



Observatório de Ciência, Tecnologia e Inovação

Projeto Observatório de Tecnologias Espaciais – OTE

Série Documentos Estratégicos para o Setor Espacial

Ano 2, Número 1 - Veículos Lançadores de Satélites de Pequeno Porte

Observatório de Ciência, Tecnologia e Inovação

Projeto Observatório de Tecnologias Espaciais – OTE

Série Documentos Estratégicos para o Setor Espacial

Ano 2, Número 1 - Veículos Lançadores de Satélites de Pequeno Porte



Brasília - DF
Dezembro, 2018

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE)

Organização social supervisionada pelo Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC)

Presidente

Marcio de Miranda Santos

Diretores

Regina Maria Silverio

Joaquim Aparecido Machado

Série Documentos Estratégicos para o Setor Espacial. Projeto – Observatório de Tecnologias Espaciais – OTE. In: Atividade – Observatório de Ciência, Tecnologia e Inovação. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2018.

100 p. : il.

1. Tecnologias espaciais. 2. Documento estratégico. 3. Veículos lançadores de satélites. 4. CubeSats. I. CGEE. II. MCTIC. III. Brasil.

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos - CGEE
SCS Quadra 9 – Torre C – 4º andar – salas 401 a 405
Edifício Parque Cidade Corporate
70308-200 - Brasília, DF
Telefone: (61) 3424.9600
<http://www.cgEE.org.br>

Este documento é parte integrante das atividades desenvolvidas no âmbito do 2º Contrato de Gestão CGEE – 13º Termo Aditivo, Atividade: Observatório de Ciência, Tecnologia e Inovação / Projeto: Observatório de Tecnologias Espaciais – OTE – 56.02.80.01/MCTIC/2016.

Todos os direitos reservados pelo Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE). Os textos contidos neste relatório poderão ser reproduzidos, armazenados ou transmitidos, desde que citada a fonte.

Observatório de Ciência, Tecnologia e Inovação

Projeto Observatório de Tecnologias Espaciais – OTE

Série Documentos Estratégicos para o Setor Espacial

Ano 2, Número 1 - Veículos Lançadores de Satélites de Pequeno Porte

Supervisão

Marcio de Miranda Santos

Equipe técnica do CGEE

Thyrso Villela Neto (Coordenador)

Alessandra de Moura Brandão

César Augusto Costa

Apoio técnico

Fernando Teixeira Bueno

Apoio administrativo

Genilda Matos

SUMÁRIO

Apresentação.....	11
Introdução	13
Lançadores de satélites	19
Crescimento do mercado de pequenos satélites.....	20
Desafios financeiros e tecnológicos	24
Cenário mundial	27
Iniciativas bem sucedidas com pequenos lançadores	29
Tecnologias utilizadas em veículos lançadores	31
Recuperação e reutilização parcial dos veículos	31
Propulsão e propelentes	32
Configuração dos veículos	34
Tendências tecnológicas	35
Veículos reutilizáveis e remoção de detritos espaciais	35
Configuração do veículo.....	36
Propulsão e propelentes	36
Situação brasileira	39
A oportunidade para um lançador brasileiro de pequenos satélites	42
Lançador	43
Contexto brasileiro atual.....	45
Aspectos favoráveis	45
Aspectos desfavoráveis.....	45
Recursos necessários para o desenvolvimento de um lançador nacional	47
Considerações finais e recomendações	49
APÊNDICE A Fontes de informação sobre lançadores de satélites	53
Principais fontes de informações tecnológicas.....	53
Principais fontes de informações noticiosas.....	53
Principais eventos.....	54

Principais instituições nacionais e internacionais	54
Agências espaciais.....	55
Instituições	57
Empresas.....	58
APÊNDICE B Principais campos de lançamento.....	61
APÊNDICE C Capacidades nacionais para o desenvolvimento de um microlançador de satélites.....	67
Recursos humanos	67
Gerenciamento do projeto.....	67
Projeto	68
Fabricação	74
Ensaios	79
Integração do veículo e operação de lançamento	81
Meios e materiais de fabricação	82
Fabricação mecânica.....	82
Fabricação eletrônica.....	83
Fabricação química	83
Fabricação pirotécnica	85
Meios de ensaios.....	85
Queima de motor em ponto fixo	85
Ensaios estruturais estáticos.....	86
Ensaios estruturais dinâmicos.....	86
Ensaios ambientais.....	86
Ensaios funcionais de separação	86
Ensaios funcionais do sistema elétrico	87
Ensaios funcionais pirotécnicos	87
Ensaios de simulação híbrida	87
Meios de integração.....	87
Meios de lançamento.....	88
Transporte.....	88
Montagens, pré-integração e transporte no campo de lançamento	88
Plataforma de lançamento/lançador	88

Banco de controle	89
Estação de telemetria	89
Estação de telecomando	89
Estações radar	90
Interfaces operacionais com o CLA	90
Referências bibliográficas	91
Lista de Figuras	94
Lista de Tabelas	95
Dicionário de siglas e acrônimos	96

Apresentação

O Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE) desenvolveu um projeto denominado Observatório de Tecnologias Espaciais (OTE) com o propósito de acompanhar o desenvolvimento e a evolução de tecnologias do setor espacial no Brasil e no mundo. O OTE tem como objetivo identificar tendências e oportunidades tecnológicas nesse setor e gerar informações sobre tecnologias consideradas críticas para o Programa Espacial Brasileiro (PEB). As informações obtidas pelo OTE são compiladas em relatórios periódicos enviados ao Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC) e podem apoiar os tomadores de decisão no âmbito do Sistema Nacional de Desenvolvimento das Atividades Espaciais (SINDAE), coordenado pela Agência Espacial Brasileira (AEB). Além disso, o OTE sugere ações que possam auxiliar processos de gestão tecnológica e de estabelecimento de estratégias de domínio tecnológico para o setor espacial brasileiro.

Resumidamente, o OTE aplica o conceito de inteligência tecnológica para programar as suas observações e usa metodologias próprias ou adaptadas para auxiliar o processo de análise dessas observações, de forma a transformá-las em informações que possam ser úteis para os gestores tecnológicos do setor espacial brasileiro.

Um dos produtos do OTE é a série “Documentos Estratégicos para o Setor Espacial”, que tem como objetivo fornecer informações sobre tópicos específicos ligados a esse setor de forma a propiciar um entendimento mais aprofundado sobre oportunidades para o Brasil no setor espacial. O primeiro documento dessa série tratou de uma categoria de satélites de pequeno porte, que são os nanossatélites conhecidos como CubeSats. O presente documento é o segundo dessa série e trata sobre veículos lançadores de satélites de pequeno porte. Ele traz um panorama sobre veículos lançadores no mundo e detalha algumas informações sobre veículos menores, que representam um nicho interessante no atual cenário mundial e podem servir de base para alavancar projetos de desenvolvimento desse tipo de foguetes no Brasil.

Tanto os nanossatélites quanto os veículos lançadores de satélites de pequeno porte representam uma forma de o Brasil se inserir de uma maneira mais objetiva no cenário espacial mundial e desenvolver tecnologias que propiciem o uso de aplicações espaciais de seu interesse. Convém frisar que há no País as condições essenciais para aproveitar tais oportunidades: recursos humanos disponíveis em número e qualidade, com capacidade de produção em várias áreas científicas e tecnológicas; infraestrutura de montagem, de testes e de lançamento, de satélites; empresas com capacidades em vários setores tecnológicos, e demandas claras, como as relacionadas ao meio ambiente, defesa, ciência, etc.

Porém, é imperativo reconhecer que, apesar das condições mínimas para esse engajamento existirem, outras condições de contorno devem ser consideradas de modo a permitir que o problema de desenvolvimento do Programa Espacial Brasileiro possa ser resolvido. E elas passam por antigas reivindicações do setor, como valorização dos recursos humanos, aumento dos recursos financeiros, melhoria da gestão, entre outros. Mas também passam por uma maior ousadia da iniciativa privada de forma a diminuir a dependência de encomendas governamentais, como está acontecendo atualmente no mundo.

Introdução

Nos últimos anos, o setor privado tem liderado iniciativas que visam ao desenvolvimento das atividades espaciais. Além disso, uma tendência de miniaturização de artefatos espaciais está em curso, tanto de satélites quanto de veículos para lançá-los ao espaço. Esses dois movimentos em escala mundial criam algumas oportunidades para o setor espacial nacional, tanto na esfera governamental quanto na privada.

Historicamente, a área espacial teve como alavanca o setor governamental. Foi assim no início dessa era, com a ex-URSS e os EUA aparecendo como os principais líderes das iniciativas. Nas décadas seguintes, as grandes iniciativas continuaram ocorrendo no âmbito governamental e abarcaram a Europa e alguns países da Ásia, apesar de surgirem empresas especializadas em atender demandas tanto governamentais quanto privadas. Mas, recentemente, essa lógica vem mudando, com a entrada de empresas de capital privado capitaneando iniciativas mais ousadas.

De forma parecida ao que aconteceu nas décadas de 1980 e 1990, quando empresas como Orbcomm e Iridium geraram uma grande demanda por satélites de pequeno porte e de lançadores para essa classe de satélites, impulsionando uma revolução no setor espacial, atualmente uma segunda revolução tem sido, em grande medida, provocada também pelo uso de satélites de pequeno porte. Eles hoje têm desafiado uma lógica há muito tempo estabelecida no setor espacial, que é a da grande confiabilidade dos artefatos, que empregam componentes com qualificação espacial e passam por rigorosos testes antes de serem considerados aptos para operar no espaço. Essa metodologia acarreta altos custos, gera a necessidade de grandes equipes e, em geral, demanda cronogramas da ordem de alguns anos para a construção desses artefatos. Os chamados *lean satellites*, dos quais os CubeSats¹ são um subconjunto, desafiam essa lógica ao empregar uma metodologia simplificada de projeto e testes. O uso generalizado de componentes comerciais conhecidos como COTS (*commercial off-the-shelf*) nos CubeSats é um dos responsáveis por esta redução de custos.

A construção de satélites com diminuição de custos, cronogramas mais curtos e pequenas equipes, se comparada à forma tradicional de construção de satélites, tem promovido o acesso rápido ao espaço a instituições e países que têm dificuldades financeiras para conduzir, autonomamente, aplicações espaciais de seus interesses. E, os dados mostram que os CubeSats têm sido os expoentes dessa promoção. Em 2017, o número de CubeSats lançados superou o de satélites convencionais. Os lançamentos de nano e microsatélites em 2017 ultrapassaram as expectativas: houve um aumento de 205% em relação a 2016.

¹ CubeSat é um satélite em forma de cubo com aresta de 10 centímetros. Podem ser combinadas várias unidades desse cubo (1U) para formar satélites maiores (2U, 3U, 6U...).

Dos cerca de 300 satélites dessas categorias lançados em 2017, a maioria foi de CubeSats. De acordo com a *Satellite Industry Association*, 45 dos 79 satélites lançados pelos EUA em 2016 eram CubeSats (SIA, 2017). Vários deles foram lançados para prover serviços de observação da Terra por empresas privadas, e esse uso tem se mostrado como a aplicação mais comum dessa classe de nanossatélites.

Outros indicadores sobre CubeSats são igualmente impressionantes. Por exemplo, em 2005, foi lançado 1 CubeSat a cada quatro meses. Em 2012, esse número saltou para 2 por mês. Em 2017, foram lançados 24 CubeSats por mês. E, em 2018, 212 CubeSats haviam sido lançados, muito aquém do que era esperado para o ano (352), conforme pode ser observado na Figura 1. Essa redução em do número de lançamentos em relação ao que era esperado tem a ver com a falta de veículos lançadores. Até 31 de dezembro de 2018, 1000 CubeSats já haviam sido lançados. Espera-se, que no ano de 2021 sejam lançados na ordem de 1000 CubeSats, ou seja, cerca de 83 por mês.

