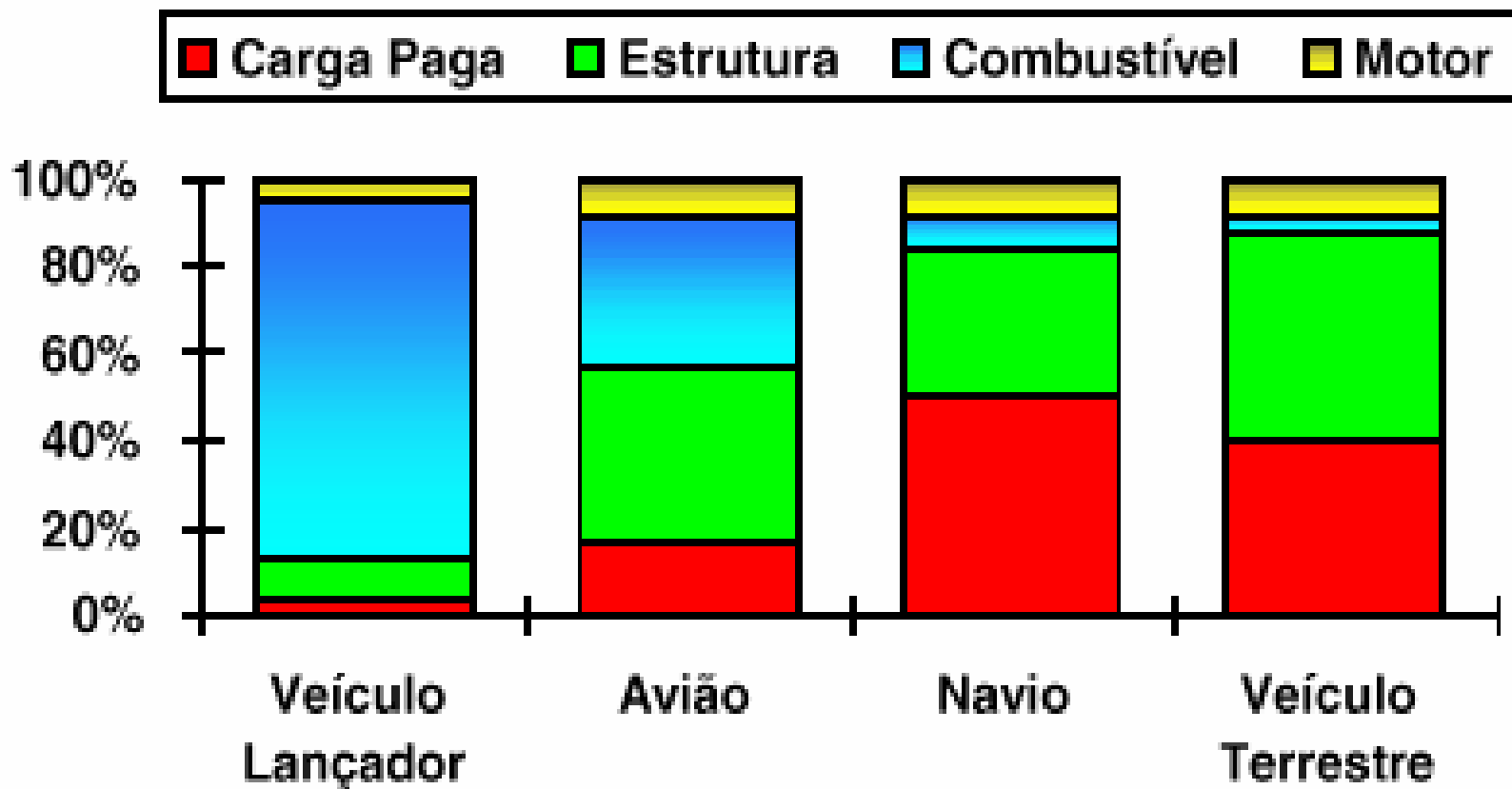


ECLIPTIC ENTERPRISES™

Delta II Launch of Mars Odyssey - YouTube

<https://www.youtube.com/watch?v=4dDalRi8iqg>

Capacidade de Transporte



Principais Centros de Lançamento no Mundo



Centro de Lançamento no Brasil



CLA: Centro de Lançamento de Alcântara - MA

CLBI: Centro de Lançamento da Barreira do Inferno - RN

O Brasil e o Espaço - Histórico

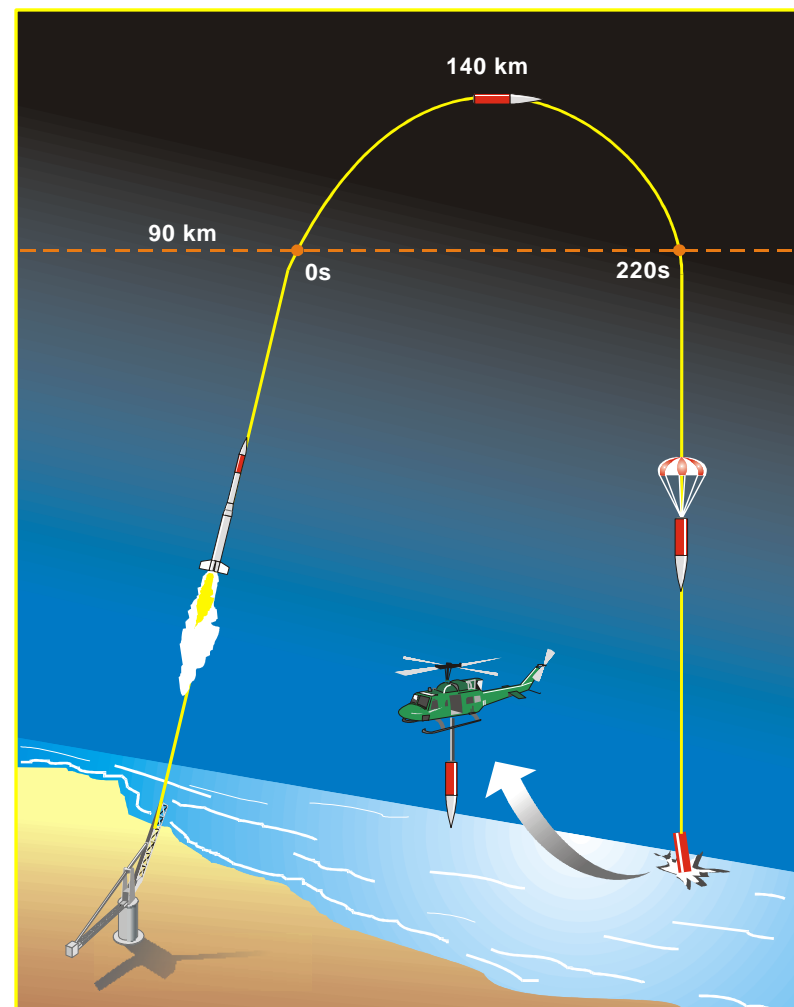
- Em 1961, o presidente **Jânio Quadros** estabeleceu um **grupo** que objetivava a elaboração de um **programa** nacional para a **exploração espacial**.