Na Figura 1 é mostrado o número de CubeSats lançados anualmente até 31 de dezembro de 2018. Nota-se o crescimento surpreendente ocorrido nos últimos anos. O Observatório de Tecnologias Espaciais (OTE) do CGEE mantém um bando de dados sobre todos os CubeSats lançados, contendo informações importantes sobre esses artefatos, como uso, tecnologias empregadas, lançador utilizado, etc. O banco de dados está disponível no sítio <https://www.cgee.org.br/web/observatorio-espacial/bancos-de-dados>.

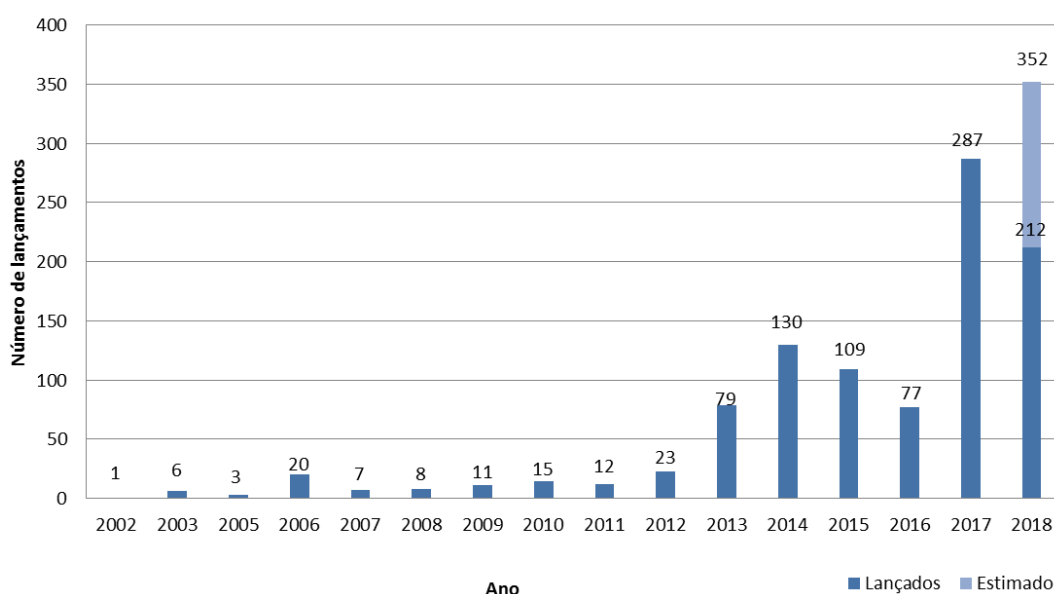


Figura 1 - Número de CubeSats lançados por ano.
Fonte: OTE, 2018

O número de publicações técnico-científicas relacionadas aos CubeSats passou de 35, em 2005, para 494, em 2017, totalizando cerca de 2654 entre 2010 e 2018, de acordo com a base Scopus. O número de depósitos de patentes, de acordo com o *European Patent Office* (EPO) e o *United States Patent and Trademark Office* (USPTO), passou de 2, em 2005, para 141, em 2017. Em 2018, até 12 de dezembro, 149 patentes haviam sido concedidas, totalizando 605 entre 2003 e 2018. Cerca de 60 países já utilizaram CubeSats, o que equivale a aproximadamente 30% dos países do mundo.

Os CubeSats estão proporcionando inovações em vários segmentos da atividade espacial que não se restringem apenas à forma como são desenvolvidos, mas se estendem à forma como são lançados ao espaço. Diferentemente do modo tradicional, em que a maioria dos lançamentos de satélites se dá por meio de veículos dedicados, com lançamentos compartilhados de poucos artefatos, os CubeSats, em geral, não são os artefatos principais nos lançamentos e podem ser lançados em grandes quantidades. Em particular, um fato chamou a atenção: 104 satélites lançados por um único veículo lançador indiano (*Polar Satellite Launch Vehicle* - PSLV C37), um recorde até o momento, sendo que 101 eram CubeSats.

O aumento do uso de CubeSats gerou uma necessidade: um veículo lançador dedicado a esses artefatos. Em fevereiro de 2018, a Agência Japonesa de Exploração Aeroespacial (JAXA) lançou com sucesso o veículo experimental SS-520-5, levando a bordo um satélite de pequeno porte (Inatani e Habu, 2018). Esse é o menor veículo já construído com capacidade de colocar em órbita pequenos satélites. O [European Innovation Council](#), recentemente, lançou um desafio aberto a empreendedores que tenham projetos para construir lançadores de baixo custo dedicados a quatro classes de satélites, que vão de minissatélites de até 400 kg (classe 1) até CubeSats de 25 kg (classe 4). Já há iniciativas sendo capitaneadas pelo setor privado para prover o mercado com lançadores para satélites de pequeno porte.

Notadamente, o grande crescimento do setor de pequenos satélites, culminado no número de lançamentos em 2017, com quase 300 nanossatélites lançados, demonstra que o potencial deste mercado é imenso. Relativamente baratos de se construir, leves em massa, mas com grandes capacidades em aplicações, o mercado de pequenos satélites, em especial CubeSats, se estabelece, porém ainda com um déficit no número de opções disponíveis para colocá-los em órbita.

De acordo com o *Index of Objects Launched into Outer Space*, mantido pela *United Nations Office for Outer Space Affairs* (UNOOSA, www.unoosa.org), há 4854 satélites orbitando a Terra atualmente (dados de novembro de 2018); um aumento de 4,79% em relação a 2017 (4632). Em 2018 (até novembro), a UNOOSA havia registrado 231 objetos lançados ao espaço. Isso é mais do que todos os objetos lançados em qualquer outro ano anterior a 2013, e muito próximo à média anual do número de lançamentos realizados

entre 2013 e 2016. Contudo, ainda não se bateu o recorde de 2017, quando 453 objetos foram lançados, equivalendo a 5% de todos os objetos já lançados ao espaço desde o início da corrida espacial. Um parcela significativa (287) desses 453 satélites é de CubeSats e, desses, a maioria dedicada a missões de observação da Terra e comunicações. Um fator importante relacionado aos CubeSats é que eles permitem o atendimento de demandas públicas e privadas de forma rápida a custos extremamente atraentes. Na Figura 2 é mostrada a distribuição por área de utilização dos satélites lançados em 2017.

De acordo com a UNOOSA, 8227 objetos já foram lançados ao espaço, sendo 25% destes nos últimos oito anos. Tanto os desenvolvimentos tecnológicos quanto o crescente interesse em atividades espaciais, particularmente por pequenas companhias (*start-ups*), estão por trás deste avanço recente.

A *Union of Concerned Scientists* (UCS, www.ucsusa.org) mantém informações sobre satélites em operação, os últimos registros são de 30 de novembro de 2018. Unindo-se esse banco de dados com o da UNOOSA, encontra-se que havia, naquela data, 1957 satélites operacionais em órbita. Um aumento de 14% sobre o número de satélites ativos de 2017. Porém, isso representa somente cerca de 40% dos satélites que orbitam o planeta. Isso significa que há 3.037 artefatos fora de uso em órbita.

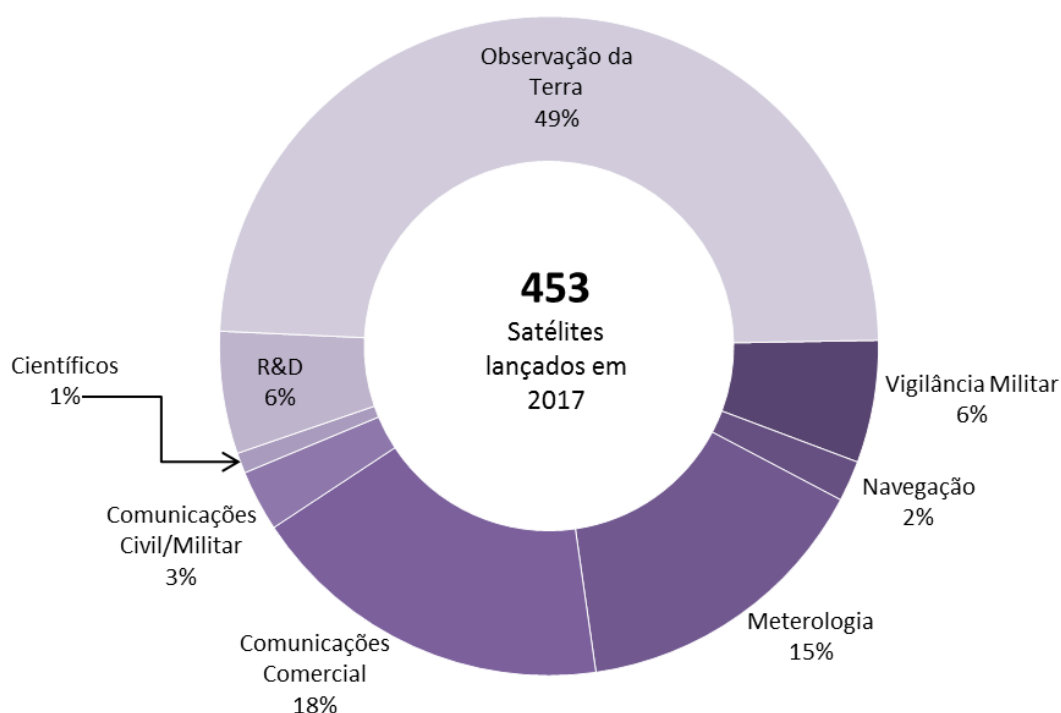


Figura 2 - Utilização por área dos satélites lançados em 2017
Fonte: Adaptada de SIA, 2018.

Dos 453 objetos lançados em 2017, somente 414 deles estavam em órbita no início de dezembro de 2018. Cerca de 10% já haviam saído de órbita. Isso indica que há uma preocupação dos desenvolvedores em mitigar a quantidade de detritos espaciais, por meio de planejamento de descarte dos objetos colocado em órbita.

O número de satélites de médio e grande portes colocados em órbita anualmente tem permanecido aproximadamente constante ao longo da última década, porém o número de pequenos satélites tem crescido muito. Em 2012, foram lançados cerca de 40 pequenos satélites, enquanto que, em 2017, foram lançados 335, sendo que 87% eram CubeSats. Nanossatélites constituem 63% dos 453 objetos lançados em 2017 (massas de 10 quilogramas ou menos) e representam muito pouco da massa total colocada em órbita. Muitos desses pequenos satélites foram destinados ao sensoriamento remoto terrestre, dominando o uso principal dos satélites lançados em 2017.

As aplicações comerciais representam mais de $\frac{3}{4}$ de toda a atividade econômica global do setor espacial. A maior parte é constituída por produtos e serviços – incluindo TV, telefone, Internet e observação da Terra – que cresceram cerca de 3% em 2017 para alcançar USD 348 bilhões, de acordo com dados da SIA de 2018, conforme apresentado na Figura 3.

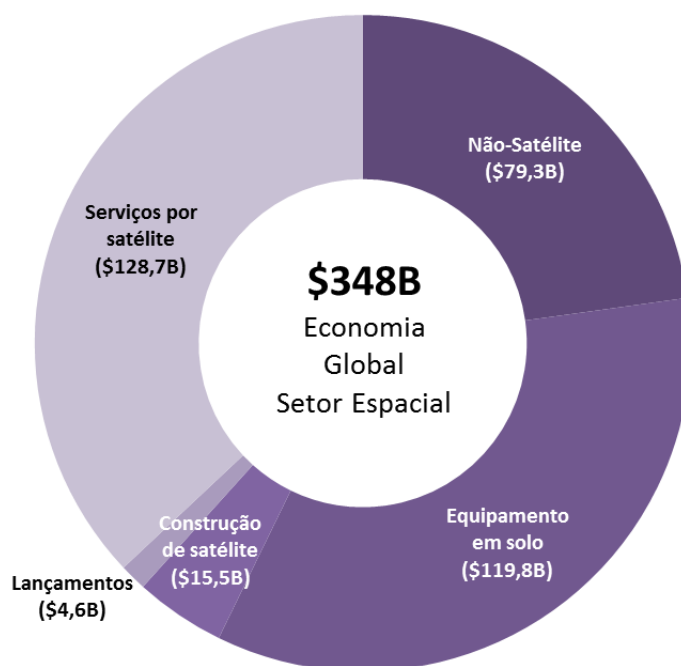


Figura 3 - Distribuição de recursos globais no setor espacial

Fonte: Adaptada de SIA, 2018.

Infraestrutura comercial e indústria de suporte, incluindo a construção de veículos lançadores, plataformas espaciais e equipamentos de Terra, bem como serviços de lançamento, pesquisa e desenvolvimento e seguros equivalem a cerca de USD 140 bilhões, um crescimento de 5% em relação a 2016. Em termos gerais, os países mais envolvidos em atividades espaciais aumentaram o montante aplicado no setor espacial e vários deles estão desenvolvendo veículos lançadores de satélite. A indústria espacial está emergindo como uma das mais lucrativas globalmente. A expectativa é que ela alcance a marca de USD 360 bilhões em 2018, um crescimento projetado de 4%, que levará ao valor de USD 500 bilhões, em 2026.

Espera-se que os nanossatélites detenham grande fatia dos investimentos, seguidos pelo mercado de lançadores reutilizáveis, especialmente os veículos capazes de colocar cargas úteis em órbitas baixas (LEO). A demanda por nanossatélites e veículos lançadores reutilizáveis tem direcionado investimentos por parte dos EUA, China, Rússia e União Europeia (UE). Como esperado, os EUA são os que mais investem no setor. China, UE, Índia, Rússia, Japão e Coreia do Sul aparecem em seguida.

Em suma, os CubeSats apresentam oportunidades interessantes para o setor espacial brasileiro, que incluem a possibilidade de treinamento rápido de recursos humanos, de testes de tecnologias, de negócios para empresas nacionais e de viabilização de projetos de lançadores para satélites de pequeno porte.

Vislumbra-se, em função da conjuntura atual do setor espacial mundial, uma oportunidade importante para o Brasil no que tange ao desenvolvimento de veículos lançadores de satélites de pequeno porte. Nesse sentido, o presente documento traça um breve perfil da situação mundial relacionada a veículos lançadores e faz um apanhado das reais condições nacionais para desenvolver um veículo lançador de pequeno porte. Espera-se que esse documento possa se configurar como uma contribuição estratégica para o setor espacial brasileiro.

Lançadores de satélites

A Figura 4 mostra os lançadores comerciais em operação atualmente, os quais têm sido a opção para lançamento de pequenos satélites em conjunto com satélites de maior porte.



Vehicle	Ariane 5	Atlas V	Delta IV Medium	Dnepr M	Falcon 9	Proton M	Rockot	Soyuz 2	Zenit 3SL
Country	Europe	USA	USA	Russia	USA	Russia	Russia	Russia	Multinational
LEO kg (lbs)	17,250 (37,950)	9,800-29,400 (21,600-64,820)	8,120 (17,885)	4,100 (9,030)	10,450 (22,990)	21,000 (46,305)	1,850 (4,075)	7,800 (17,100)	15,246 (33,611)
GTO kg (lbs)	10,500 (23,127)	4,750-13,000 (10,470-28,660)	4,210 (9,273)	--	4,680 (10,296)	5,500 (12,125)	--	1,700 (3,800)	6,100 (13,448)

Figura 4 - Lançadores comerciais de grande e médio porte em operação atualmente.

Fonte: FAA, 2018.

De acordo com a UNOOSA, 81 países já lançaram satélites, distribuídos entre aplicações civis, militares e comerciais, conforme apresentado na Tabela 1. Porém, é necessário considerar que alguns deles estão ligados organizações multinacionais, como a Agência Espacial Europeia (ESA). Os dados mostram que 65 países têm algum satélite em operação atualmente. Em termos de países com mais satélites, com os dados combinados, os Estados Unidos lideram com 859 satélites operacionais próprios, a China vem em segundo lugar com 250, e a Rússia, em terceiro, com 146. Eles são seguidos por Japão (72), Índia (55) e Reino Unido (52).

No entanto, somente treze países (a extinta União Soviética, Estados Unidos, França, Japão, China, Reino Unido, Índia, Rússia, Ucrânia, Israel, Irã, Coreia do Norte e Nova Zelândia) e uma organização regional (ESA) lançaram satélites com seus veículos lançadores, desenvolvidos nacionalmente. Considerando que a União Soviética não existe mais como país e que o Reino Unido não opera mais o seu lançador Black Arrow, temos hoje um total de onze países ainda com capacidade de colocar em órbita satélites com seus próprios veículos lançadores.

Em 2017, foram 89 lançamentos orbitais (vide Tabela 1). Desses, 69 foram contratados para fins civis ou comerciais. O destaque é para lançamentos com veículos de estágio(s) reutilizável(is), como o Falcon 9 (apesar de não haver provas de que estes veículos são

reutilizados, eles retornam a Terra), que vêm revolucionando o mercado e barateando os custos de lançamento. Em 2018, até 12 de dezembro, foram 103 lançamentos bem sucedidos operados por China (36), EUA (30), Rússia (17), Europa (8), Japão (6), Índia (6) e Nova Zelândia (2). São esperados mais 20 até o fim do ano (Gunter's Space Page, <https://space.skyrocket.de>).

Tabela 1 - Lançamentos por país/região e por área de aplicação em 2017

País/Região	Uso			Total
	Civil	Militar	Comercial	
USA	2	6	21	29
China	10	8	0	18
Rússia	11	4	3	18
Europa	3	0	8	11
Índia	5	0	0	5
Japão	5	2	0	7
N. Zelândia	0	0	1	1
Total	36	20	33	89

Fonte: FAA, 2018.

Esse cenário abriu oportunidades de negócio e já há iniciativas de desenvolvimento de pequenos lançadores. Vários veículos dedicados para pequenos satélites encontram-se em desenvolvimento. Os mais avançados ensaiam seus primeiros voos para suprir as demandas de tempo e órbitas dos pequenos satélites a preços mais atrativos (preço por kg colocado em órbita). Esses lançadores estão sendo desenvolvidos com uso de avanços tecnológicos na área para alcançar redução de custos, incluindo a produção em série, reutilização e o uso de componentes comerciais de prateleira (COTS).

Crescimento do mercado de pequenos satélites

Devido à baixa disponibilidade dos lançadores de pequeno porte em operação para os lançamentos dedicados de pequenos satélites, os lançadores de grande e médio porte têm sido tradicionalmente utilizados para lançar pequenos satélites. Na Tabela 2 são apresentadas as classes para satélites de pequeno porte e lançadores de acordo com a massa e capacidade de carga, respectivamente. Wekerle et al. (2017) apresentam uma revisão sobre satélites de pequeno porte e seus lançadores.

Apesar de o mercado estar hoje dominado por satélites de pequeno porte, como os CubeSats, essa classe de satélites se utiliza de oportunidades de aproveitamento (*rideshare* ou *piggyback*) dos lançamentos comissionados para os satélites maiores (PwC, 2017). Nessa condição, os pequenos satélites vão para as órbitas destinadas a esses satélites de maior porte, que nem sempre são as órbitas ideais para as suas missões. Há também oportunidades de lançamento a partir da Estação Espacial Internacional (ISS), situação na qual a escolha de órbita também não acomoda muitas opções.

Tabela 2 - Categorias de satélites de pequeno porte e de alguns lançadores de satélites.

Satélites de pequeno porte	Massa (<i>wet mass</i>)
Picossatélite	≤ 1 kg
Nanossatélite	1 – 10 kg
Microsatélite	11 – 100 kg
Minissatélite	101 – 500 kg
Veículos lançadores	Capacidade de lançar carga útil
Micro	≤ 500 kg
Pequeno	501 – 2.000 kg
Médio	2.001 – 20.000 kg
Pesado (heavy)	> 20.000 kg

Fonte: Elaboração própria.

Os principais veículos mais utilizados em 2017 para lançar satélites de pequeno porte são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Lançadores de grande e médio portes mais utilizados no ano de 2017 por nano/microsatélites (*rideshare*).

Lançador	Ariane 5	Falcon 9	GSLV	Longa Marcha 4B	Soyuz 2.1a
País ou Região	Europa	EUA	Índia	China	Rússia
Primeiro Lançamento	1996	2010	2001	1999	2004
Confiabilidade	99%	98%	73%	97%	97%
Massa	780 t	549 t	415 t	249 t	305 t
Local	Guiana Francesa	Cabo Canaveral e Vandenberg	Satish Dhawan	Jiuquan e Taiyuan	Plesetsk e Guiana Francesa
Massa em GTO ²	10,5 t	8,3 t	2,7 t	1,5 t	3,3 t
Preço estimado por lançamento	USD 178M	USD 62M	USD 47M	USD 30M	USD 80M

Fonte: SpaceWorks Enterprises Inc., 2018.

² GTO – Órbita de transferência geo-estacionária.

Esse cenário abriu oportunidades para iniciativas de desenvolvimento de pequenos lançadores. Atualmente, existem no mundo pelo menos 25 novos projetos de veículos de pequeno porte em andamento ou programados para iniciar o desenvolvimento. No entanto, o custo de lançamento desses novos veículos ainda não atingiu um nível razoável de competitividade. Vários ainda se situam na faixa dos USD 30 mil por kg de satélite. Em alguns casos, esse custo pode chegar a USD 25 mil. Porém, há algumas indicações de que esse custo possa diminuir consideravelmente em um futuro próximo, talvez para menos de USD 10 mil. Assim, esses veículos ainda não são comercialmente competitivos quando comparados a veículos de maior porte que estão sendo utilizados atualmente para o lançamento de pequenos satélites.

Na Figura 5, é apresentado um panorama da relação entre a capacidade dos lançadores em kg e o custo de cada lançamento para órbita baixa (LEO). Várias informações sobre lançadores podem ser encontradas em revistas especializadas, periódicos, blogs, etc. No APÊNDICE

Fontes de informação sobre lançadores de satélites estão mostradas várias das fontes utilizadas para a elaboração deste documento. Alguns desses lançadores estão ainda em desenvolvimento como, por exemplo, o XS-1.