- Em agosto de 1961 formou-se o Grupo de Organização da Comissão Nacional de Atividades Espaciais (**GOCNAE**), funcionando em São José dos Campos (SP).
- **Técnicos brasileiros** recebem **treinamento** no exterior, bem como adquirem experiência montando e **lançando** foguetes americanos e canadenses no **CLBI**.
- No final de **1965**, é lançado do **CLBI** um foguete americano Nike-Apache.
- Em **1967** foi lançado do **CLBI** o 1. protótipo do **Sonda I**.
- Criação do **IAE** e **INPE**

Foguetes de Sondagem

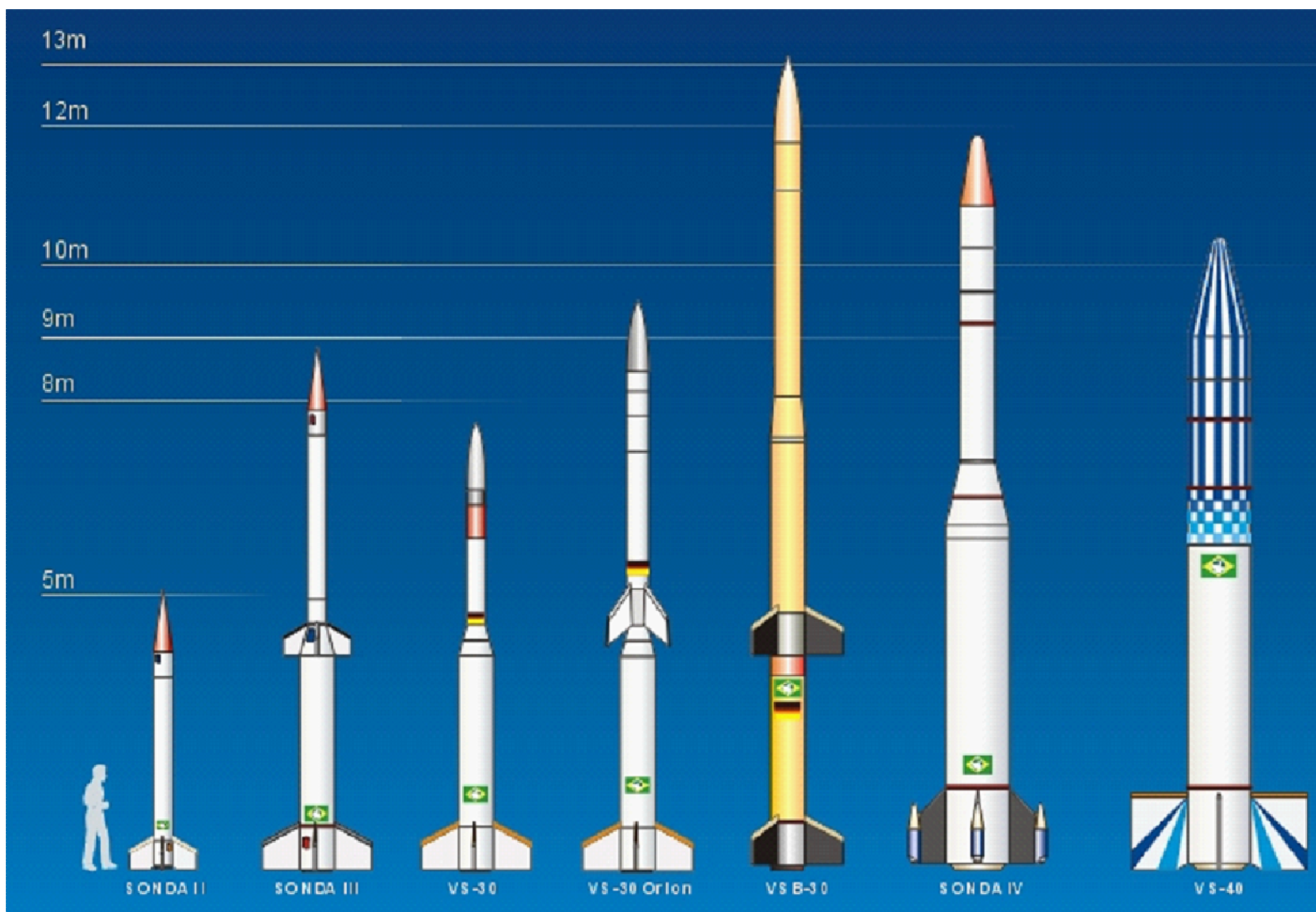
Têm como missão:

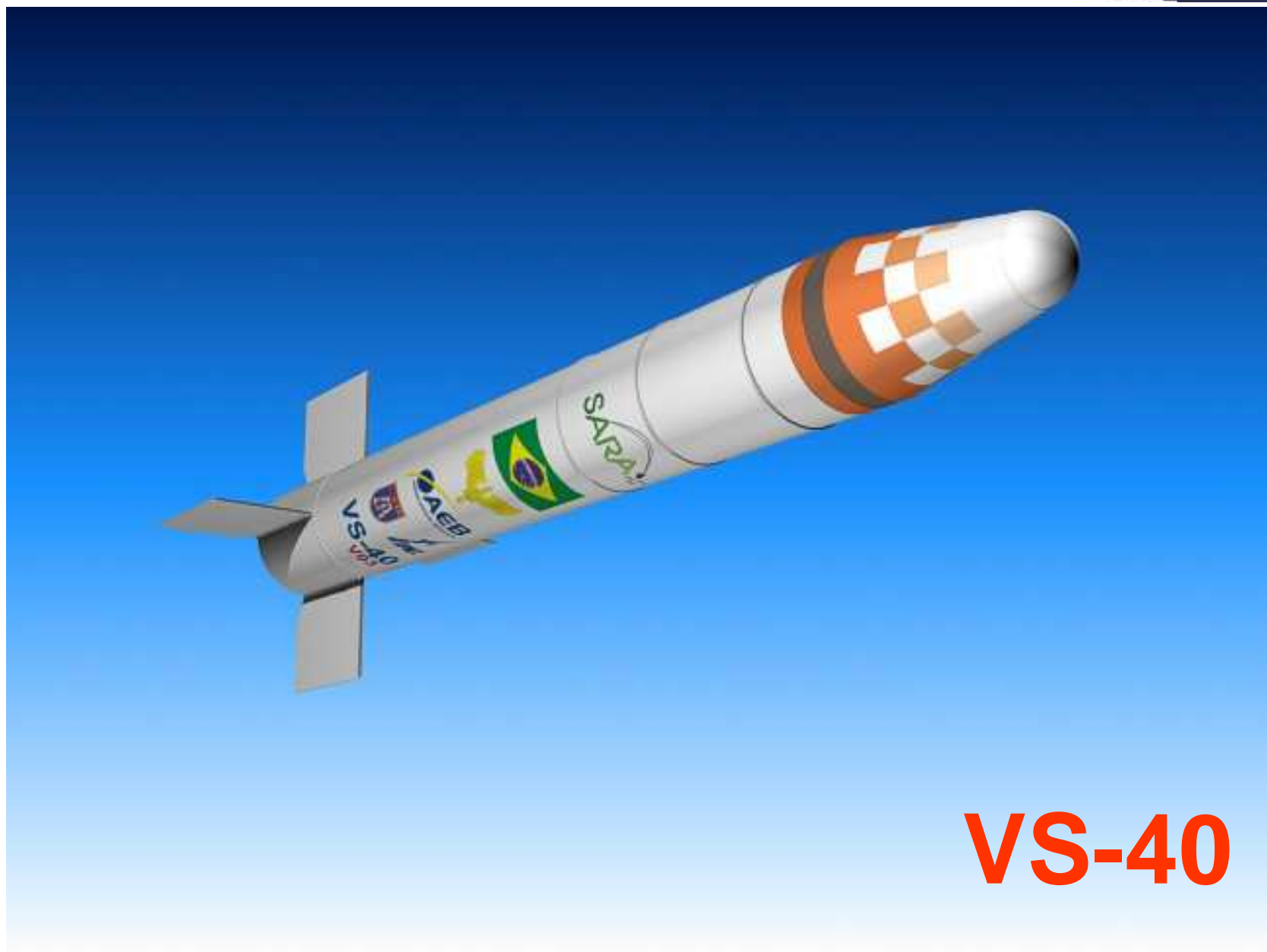
- a) levar uma carga-útil até uma **altitude** requerida, ou
- b) prover uma certa **permanência** acima de determinada altitude.