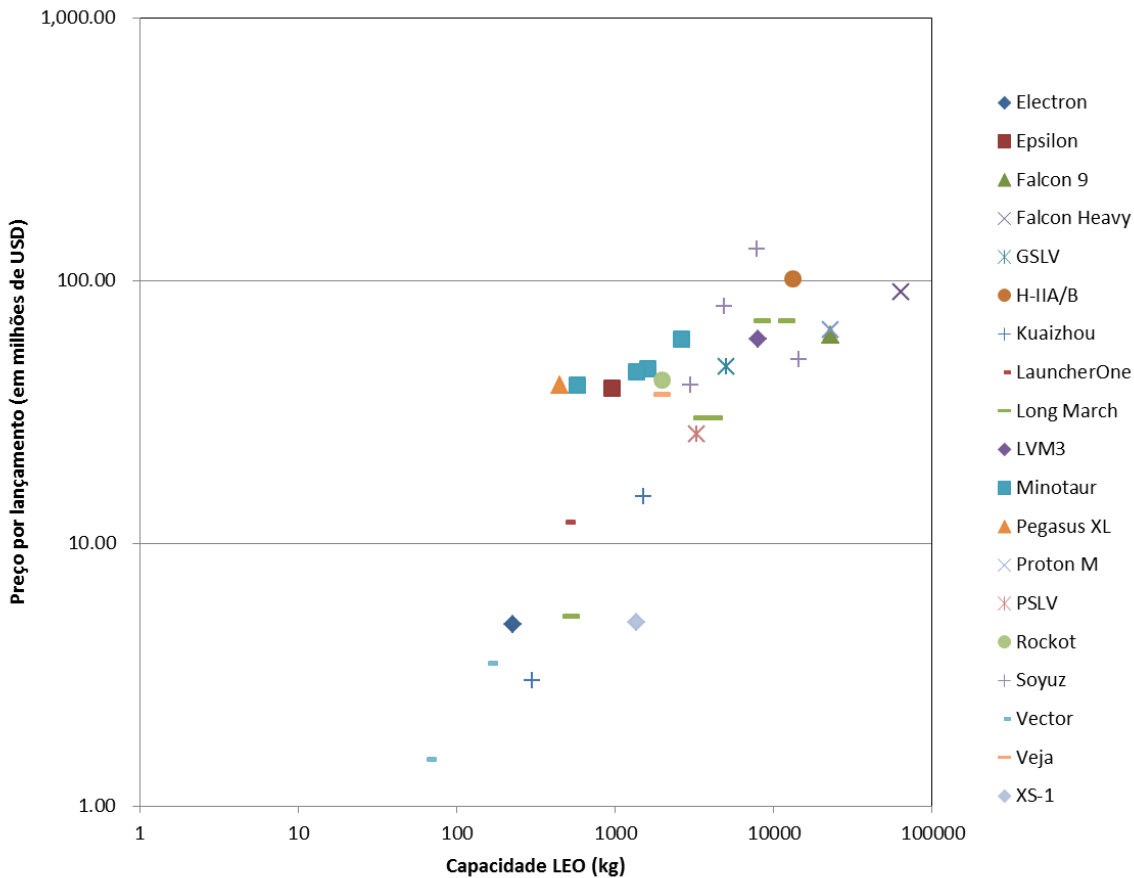


Figura 5 - Capacidade versus custo de lançamento para alguns lançadores.

Fonte: ??

Mesmo considerando o preço mais alto por kg de satélite lançado, o uso de lançadores de pequeno porte dedicados representa uma vantagem considerável em relação aos lançadores de grande porte. Nesses, em geral, os satélites de pequeno porte são lançados como cargas secundárias, sem poder escolher a órbita exata de interesse.

Apesar de haver no mercado empresas especializadas em agendar lançamentos que atendam de forma aproximada as necessidades dos usuários, nem sempre isso é possível. Com os lançadores dedicados, é possível ter acesso à órbita que melhor se adequa à necessidade dos usuários de CubeSats. Assim, mesmo sendo mais caros, em termos de USD/kg, eles se tornam atraentes em função do atendimento de necessidades específicas de órbita. Os próximos quatro anos devem trazer novidades nesse mercado.

Por outro lado, vários lançadores dos EUA foram utilizados para lançar CubeSats de outros países, como os Antares, da empresa Orbital Science Corporation, que já lançaram 135, os da série Atlas, com 138, e os Falcon, com 120 até 31 de dezembro de 2018 (informações disponíveis em: <https://www.cgee.org.br/web/observatorio-espacial/bancos-de-dados>). É importante notar a forte presença de empresas não governamentais nesse mercado, o que mostra que o mercado de lançadores de satélites de pequeno porte, em especial os de *CubeSats*, tem atraído a atenção de investidores privados.

Embora a intenção da recuperação e reutilização de partes do foguete esteja declarada em poucos lançadores deste porte, como o Arion 2, esta prática poderá também se estender para outros pequenos lançadores visando reduzir ainda mais os custos de lançamento. Outro aspecto relevante é o modelo pautado em iniciativa privada à frente desses novos desenvolvimentos. O menor porte do veículo estimula empreendedores privados a investirem em meios comerciais de lançamento de pequenos satélites. Este cenário muda completamente o acesso ao espaço para usuários de pequenos satélites, até então sujeitos aos cronogramas dos satélites comerciais e demais requisitos dos grandes e médios lançadores.

O grande número de pequenos satélites ultrapassa a capacidade dos lançadores disponíveis. Muitos satélites pequenos não foram lançados, pois não encontraram veículos disponíveis devido à longa fila de espera. Só o Reino Unido, por exemplo, deixou de colocar em órbita 50 pequenos satélites por falta de lançadores. Vários países estão desenvolvendo ou planejando veículos para lançamentos orbitais ou suborbitais. A Agência Espacial do Reino Unido, por exemplo, anunciou recentemente que competirá pelo mercado para lançar 2000 satélites até 2030 (BBC, 2018).

O serviço de lançamento de pequenos satélites deverá gerar USD 16 bilhões nos próximos 10 anos, seguindo o crescimento apresentado ao longo da última década. Pequenos satélites são atualmente lançados com médios e grandes veículos, como cargas secundárias, que são contratados diretamente ou por meio de empresas intermediadoras (*brokers*).

Sem lançadores dedicados, CubeSats têm sido colocados em órbita como cargas auxiliares e ejetados após o lançador cumprir sua missão primária. Alguns são levados até a Estação Espacial Internacional e, de lá, colocados em órbita por meio do braço mecânico do módulo japonês Kibo. Em ambos os casos, suas órbitas estão à mercê da missão primária. Contudo, CubeSats estão se tornando maduros e sendo desenvolvidos para missões importantes, que justificam voarem em órbitas únicas e a altitudes não disponíveis atualmente.

Desafios financeiros e tecnológicos

O conceito de um lançador barato está obviamente relacionado à redução de custos sem perda de desempenho, o que, como consequência, exige mais eficiência, como a redução da massa estrutural com a utilização de materiais compósitos leves e a miniaturização de componentes, seguindo a tendência observada em satélites.

Reduzir custos é uma tarefa complicada, uma vez que tais sistemas são complexos, a produção demanda tempo e é altamente dependente de mão-de-obra especializada. Contudo, novas tecnologias, juntamente com projetos avançados, podem fornecer meios para desenvolvimentos a custos aceitáveis (Foust, 2018).

O cenário de lançadores de satélites é predominado por veículos de grande e médio portes, responsáveis por colocar em órbita cargas úteis civis (comerciais, governamentais, universitárias) e militares. Nano e pequenos satélites têm sido colocados em órbita como cargas secundárias nesses lançamentos, apesar de seu número exceder em muito o número de satélites de médio e grande portes.

A constância no número de lançamentos anuais (com exceção de 2017, que foi um ano atípico) e o aumento no número de pequenos satélites demonstram que a oferta atual de lançadores de grande porte está saturada. De acordo com um relatório da empresa Euroconsult, “uma expansão significativa em termos de capacidades e demanda está a caminho no mercado de pequenos satélites. Cerca de 7000 pequenos satélites têm lançamento esperado para os próximos 10 anos” (Euroconsult, 2018).

O crescimento do mercado de pequenos, micro e nanosatélites trouxe uma demanda inusitada por lançamentos. Na Figura 6 é apresentado o histórico e as tendências desse

mercado num estudo da SpaceWorks (SpaceWorks Enterprises, Inc., 2018) para satélites de 1 a 50 kg.

Dados sobre a cadência e a necessidade de lançamentos sugerem que os lançamentos de pequenos satélites, por meio de *rideshare*, são capazes de cumprir menos de 35% da demanda total. Está claro que, para atender essa demanda, um novo modelo de desenvolvimento de novos lançadores e uma adequação dos lançadores existentes às novas particularidades emergidas do uso de CubeSats (e pequenos satélites de forma geral) se fazem necessários.

Até pouco mais de uma década atrás, o modelo adotado em quase todos os países era aquele em que o governo tomava a iniciativa e realizava todos os investimentos financeiros para desenvolver os subsistemas e os veículos, contratando as empresas para a execução do projeto, a produção, a qualificação e, às vezes, a operação dos veículos (Crisp, Smith e Hollingsworth, 2014; 2015).

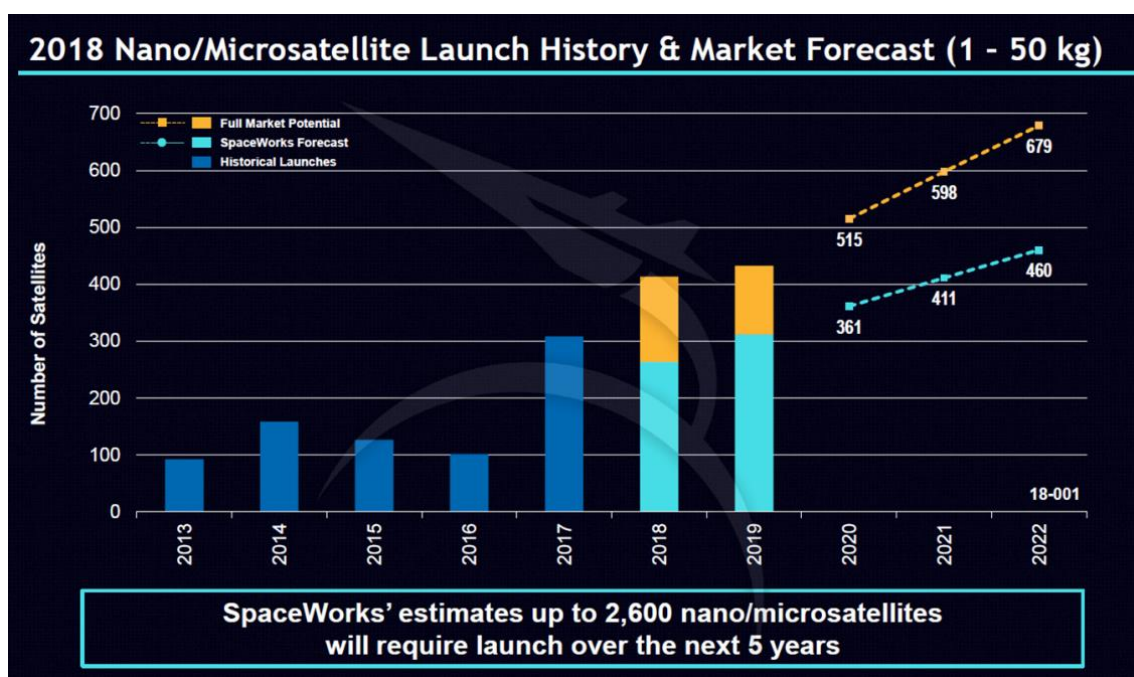


Figura 6 - Histórico e previsão de lançamentos de micro e nanossatélites.

Fonte: SpaceWorks Enterprises, Inc. 2018.

O mesmo modelo também era o adotado para os segmentos solo relacionados ao desenvolvimento e à operação dos veículos. Ou seja, o governo era o responsável pela gestão e o desenvolvimento e detinha a propriedade intelectual sobre os veículos desenvolvidos. Esse modelo, ainda utilizado na maior parte dos países, contribuiu

bastante para o desenvolvimento tecnológico, capacitação e domínio tecnológico das empresas nas atividades espaciais³.

Em tempos recentes, em razão da viabilidade comercial, tem-se verificado que a iniciativa privada toma a frente dessa atividade, num modelo similar ao que já acontece com os satélites comerciais e com o mundo aeronáutico. Neste modelo, as empresas têm os seus projetos e os executam por meio de autofinanciamento, ou financiamentos obtidos de investidores privados, e ganham muita agilidade nos desenvolvimentos e na introdução de novas tecnologias nos novos veículos (Bryce Space and Technology, 2018).

Exemplos dessas iniciativas são particularmente observados em larga escala nos EUA, como nas empresas SpaceX, Blue Origin, Virgin Orbit/Galactic, Vector Space, Rocket Lab, etc. (Kulu, 2018). Algumas empresas privadas começam a aparecer também na China para pequenos lançadores, como a Link Space (New Line1) e a OneSpace (OS-M1) (GBtimes, 2018). Na Figura 7 são mostradas algumas formas de lançamento utilizadas comercialmente para colocar em órbita pequenos satélites.