Inicialmente utilizados como **sondas atmosféricas** e mais **recentemente** para realização de experimentos em ambiente de **microgravidade**.

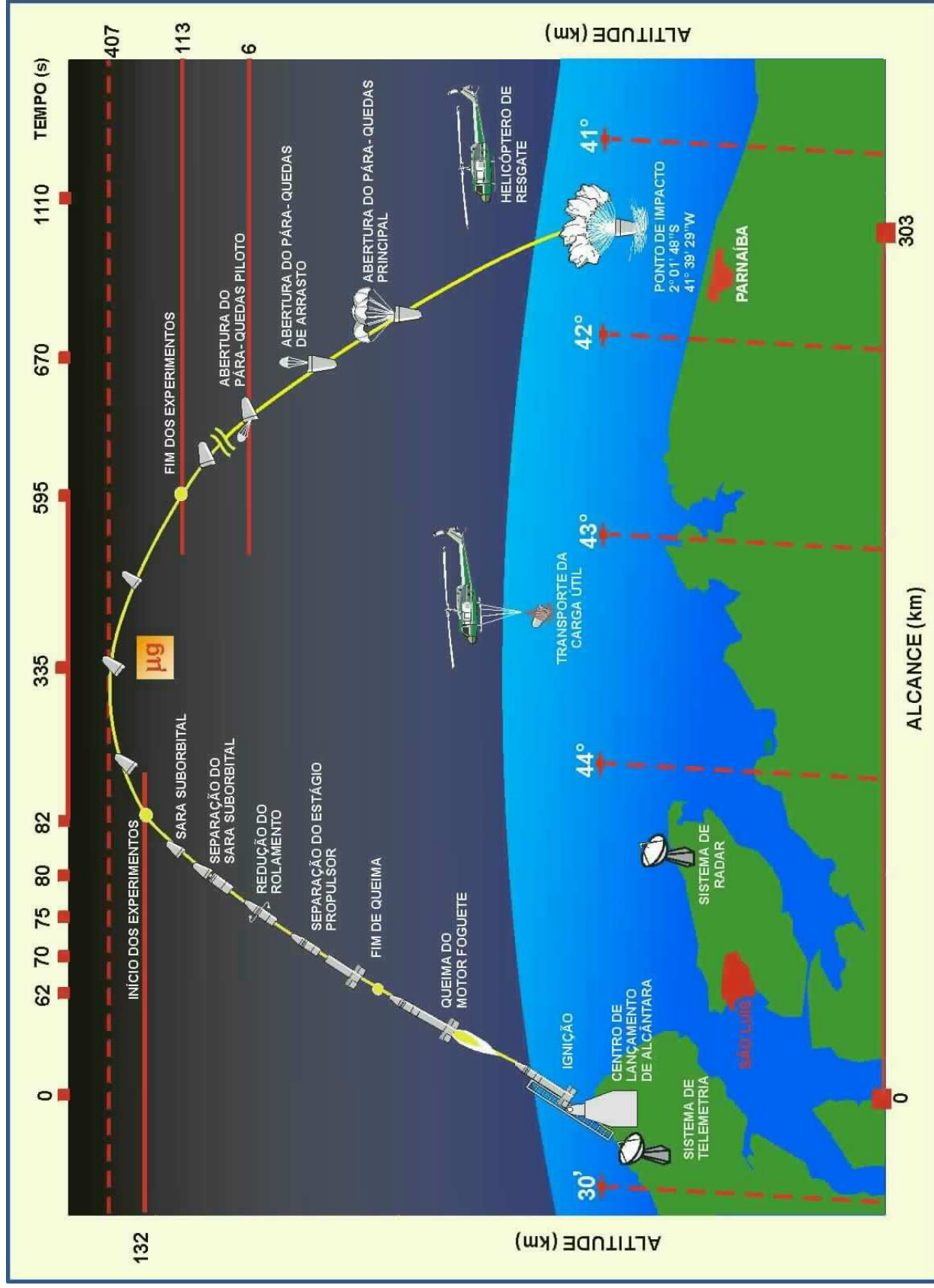


Foguetes de Sondagem:



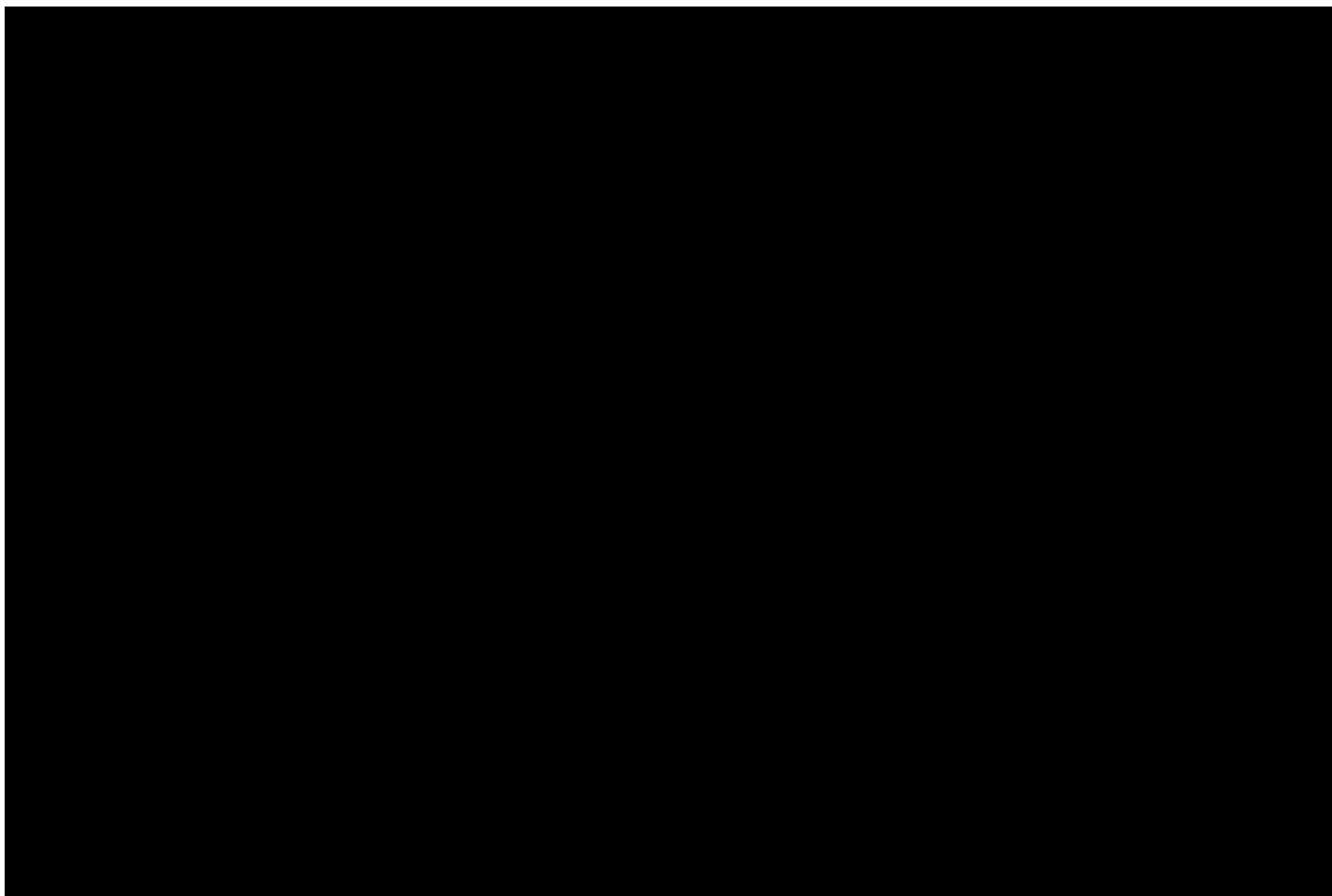


VS-40





VSB-30



<https://www.youtube.com/watch?v=BfOkhRRo5Tw>
Animação VSB-30

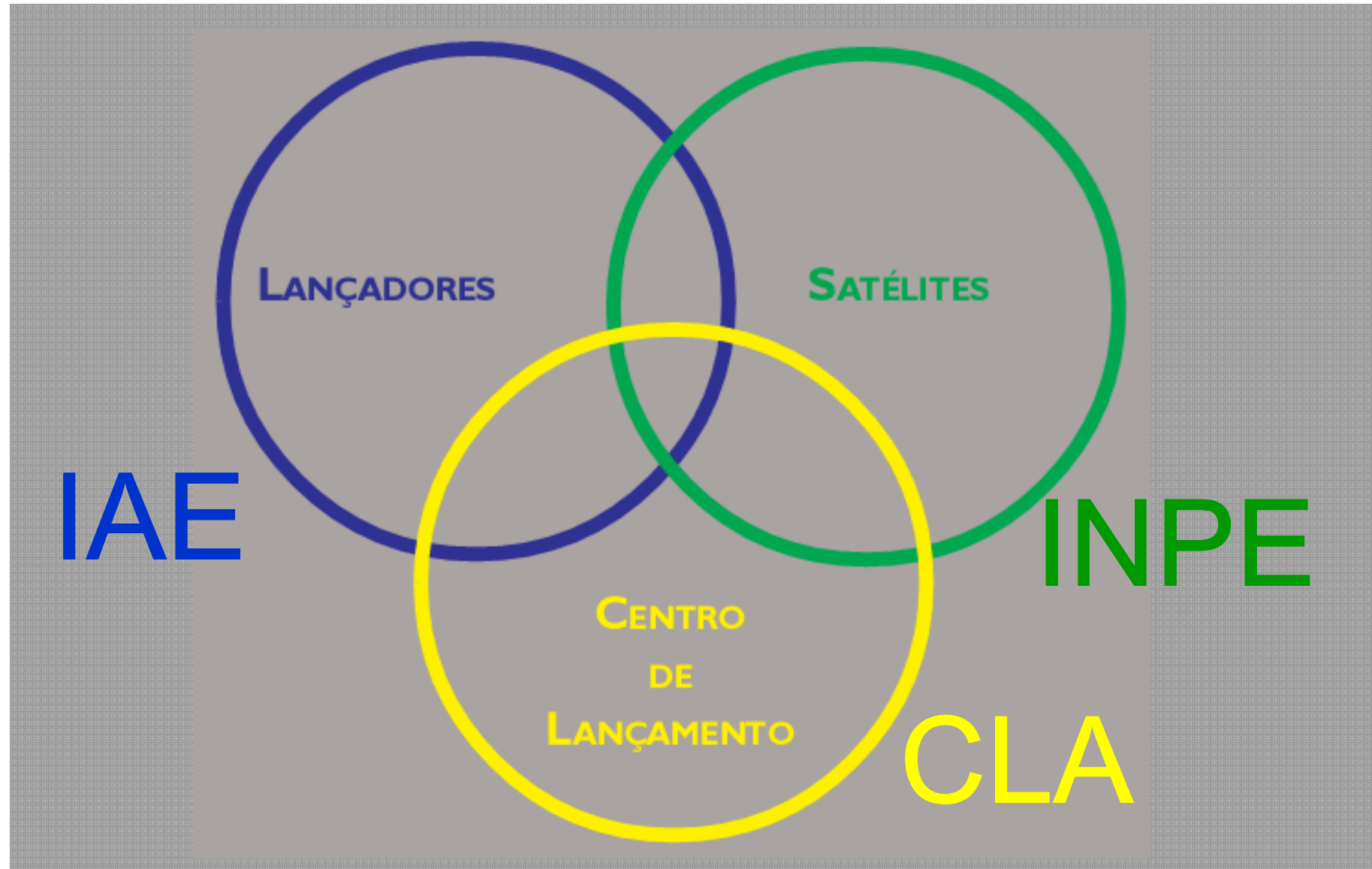
Histórico



VEÍCULOS	INICIO	1º VOO	PERÍODO DE DESENVOLVIMENTO	TOTAL DE LANÇAMENTOS
S II	1966	1972	6 ANOS	61
S III	1969	1976	7 ANOS	31
S IV	1976	1984	8 ANOS	4
VS-40	1990	1993	3 ANOS	3
VLS-1	1985	1997	12 ANOS	2
VS-30	1996	1997	1 ANO	12
VS-30/IO				11
VS-31/IO				2
VS-30	2001	2004	3 ANOS	19

Outubro 2015

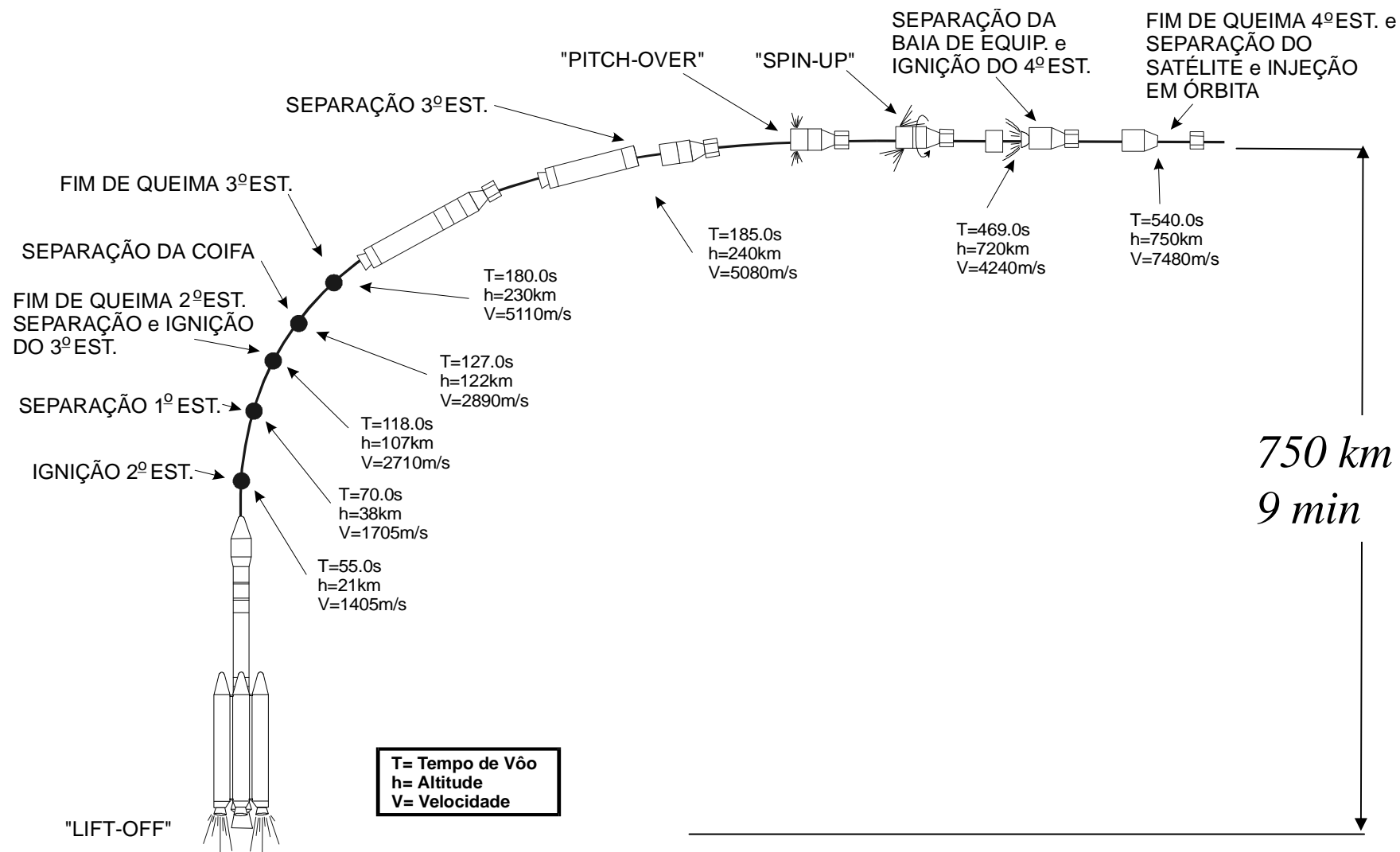
MECB : Missão Espacial Completa Brasileira