Figura 7 - Novas abordagens para a indústria espacial fazem surgir projetos bem sucedidos de pequenos lançadores orbitais.

Fonte (da esquerda para a direita): Vector-R, Cosmic Girl/Launcher One - Virgin Orbit, Electron - Rocket Lab, Firefly α , Lockheed L-1011/Pegasus XL - Orbital ATK.

Disponível em <https://blog.spexcast.com/next-generation-small-satellite-launchers/>

Deve-se salientar que, em alguns casos, dado o interesse governamental em determinados veículos desenvolvidos pela iniciativa privada, órgãos de governo participam do financiamento desses veículos. São exemplos dessa situação o suporte financeiro da ESA à PLD Space para o veículo Arion 2 e da NASA à Rocket Lab para o veículo Electron (Spacenews, 2018). Alguns projetos de desenvolvimento de grandes lançadores, como o Ariane 6 e o Vulcan, têm também uma combinação de fundos

³ Algumas exceções a esse modelo eram verificadas já na década de 1980, como, por exemplo, o veículo lançador de pequeno porte Pegasus, desenvolvido e operado pela iniciativa privada; na época, pela empresa Orbital Sciences (EUA) e hoje, pela Orbital ATK.

governamentais e privados, na forma de *joint ventures*, enquanto outros, buscam ainda suporte governamental para viabilizar os planos de negócio (Clark, 2018).

Vale mencionar que a ISRO (*Indian Space Research Organisation*) está também desenvolvendo um lançador exclusivamente para pequenos satélites, cujo primeiro lançamento deve ocorrer ainda em 2019. O custo do SSLV (*Small Satellite Launch Vehicle*) é esperado ser cerca de um décimo do custo normal do PSLV, girando entre 25 e 75 milhões de USD. Ele terá capacidade de colocar cerca de 700 kg em órbita baixa.

Um ponto importante é que as empresas não partem do zero nessas iniciativas. São observados que:

- o acervo tecnológico obtido pelos investimentos governamentais no passado é utilizado e em muitos casos elevado a um patamar acima do que vinha sendo praticado.
- o capital humano utilizado é egresso das instituições do governo e das empresas tradicionais do ramo.
- as infraestruturas de testes e lançamentos criados pelo governo são utilizadas pela iniciativa privada.

O conhecimento, a experiência e a infraestrutura adquiridos em projetos governamentais têm sido reaproveitados dentro de um ambiente de menos regras e mais agilidade que nos projetos totalmente financiados e geridos pelos governos.

Cenário mundial

Devido à baixa disponibilidade e ao alto custo dos lançadores de pequeno porte atualmente em operação para lançamentos dedicados a pequenos satélites, os lançadores de grande e médio porte têm sido tradicionalmente utilizados para lançar essa classe de artefatos. Em geral, esses pequenos satélites são embarcados na base da oportunidade e de aproveitamento nos lançamentos comissionados para os satélites ou para as cargas principais.

Nessa condição, os pequenos satélites vão para a órbita destinada à carga principal, que nem sempre é a órbita ideal para a sua missão, além de se sujeitar à disponibilidade de voo e ao alto custo do lançamento, mesmo em *rideshare*. Os lançadores de grande e médio portes mais utilizados no ano de 2017 para os nano/microsatélites são mostrados na Tabela 4.

Tabela 4 - Veículos lançadores de médio e grande portes mais Utilizados para nano/microsatélites em 2017.

Lançador	No. de Lançamentos com satélites de 1 a 50kg	No. de satélites de 1 a 50kg	Rideshare
PSLV (ISRO)	3	133	Sim
Soyuz (Energia)	4	91	Sim
Atlas V (ULA)	1	39	Sim
Antares (Orbital ATK)	1	16	Sim
Falcon 9 (SpaceX)	2	9	Sim
Minotaur (Orbital ATK)	2	7	Sim
Delta II (ULA)	1	5	Sim
Long March 4 (CALT)	2	4	Sim
Kuaizhou 1 (CAST)	1	2	Não

Fonte: SpaceWorks Enterprises Inc. (2018).

Na Tabela 5 são apresentados os principais lançadores desta classe, seu status de desenvolvimento, capacidade estimada em órbita heliossíncrona (SSO), e preço estimado por kg de satélite (SpaceWorks Enterprises, Inc., 2018).

Tabela 5 - Veículos Lançadores de Pequeno Porte em Desenvolvimento.

Lançador	Entidade/ Empresa	Status	Capacidade em SSO (kg)	Preço Estimado (k USD/kg)	Observação
Electron	Rocket Lab	1 Lanç. com sucesso (2018)	150	33	Privado. Lançado da Nova Zelândia
Kuaizhou	CAST	1 Lanç. com sucesso (2017)	250	57	Reuso de ICBM ⁴
LauncherOne	Virgin Orbit	1º. Lanç. previsto 2018	300	40	Privado. Lançado de aeronave. Estágios líquidos.
SSLV	ISRO	1º. Lanç. previsto 2019	700	12	Derivado do PSLV

⁴ ICBM significa *Intercontinental Ballistic Missile*.

Vector-R	Vector Space	1º. Lanç. previsto 2018	28	54	Privado.
Arion 2	PLD Space	1º. Lanç. previsto 2021	83	38	Reutilização de partes.
Alpha 1.0	FireFly Aerospace	1º. Lanç. previsto 2019	650	15	Privado.

Fonte: SpaceWorks Enterprises Inc. (2018).

O crescimento deste mercado deverá permitir a aplicação de conceitos já existentes para os grandes e médios lançadores, mas voltados ao desenvolvimento de pequenos lançadores de satélites, de formas inusitadas, como comentado a seguir. Embora a intenção da recuperação e reutilização de partes do foguete esteja declarada em poucos lançadores deste porte (e.g. Arion 2), esta prática poderá também se estender para outros pequenos lançadores visando ainda mais a redução dos custos de lançamento (Frick e Niederstrasser, 2018).

Outro aspecto relevante é o modelo pautado em iniciativa privada à frente desses novos desenvolvimentos. O menor porte do veículo estimula empreendedores privados a investirem em meios comerciais de lançamento dos pequenos satélites.

Iniciativas bem sucedidas com pequenos lançadores

No início de fevereiro de 2018, a Agência Espacial Japonesa lançou com sucesso um pequeno foguete JAXA SS-520-5, colocando com sucesso um CubeSat de comunicação 3U em órbita, o Tricom-1R (Spaceflight Now, 2018). O rastreamento orbital pelo *U.S. Joint Space Operations Center* mostrou que o SS-520-5 excedeu as expectativas de desempenho.

A Rocket Lab lançou, em 11 de novembro de 2018, o veículo Electron que colocou sete artefatos em LEO, sendo um pequeno satélite com cerca de 115 kg e seis CubeSats (vide Figura 8). Um Electron, que tem capacidade para uma carga útil de 150 a 225kg em SSO de 500km, já havia colocado um CubeSat em órbita em janeiro de 2018. A empresa espera ter uma alta frequência de lançamentos em 2019, graças à capacidade de rápida produção desse veículo, bem como a existência de um complexo privado de lançamento, na Nova Zelândia, licenciado para até 120 lançamentos por ano.



Figura 8 - Lançamento do Electron em sua primeira missão totalmente comercial.
Fonte: Rocket Labs, 2018.

Os custos projetados são de menos de USD 5 milhões por lançamento. Os lançamentos de 2018 custaram cerca de USD 6 milhões por foguete. Outro lançamento, em 16 de dezembro de 2018, levou mais 13 CubeSats a uma órbita circular de 500 km. Há 16 missões programadas pelas Rocket Lab para 2019, cerca de uma a cada duas semanas.

O alto nível de empreendedorismo da iniciativa privada, no emprego de diferentes conceitos tecnológicos para prover soluções atraentes dos pontos de vista de preço de lançamento e de disponibilidade. Este cenário muda completamente o acesso ao espaço para usuários de pequenos satélites, até então sujeitos aos cronogramas dos satélites comerciais e demais requisitos dos grandes e médios lançadores.

Tecnologias utilizadas em veículos lançadores

Recuperação e reutilização parcial dos veículos

A primeira experiência bem sucedida de reutilização parcial de veículos foi realizada nos EUA com o Programa STS – *Space Transportation System*, no qual as espaçonaves *Space Shuttle* foram inúmeras vezes reutilizadas, enquanto o restante do veículo (*boosters* sólidos e tanque de propelentes) era descartado. Porém, em função dos custos operacionais extremamente elevados, esse sistema de transporte foi cancelado em 2011. Desde então, o transporte de tripulações à Estação Espacial Internacional e retorno ao solo tem sido realizado somente pelo veículo russo Soyuz.

Nesse mesmo tempo os lançamentos de satélites eram realizados, na sua totalidade, por veículos totalmente descartáveis (*expendable launch vehicles*). Com o objetivo de reduzir os custos do lançador, algumas empresas passaram a recuperar partes do veículo visando reutilizá-las em lançamentos subsequentes. A partir desta década, os ensaios de recuperação começaram a ser realizados com o Falcon 9 (SpaceX) e New Shepard (Blue Origin) no conceito de pouso vertical e, hoje, essa estratégia já é uma realidade para esses veículos.

No caso do Falcon 9, a recuperação e o reuso são realizados para o *booster* do primeiro estágio, o módulo de maior custo do veículo. Até maio de 2018, 25 *boosters* já haviam sido recuperados, dos quais 11 retornaram ao voo ao menos uma vez, após extenso reparo (*refurbishment*) do estágio recuperado. O lançamento ocorrido naquela data (Wikipedia) estreou a versão chamada *Block 5*, na qual avanços foram introduzidos de forma a permitir que o primeiro estágio possa retornar ao voo com reparo reduzido, num prazo mais curto e, portanto, a um custo do lançador cada vez menor. Além disso, o número de voos que o mesmo *booster* poderá realizar será também aumentado com essas melhorias. O resultado será, em breve, após amortização dos custos não-recorrentes, uma redução considerável nos preços de lançamento e maior disponibilidade do veículo para os clientes. No dia 03 de dezembro, um Falcon 9 lançou com sucesso 64 satélites, sendo deles, 49 Cubesats, incluindo o brasileiro ITASAT-1, e recuperou mais uma vez o primeiro estágio, que aterrissou sem problemas na plataforma marítima.

A própria SpaceX tem realizado tentativas de recuperação da coifa, uma estrutura que protege o satélite durante o voo na fase mais densa da atmosfera e que é descartada quando essa fase é superada. O objetivo é também reutilizar a totalidade das coifas voadas. Em outubro de 2016, a Blue Origin efetuou o voo e aterrissou com sucesso o mesmo veículo, o New Shepard, num total de 5 vezes.

A reutilização de partes do veículo por essas empresas representa uma ruptura tecnológica e um grande avanço neste mercado de lançadores, a ponto de derrubar a

hegemonia de veículos tradicionais nos lançamentos comerciais (e.g. Ariane 5, Proton, Soyuz, Sea Launch e outros) e nos lançamentos do governo americano (e.g. Atlas V, Delta IV, Delta II e outros). Na Figura 9 é mostrada a evolução da SpaceX no mercado de lançamentos comerciais, com dados de julho de 2017 (SpaceX, 2017).