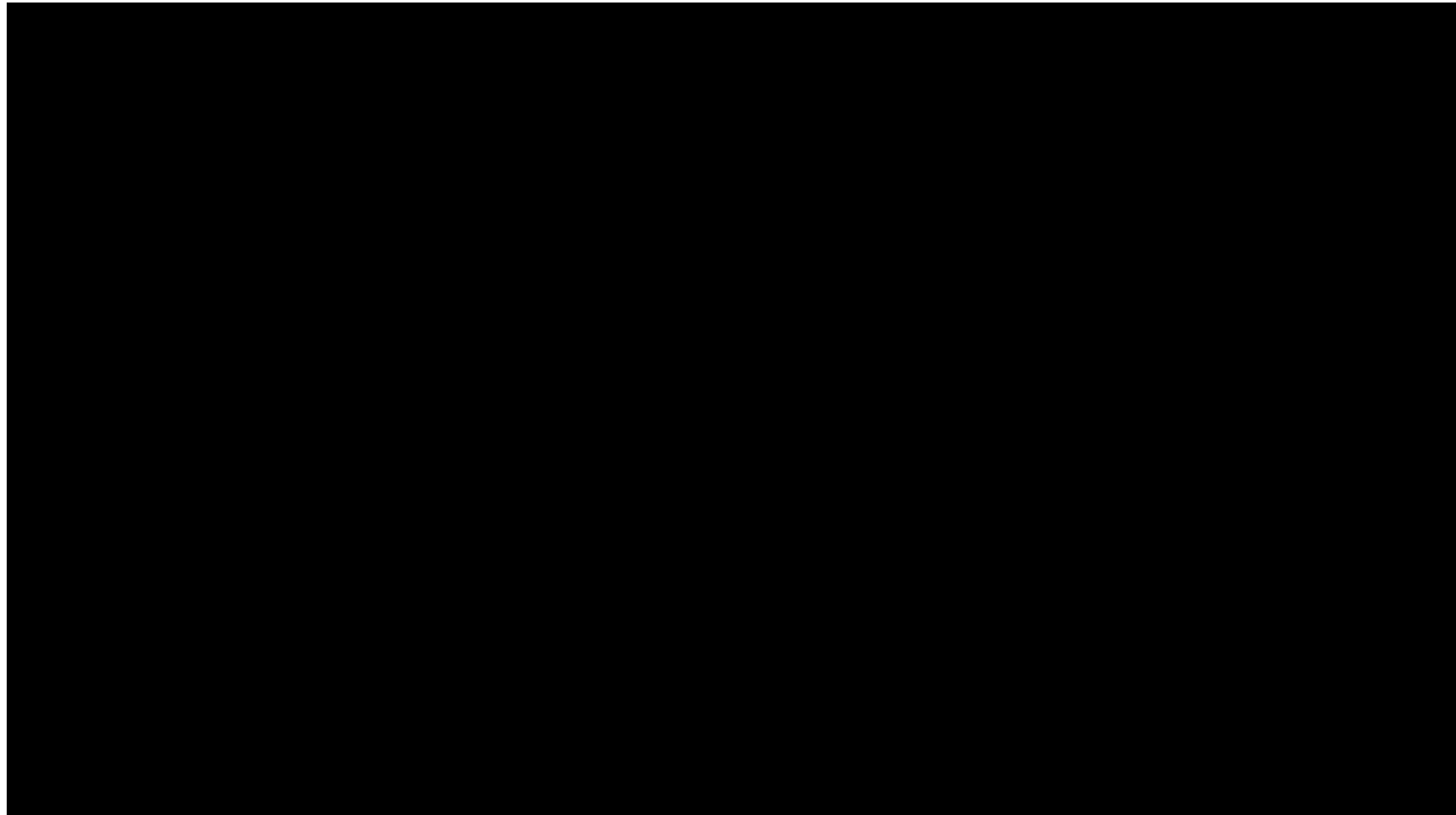


VLS-1

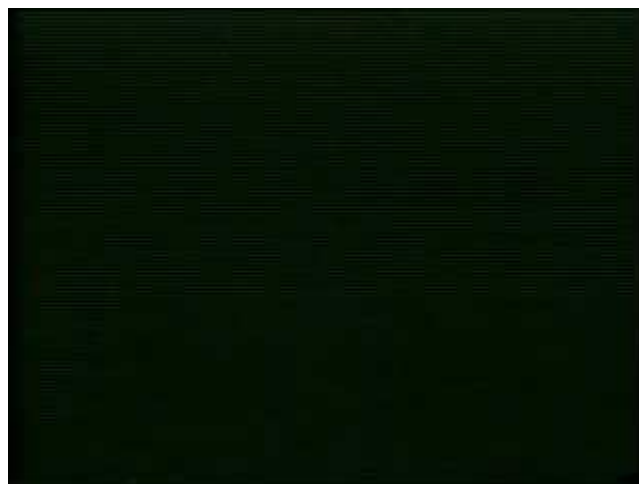
nº de estágios:	4
massa na decolagem:	50 t
comprimento:	19,4 m
diâmetro:	1,0 m
massa total propelente:	41 t
missão típica:	350 kg, 300km equatorial
primeiro lançamento:	Novembro de 1997
segundo lançamento:	Dezembro de 1999







https://www.youtube.com/watch?v=r47_kwx5vS8
VLS-1 Animação Completa



VLS-1 Vôo V02

Créditos (Sons e Imagens)



Roscosmos (www.roscosmos.ru)

Corporação Energia (www.energia.ru)

RussianSpaceWeb (www.russianspaceweb.com)

Instituto de Aeronáutica e Espaço (DCTA-IAE)

Agência Espacial Brasileira (www.aeb.gov.br)

NASA (www.nasa.gov)

CECOMSAER (www.fab.mil.br)

O Espaço (CD ROM produzido pela Editora Globo)

Encyclopedia Astronautica (www.astronautix.com)

Boletim Em Órbita n. 62 (www.zenite.nu/orbita)

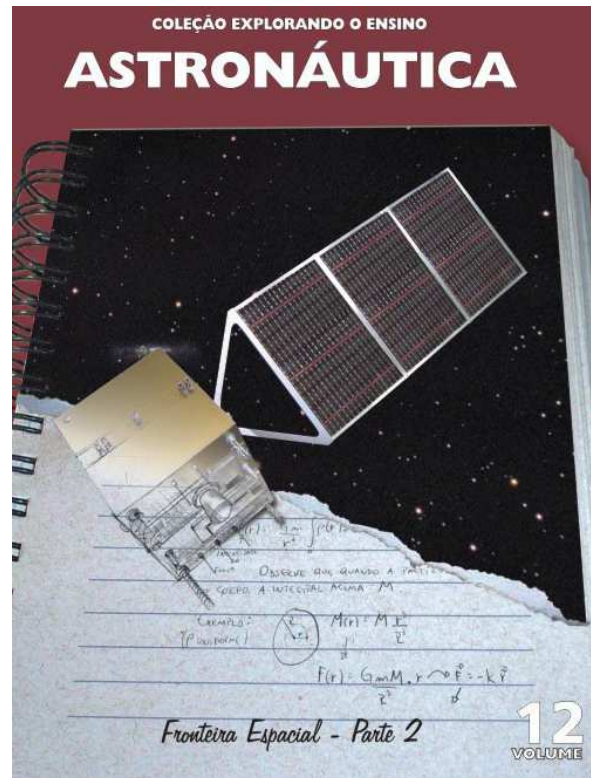
www.marcospontes.net

Livro Introdução à Tecnologia de Foguetes (A. F. Palmério)

dantondjfvb@iae.cta.br dantonvb@yahoo.com

dantondjfvb@fab.mil.br

Encontre Mais Informações



<http://aebescola.aeb.gov.br> => REPOSITÓRIO

<http://www.sindct.org.br/files/livrofoguetes.pdf> ←