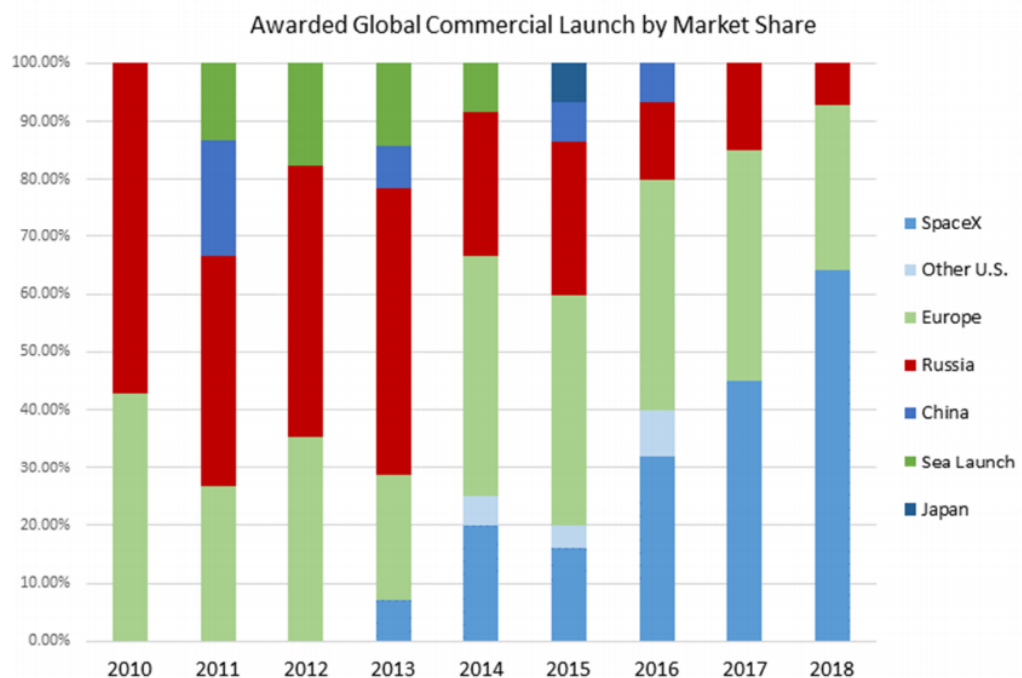


Figura 9 - Evolução da SpaceX no Mercado Global de Lançamentos Comerciais.
Fonte: SpaceX, 2017.

O domínio dessa tecnologia força a reflexão sobre os veículos de grande porte atualmente em desenvolvimento na Europa (Ariane 6), EUA (SLS, Vulcan, NGL/Omega), Rússia (Angara A3, A5), China (LM5) e Índia (LVM3), alguns dos quais já anunciam planos e estudos de reutilização de partes, para reduzir a desvantagem frente à SpaceX e Blue Origin no mercado de lançamentos comerciais.

A ISRO tem trabalhado no desenvolvimento de um veículo reutilizável, o *Reusable Launch Vehicle* (RLV, <https://www.isro.gov.in/launcher/rlv-td>). Desde 2016, vêm sendo conduzidos testes bem sucedidos de demonstração de tecnologia. A ISRO tem a reputação de produzir tecnologias de alta eficiência a custos relativamente baixos e esse projeto é visto com entusiasmo pela indústria de lançamento de satélites.

Propulsão e propelentes

Os sistemas de propulsão tanto a propelente sólido quanto a bi-propelentes líquidos são largamente utilizados nos estágios dos veículos lançadores atuais. Os sistemas a

propelente sólido utilizam o propelente composto a base de polibutadieno, perclorato de amônia e alumínio em pó (*PBHT/AP/Al*) na sua composição. Nos veículos de grande e médio portes, quando a propulsão sólida é utilizada, em geral, esses motores atuam como auxiliares para aumentar o nível de empuxo dos motores líquidos, denominados estágios centrais (*core stage*)⁵, na fase inicial do primeiro estágio, numa configuração chamada *strap-on*, e os motores sólidos são, nesse caso, chamados *strap-on boosters* (*SOB*) sólidos.

Nos sistemas de propulsão a bi-propelentes líquidos, predominam os motores que utilizam o par querosene e oxigênio líquido (RP-1/LOX) e também o par hidrogênio líquido e oxigênio líquido (LH2/LOX), muito embora existam ainda muitos veículos que utilizam os chamados propelentes estocáveis, em geral de alta toxicidade e mais agressivos ao meio ambiente. Os propelentes estocáveis, como propulsão principal dos estágios, são mais utilizados nos veículos russos (ex. Proton, Rockot), veículos chineses (ex. Long March 2, 3, 4) e no veículo indiano GSLV, nos quais o par propelente Dimetil Hidrazina Assimétrica e Tetróxido de Nitrogênio (*UDMH/NTO*) é o mais utilizado. Existe hoje uma consciência maior a respeito da proteção ao meio ambiente. Este fator tem levado ao desenvolvimento de motores com baixo impacto ambiental, sob dois aspectos: composição mais amigável dos componentes do propelente e dos gases de combustão e o volume de gases dissipados na atmosfera. Quanto ao primeiro aspecto, procura-se restringir o uso de propelentes líquidos estocáveis a motores auxiliares (*RCS - Reaction Control Systems*), como os de controle de atitude, pela facilidade de ignição⁶ desses pares propelentes. Outra razão é que, operando em quantidades de propelentes menores, o impacto ambiental dos *RCS*, em caso de acidente, é mínimo.

Outra aplicação dos motores a propelentes estocáveis se faz em motores do último estágio (*upper stages*) pela sua estocabilidade e pela facilidade de execução de múltiplas ignições (e.g. módulo Breeze-M no Proton e Angara A3, o módulo BTS no Antares e o módulo Fregat no Soyuz). No entanto, há o esforço de utilização de pares comburente/oxidante cuja combustão gere gases menos agressivos. Um exemplo desse desenvolvimento está ocorrendo na Europa com um motor híbrido. O lançador SMILE empregará *clusters* do motor híbrido *Unitary Motor* (UM), que utiliza o par peróxido de hidrogênio/HTPB, em desenvolvimento pela Nammo Raufoss AS (Noruega). Quanto à diminuição do volume de gases, os lançamentos de avião evitam a decolagem da superfície da Terra, esta mais poluente que o voo do avião. O lançamento dos estágios superiores por meio de balão constitui a solução mais amigável do momento, porém não

⁵ Uma exceção a essa configuração é o veículo indiano GSLV, cujo *core stage* é sólido e os *SOB* são líquidos.

⁶ Os pares propelentes ditos estocáveis têm a característica de ser hipergólicos, ou seja, a sua combustão se processa pelo simples contato comburente-oxidante, dispensando a necessidade de sistemas de ignição.

aparece ainda como uma alternativa a ser largamente utilizada devido à dificuldade de seu controle durante a ascensão.

As capacidades de controle do nível de empuxo (*throttle*) e de reignição de motores a propelentes líquidos têm evoluído nos sistemas mais modernos e têm sido essenciais na recuperação e posterior reutilização de estágios dos veículos lançadores. Os exemplos mais relevantes no uso dessas capacidades são da SpaceX (motor Merlin 1D) e da Blue Origin (motor BE-3). Além disso, tais motores evoluíram para um ciclo de vida de operação (*operation life cycle*) muito mais longo que os dos concorrentes, o que permite a sua reutilização em muitos voos.

Configuração dos veículos

Número de estágios

Quanto ao número de estágios, a utilização de veículos de 4 ou 5 estágios ficou no passado devido ao custo mais elevado de produção e operação e a tendência a uma menor confiabilidade. O que se verifica nos veículos atuais em operação é a predominância de 2 e 3 estágios.

As configurações dos veículos podem ter, ou não, motores auxiliares *SOBs* operando em paralelo aos motores principais do primeiro estágio. Em alguns casos, os veículos utilizam quantidades diferentes de *SOBs* para proporcionar versões do mesmo veículo com diferentes capacidades de carga útil a partir de uma versão básica (ex. Delta II, Atlas 5, Angara).

Strap-ons sólidos versus strap-ons líquidos

A configuração com a utilização de *SOBs* sólidos é muito comum nos veículos atuais. São exemplos os veículos operacionais: Delta II, Atlas V51x, Ariane 5 e H-IIB. Verifica-se também que vários veículos de grande porte em desenvolvimento ainda mantêm essa configuração, sendo exemplos o *SLS (Space Launch System)* da NASA, o Ariane 6 na Europa, o Vulcan da ULA, o *NGL (Next Generation Launcher/Omega)* da Orbital ATK e o LMV3 da ISRO. No entanto, em função da evolução da tecnologia de recuperação e de reutilização de *boosters* a propelente líquido, acredita-se que será testemunhada cada vez mais a utilização da configuração dos veículos com substituição dos *SOBs* sólidos por *SOBs* líquidos nos novos lançadores. A razão para essa tendência é que, embora o custo de produção do *SOB* sólido seja mais baixo, a reutilização⁷ do *SOB* líquido trará maior

⁷ A recuperação e reutilização de motores a propelente líquido é possível pela sua capacidade de reignição e de *throttle*, os quais são impraticáveis nos motores a propelente sólido. Além dos motores líquidos com essas capacidades, a utilização de motores híbridos (sólido + líquido) poderia também ser uma alternativa a

vantagem de custo. Outra vantagem do *SOB* líquido é o impulso específico mais elevado que o do *SOB* sólido. Alguns exemplos de veículos que utilizam *SOBs* líquidos são: Delta IV, Falcon Heavy, Proton, Angara A3, A5, GSLV.

Forma de lançamento

Quando se tratam de pequenos e microlançadores, dois principais tipos emergem no atual cenário. O primeiro tipo é o tradicional, lançado a partir do solo, seja de plataformas estáticas, ou de plataformas móveis. O segundo tipo são os lançados em altitude, a partir de aeronaves especificamente desenvolvidas ou de aeronaves convertidas. São exemplos deste tipo de lançador o Pegasus XL (Orbital ATK), LauncherOne (Virgin Orbit) e GOLAUNCHER (Generation Orbit). Uma variação desse segundo tipo é a iniciativa como a da empresa Zero2Infinity cujo lançador (*Bloostar*) é inicialmente elevado por meio de balão estratosférico e lançado após a sua soltura na estratosfera.

Tendências tecnológicas

Veículos reutilizáveis e remoção de detritos espaciais

A recuperação e a reutilização de partes do veículo lançador já são uma realidade. A recuperação e reutilização do último estágio (*upper stage*) dos veículos serão particularmente desafiadoras, uma vez que esse estágio é o que faz a inserção do satélite em órbita e, portanto, ele é também colocado em órbita e lá permanecerá como lixo espacial (*space debris*), se não for removido.

A remoção dos *upper stages* de órbita já faz parte dos planos em alguns lançadores modernos, porém a maior parte dos veículos ainda não possui sistemas que realizam a sua reentrada e sua autodestruição na atmosfera. É esperada para breve a regulamentação mais rígida em relação aos detritos em órbita e, portanto, a capacidade de autorremoção da órbita certamente será uma exigência a que todos os veículos futuros deverão atender, contribuindo para a sustentabilidade do ambiente orbital. A sua remoção não envolve grandes desafios tecnológicos, porém a sua recuperação e reutilização em voos subsequentes ainda demandará um grande esforço tecnológico.

Entretanto, não há dúvidas que essa reutilização se estenderá em pouco tempo ao lançador todo, tornando-os veículos de transporte totalmente reutilizáveis, em operação similar ao que é o transporte aeronáutico. É ousado afirmar neste momento, mas existe uma tendência que em futuro não muito distante haverá a convergência entre o

ser explorada. Houve, no passado, tentativas de recuperação e reutilização dos motores sólidos do *STS* (*Space Shuttle*), porém os custos da recuperação e do reparo e as dúvidas quanto à confiabilidade do motor reconcondicionado levaram ao abandono dessa reutilização.

transporte espacial e o aeronáutico, permitindo redução considerável dos tempos de voo, uma vez que os veículos utilizarão trechos orbitais de baixa altitude em seus trajetos de longa distância de um ponto a outro da superfície do globo.

Configuração do veículo

A configuração do veículo de estágio único (*SSTO – Single Stage to Orbit*), no conceito de veículo reutilizável, sempre foi uma meta perseguida pelas agências espaciais e empresas desde a década de 1980 (e.g. Venture Star, DC-X, Sönder). No entanto, as tecnologias de propulsão disponíveis não permitiram que, até hoje, um projeto sequer de *SSTO* prosperasse. Em consequência, veículos de dois estágios (*TSTO – Two Stage to Orbit*), com reutilização parcial e, posteriormente, com reutilização total deverão ser a tendência no curto e médio prazo.

No entanto, em longo prazo, os *SSTO* na forma de espaçonaves (*Spaceplanes*) deverão ser objeto de grandes investimentos na área de transporte aeroespacial, tendo os sistemas de propulsão para essa aplicação como foco dos investimentos. Vários projetos conceituais de *Spaceplanes* são estudados hoje, fortemente concentrados nos EUA e na China. Grande parte deles baseada no conceito de decolagem horizontal e pouso horizontal (*HTOHL- Horizontal Take-Off Horizontal Landing*). Eventos como o *AIAA International Space Planes and Hypersonic Systems and Technologies Conference* são importantes fontes de informação de características e status desses projetos.

Propulsão e propelentes

O vetor de desenvolvimento dos motores foguete se orienta pela busca de sistemas de alto grau de reutilização, alto impulso específico e baixo custo operacional. Nesse sentido, há uma tendência de se utilizar o par propelente metano líquido (*LCH₄*) e oxigênio líquido (*LOX*) verificado nos motores Raptor (SpaceX) e BE-4 (Blue Origin), em desenvolvimento, a serem utilizados em veículos futuros. Apesar do impulso específico menor que o do *LH₂*, o uso do *LCH₄* tem como principais vantagens a sua densidade mais elevada, que implica volumes de tanques de propelente mais compactos, e a facilidade de manuseio quanto à estanqueidade, à inflamabilidade e à temperatura para o estoque.

Motores com conceito híbrido, ou seja, uma combinação de motor aeronáutico (*air-breathing*) com motor foguete a propelente líquido, estão sendo desenvolvidos. Um exemplo é o SABRE (*Synergistic Air-Breathing Rocket Engine*), em desenvolvimento pela empresa britânica Reaction Engines Ltd (REL), cuja operação em baixa altitude se faz no modo motor aeronáutico (*LH₂/Air*) e, a partir de 26-28 km, se faz no modo motor foguete (*LH₂/ LOX*). A empresa britânica visa à utilização do SABRE em seu projeto de espaçonave *SSTO* reutilizável Skylon (BBC, 2014). Atualmente a empresa possui suporte financeiro da

ESA, do governo britânico, e de grandes empresas como a RR, BAE e Boeing, que estão especialmente interessadas no motor SABRE (BBC, 2018).

Na Tabela 6 são mostradas as principais tendências tecnológicas para lançadores e como elas podem reduzir os custos de lançamento.

Tabela 6 - Redução de custos e tendências tecnológicas para lançadores.

Redução de custos/Tendências tecnológicas	
Reutilização de um ou mais estágios	A remoção dos <i>upper stages</i> de órbita já faz parte dos planos de alguns lançadores modernos. Porém, a maior parte dos veículos ainda não possui sistemas que realizam a reentrada controlada desses estágios para que sejam destruídos pela atmosfera. Novas normas exigirão a reentrada desses estágios superiores como forma de minimizar os perigos inerentes aos detritos espaciais. O emprego de técnicas avançadas de resfriamento pode mudar este cenário possibilitando o reaproveitamento de propulsores ao invés de sua destruição na reentrada.
Uso de componentes comerciais com qualificação industrial	O uso de COTS não só reduz custos diretamente com também indiretamente, i.e., tecnologias comerciais são, em geral, mais avançadas, têm melhor desempenho e consumo mais baixo de energia. A questão de confiabilidade pode ser resolvida através de processos de seleção de componentes aprovados em testes de estresse (i.e. <i>screening</i>). A experiência com CubeSats mostra que COTS selecionados podem sobreviver ao lançamento e funcionar perfeitamente em ambiente espacial. Os desenvolvimentos em aviônica para lançadores focam em unidades de medida inerciais, sistemas de distribuição de potência e computadores de bordo.
Produção em série	A produção de sistemas espaciais em larga escala barateia o custo de peças individuais. Apesar de o custo de lançamentos dedicados a pequenos satélites ser considerado ainda alto, a produção em série de pequenos lançadores pode reverter este quadro. Novas tecnologias são necessárias para a manufatura de estruturas a base de compósitos a preços acessíveis, como métodos de manufatura automatizados (e.g. robôs industriais como plataforma de manufatura). A tecnologia <i>Direct Metal Printing</i> (DMP) já está sendo utilizada em aplicações industriais e passa a ser de grande interesse para a indústria espacial. Já há algumas iniciativas nessa direção. A tecnologia <i>Selective Laser Melting</i> (SLM), relacionada à impressão 3D, tem grande chance de revolucionar o processo de fabricação de novos veículos. Ela já está sendo usada no veículo de grande porte Space Launch System (SLS).
Tecnologia híbrida	Propulsores com combustíveis tanto sólidos quanto líquidos em diferentes estágios do veículo podem resultar em lançadores de baixo custo para alta frequência de lançamentos. Propelente sólido de alto desempenho, que tem preço acessível, é altamente disponível no mercado e tem outras aplicações industriais (e.g. APCP e PBHT). A utilização desse tipo de propelente ajudaria a viabilizar um projeto de lançador de pequeno porte. A propulsão líquida oferece confiabilidade, alto desempenho, capacidade de aceleração e fácil reignição. Por exemplo, materiais usados por essa tecnologia, como LOX (oxigênio líquido) e querosene altamente refinado, têm baixo custo, estão disponíveis no mundo todo, são ecológicos e são fáceis de serem estocados. Aliados a materiais cerâmicos, garantem alta resistência à oxidação, tolerância a desgastes e são resistentes a choques térmicos. Propulsores híbridos combinariam as vantagens dos motores a combustível sólido (simplicidade e facilidade de manuseio) e líquidos (segurança, aceleração e capacidade de reignição).

Redução de custos/Tendências tecnológicas	
Redução de custos associados	Os custos de lançamento não são restritos à produção do foguete. Custos com infraestrutura de solo, logística e pessoal podem ser (e devem ser) otimizados. Veículos de pequeno porte permitem maior otimização desses itens.

Fonte: Elaboração própria.

Situação brasileira

Uma das mais bem sucedidas iniciativas brasileiras de desenvolvimento de foguetes se deu na década de 1970, no campus do então Centro Técnico Aeroespacial (CTA). O primeiro voo do veículo de sondagem SONDA IV, no início da década de 1980, marcou também o apogeu dessas atividades, que passaram a declinar com o passar dos anos, embora de forma sutil. Resultou desse cenário a condução de um projeto de vulto para o Brasil, o VLS (Veículo Lançador de Satélites), em um ambiente não ideal. Foram realizados dois voos incompletos desse veículo na década de 1990 e houve um acidente na preparação para o terceiro lançamento, em 2003. Houve tentativa de prosseguimento desse projeto, que, infelizmente, não vingou, culminando com o seu recente cancelamento (Palmério, 2017). Houve também algumas iniciativas para desenvolver ou utilizar outros tipos lançadores no âmbito do programa espacial brasileiro. Na

Figura 10 são apresentados alguns desses veículos lançadores propostos. Na Figura 11, é mostrada uma iniciativa conhecida como família Cruzeiro do Sul, que não teve continuidade.

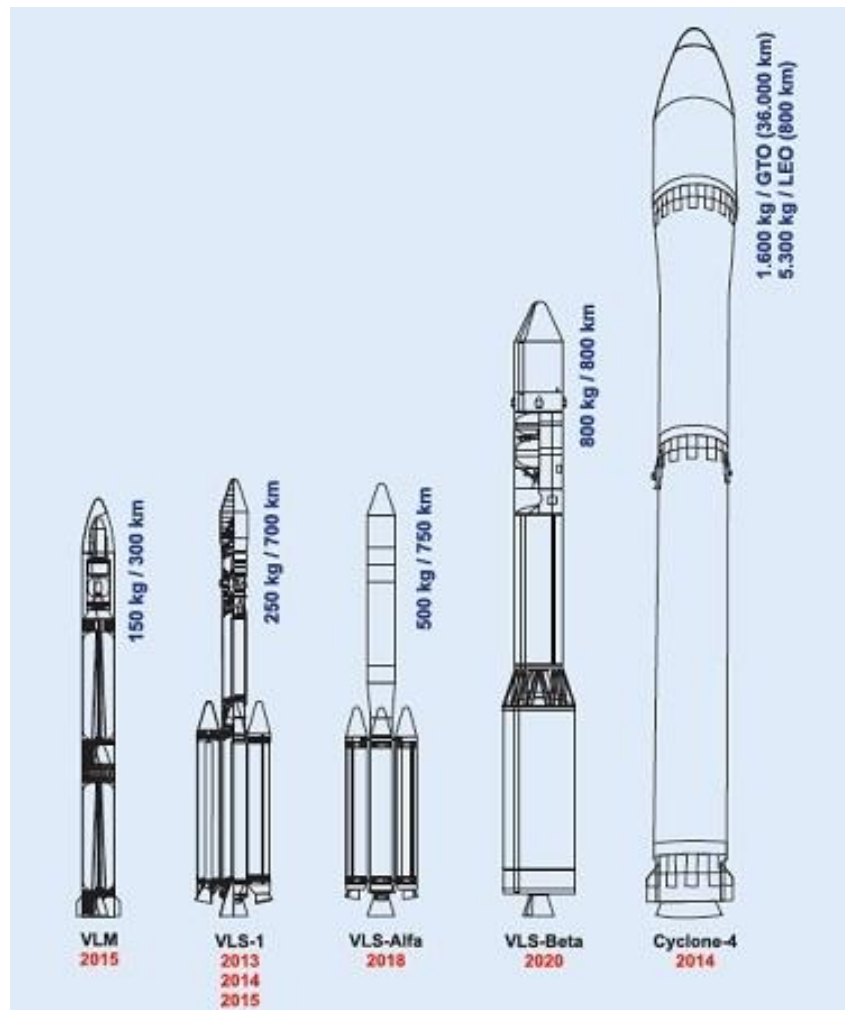


Figura 10 - Veículos lançadores planejados no passado pelo Brasil.
 Fonte: DCTA/IAE.



Figura 11 - Programa Cruzeiro do Sul.
 Fonte: <https://pt.wikipedia.org/w/index.php?curid=4513191>

Alguns fatores contribuíram para o declínio da atividade relacionada ao desenvolvimento de veículos lançadores de satélites no Brasil ao longo das últimas décadas. Entre eles, mudanças na política de apoio às atividades de ciência e tecnologia, com redução de investimentos no setor, enrijecimento da administração pública, o que provocou perda de poder de atuação dos administradores de instituições de pesquisa e gerentes de projetos, com a consequente burocratização excessiva de processos de aquisição de equipamentos e insumos e de contratação de pessoal e serviços. Como resultado, o ritmo de desenvolvimentos tecnológicos foi diminuindo até se tornar inexpressivo.

Além disso, a falta de definição por parte do Estado brasileiro em considerar a área espacial como estratégica e apoiar, de forma objetiva, o esforço necessário para o desenvolvimento do lançador de satélites VLS, mais tarde VLS-1, foi crucial para que esse projeto sofresse as consequências dessa indefinição e chegasse ao ponto de ser cancelado. A Agência Espacial Brasileira (AEB) surgiu em 1994 e deveria abrigar esse projeto e seus sucessores, mas, por ter sido criada sem pessoal e sem a necessária investidora de poder para realizar tal tarefa, não conseguiu sucesso nessa empreitada. Apesar disso, depois de décadas de esforços, várias tecnologias ligadas a veículos lançadores foram desenvolvidas e algumas alcançaram TRL (*Technology Readiness Level*)

altos. Outras, como propulsão líquida, infelizmente, ainda se encontram em baixos níveis de maturidade tecnológica.

Importante salientar que os programas espaciais, em particular o de desenvolvimento de veículos lançadores de satélites, são de longo prazo e, portanto, devem ser programas de Estado, e devem resistir às intempéries enfrentadas pelas administrações de governo, pressões e boicotes internacionais. Os programas espaciais da China e da Índia, tendo sido iniciados em épocas e em cenários econômicos e sociais similares aos do Brasil, são exemplos marcantes da persistência e determinação necessárias para alcançar objetivos de longo prazo.

A oportunidade para um lançador brasileiro de pequenos satélites

O advento dos nanossatélites abre uma nova janela de oportunidades que muitos países, com suas respectivas empresas, institutos de pesquisa e desenvolvimento e instituições acadêmicas, podem aproveitar, tanto para a construção de satélites quanto para veículos lançadores de pequeno porte.

No caso do Brasil, a hipótese de desenvolvimento de um lançador para pequenos satélites é bastante viável. Podem ser aproveitados os desenvolvimentos já realizados pelo Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial do Comando da Aeronáutica (DCTA) e por algumas empresas para diminuir custos e cronograma. Alguns aspectos favoráveis e desfavoráveis devem ser considerados para a realização dessa empreitada.

O desenvolvimento de um lançador de pequenos satélites com massas menores que 50 kg, para órbitas baixas, permite utilizar motores já produzidos pelo DCTA/IAE, a menos de eventual necessidade de um estágio superior que não possa ser sanada. Por outro lado, é preciso considerar que os envelopes motores fabricados em aço 300M deverão ser fabricados com outro material, devido à dificuldade hoje enfrentada para a obtenção dessa matéria prima. O Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE) estava desenvolvendo envelopes em aço *maraging* para sanar essa dificuldade. Se esse desenvolvimento não estiver disponível dentro dos próximos anos, então será necessário considerar o desenvolvimento de envelopes em fibra orgânica. Já existem algumas iniciativas nesse sentido.

Outra questão é o sistema de controle de trajetória. Por exemplo, o lançador japonês SS-520 decolou a partir do solo de uma haste com trilhos, e só dispunha de um sistema de gás frio para efetuar o apontamento do segundo estágio em sua fase balística. O lançador foi estabilizado estaticamente por empenas no primeiro estágio e dinamicamente por rolamento induzido.

Para o desenvolvimento de um pequeno lançador brasileiro, caso se decida efetuar controle por desvio do jato dos motores (*TVC-Thrust Vector Control*), como o utilizado pelo Electron, parte dos insumos não está disponível no Brasil como, por exemplo, computador de bordo, sistema inercial e sistema de terminação de voo.

É natural admitir que o Veículo Lançador de Microssatélites (VLM) seja adotado como ponto de partida, já que foram realizados vários estudos sobre sua configuração na década de 90. O propósito era estudar a viabilidade de lançamento de uma pequena carga em órbita, antes do primeiro voo do VLS-1. Na época, os estudos de controlabilidade do terceiro estágio apontaram dificuldades para o alcance desse objetivo. Esse fator, somado à pouca atratividade pelo seu baixo desempenho em relação à colocação de massas em órbita, levou à paralização dos estudos.

Levando em conta a considerável redução de massas dos satélites atuais, parece ser possível retornar a um micro lançador com base nos motores e outras partes já desenvolvidos para o VLS-1 e outros veículos de sondagem. O veículo VLM-1, a ser originado do foguete de sondagem VS-50, em estudo pelo DCTA, terá maior capacidade do que a prevista inicialmente e tem como base o motor S-50 atualmente em desenvolvimento.

Um modelo com características de parceria público-privada, com a iniciativa e gestão realizada por empresa privada ou por órgão ligado ao Poder Executivo com características de empresa privada, é a recomendada para um possível projeto como esse.

Lançador

Há três meios de se efetuar a travessia da atmosfera mais densa: lançador convencional; transporte do lançador por avião; e transporte do lançador por balão. Embora todos sejam válidos, aquele que está mais próximo da realização nacional é o lançador convencional.

O primeiro item a se considerar no desenvolvimento de um lançador é o seu conjunto de motores. Para o lançamento em órbita baixa equatorial de massa de 50 kg é possível afiançar que motores já produzidos pelo DCTA/IAE dão sustentação a essa proposta, a menos de eventual necessidade de um estágio superior que não possa ser sanada.

Por outro lado, é preciso considerar desde já que envelopes motores, fabricados em aço 300M, ou estão em estoque, ou deverão ser fabricados em outro material, devido às dificuldades hoje enfrentadas na obtenção da matéria prima e no processo de fabricação. O IAE estava desenvolvendo envelopes em aço *maraging*, caso este propósito tenha sido atingido, então este não será um obstáculo a um novo lote de motores. Se a conclusão

deste desenvolvimento não estiver disponível dentro dos próximos anos, então será necessário considerar o desenvolvimento de envelopes em fibra orgânica.

Uma decisão fundamental a tomar está relacionada com a aplicação, ou não, de sistema de controle ativo. O lançador japonês SS-520 decolou a partir do solo de uma haste com trilhos, e só dispunha de um sistema de gás frio para efetuar o apontamento do segundo estágio em sua fase balística. O lançador foi estabilizado estaticamente por empenas no primeiro estágio e dinamicamente por rolamento induzido. Os detalhes dos seus resultados ainda não foram publicados, mas eles são esperados para os próximos eventos do *ISTS* e da *AIAA/USU Small Satellite Conference*. No caso de um pequeno lançador, caso se decida efetuar controle por desvio do jato dos motores (*TVC-Thrust Vector Control*), parte dos insumos não está disponível no Brasil. Deve ser previsto adquirir equipamentos como, por exemplo, atuadores hidráulicos, computador de bordo, sistema inercial solidário, e sistema de terminação de voo.

É natural admitir que o Veículo Lançador de Microssatélites (VLM) seja adotado como ponto de partida, considerando que:

- já foram realizados vários estudos sobre sua configuração na década de 90, com o propósito era estudar a viabilidade de lançamento de uma pequena carga em órbita, antes do primeiro voo do VLS-1. Na época, os estudos de controlabilidade do terceiro estágio apontaram dificuldades para esse desenvolvimento. Esse fator, somado à pouca atratividade pelo seu baixo desempenho desse veículo em relação à colocação de massas em órbita, levou à paralisação dos estudos;
- No entanto, levando em conta a considerável redução de massas dos satélites atuais, parece ser possível retomar a ideia de desenvolvimento de um microlançador com base nos motores e outras partes já desenvolvidos para o VLS-1 e outros veículos de sondagem;
- No passado, versões do VLM com maior desempenho já foram estudadas. Esses estudos podem ser usados para avaliar o potencial de um novo veículo e sua eventual evolução para uma capacidade similar à do VLS-1.

Note-se que o veículo VLM-1, a ser originado do foguete de sondagem VS-50, em estudo pelo DCTA, terá maior capacidade do que a prevista no presente documento e tem como base o motor S-50 atualmente em desenvolvimento.

Contexto brasileiro atual

Em relação à implementação de uma iniciativa visando desenvolver um veículo lançador de satélites de pequeno porte, pode-se examinar o contexto nacional atual e elencar alguns aspectos favoráveis e desfavoráveis a essa iniciativa.

Aspectos favoráveis

- Existe uma infraestrutura de ensaios e de fabricação, no campus do DCTA, que pode e deve ser aproveitada;
- Existe a infraestrutura de lançamento de foguetes em Alcântara que deve ser aproveitada. No entanto, seus meios de telemetria, telecomando e rastreamento precisam ser avaliados;
- Existe um pequeno grupo de pessoas no mercado capaz de dar suporte técnico ao projeto;
- Existem pequenos grupos de especialistas que podem dar suporte técnico em suas respectivas áreas de domínio tecnológico;
- Alguns ramos industriais podem dar suporte necessário, tais como mecânica fina, fabricação de partes com fibras orgânicas, produção de insumos químicos, com exceção do polibutadieno hidroxilado, pelo menos em curto prazo, e itens pirotécnicos e eletropirotécnicos;
- Para a produção do propelente sólido existe a AVIBRÁS que poderá substituir o DCTA caso essa capacidade seja perdida.
- A existência de um fundo setorial espacial (CT-Espacial) que, mesmo sem ter grandes recursos a ele associados, pode ser um instrumento importante para colimar esforços no sentido de desenvolver esse projeto.
- A recente criação de um Comitê de Desenvolvimento do Programa Espacial Brasileiro (CDPEB) que está estudando propostas para revitalizar o setor espacial. Um lançador de pequeno porte poderia receber apoio desse comitê.

Aspectos desfavoráveis

- Não existe ainda a vontade manifesta e firme, no setor público ou privado, de que tal meta deva ser alcançada;
- A idade avançada de muitos especialistas disponíveis no mercado, sem uma visível reposição por especialistas mais jovens;

- Desde o início da década de noventa, as equipes técnicas de projeto foram se dizimando; portanto, em algumas áreas especializadas será difícil conseguir suporte adequado para o desenvolvimento do projeto;
- Não existe ainda uma organização/instituição que tenha a dinâmica de trabalho necessária ao empreendimento. Na dinâmica de trabalho se enquadram:
 - permanente processo seletivo de mão de obra capaz;
 - formação permanente da mão de obra;
 - compra de materiais no compasso exigido pelo projeto;
 - adequação da infraestrutura de ensaios e realização dos ensaios no compasso exigido pelo projeto;
 - adequação dos meios de lançamento e operação de lançamento em compasso necessário.

Apesar dessas deficiências, dada a simplicidade e os baixos custos esperados para o novo veículo, visualiza-se que uma organização enxuta e bastante ágil nas decisões e processos administrativos possa conduzir com eficácia o seu desenvolvimento.

Existem lacunas de produção industrial que teriam que ser resolvidas por desenvolvimento interno ou compra no exterior, tais como:

- polibutadieno hidroxilado (PBHT). A AVIBRAS obteve recentemente financiamento para instalação da fábrica da resina, no molde do que era feito na Petroflex. Quando a fábrica estiver operacional, o País se tornará autônomo a produção desse insumo;
- ingredientes químicos para propelente sólido atualmente importados;
- proteções térmicas flexíveis. A CENIC foi a última empresa a emborrachar envelopes motores, em substituição à empresa ELASTIC. No caso de uma retomada de produção, é possível que haja a necessidade de dar manutenção em equipamentos e formação de nova equipe de trabalho;
- equipamentos da rede elétrica:
 - sensores de atitude e navegação;
 - computador de bordo;
 - receptor GPS;
 - equipamentos do sistema de segurança e terminação de voo;

- equipamentos de telemetria;
- células de baterias.
- equipamentos dos atuadores de controle de atitude:
 - no caso de necessitar TVC, atuadores hidráulicos com as servo-válvulas;
 - garrafas de alta pressão;
 - reguladores de pressão;
 - válvulas pirotécnicas;
 - eletro-válvulas para sistema de gás-frio.

Recursos necessários para o desenvolvimento de um lançador nacional

Os recursos necessários para a consecução de um projeto nacional de um lançador de pequeno porte são distribuídos nas esferas administrativas, humanas e financeiras. Apoio político pode, de certa forma, ser considerado também como um recurso. O contexto recente brasileiro desfavoreceu todos eles. Sendo assim, é preciso mudar o contexto futuro, de modo que os recursos necessários se apliquem de maneira a suportar a dinâmica do desenvolvimento tecnológico de um sistema complexo dentro de um planejamento pré-estabelecido. O estabelecimento dos recursos citados é discutido a seguir, tomando como premissa que a iniciativa e a gestão do desenvolvimento do lançador de satélites se darão pelo setor privado com o suporte do setor público.

Salienta-se que as ideias expostas a seguir se pautam no senso comum de realização de um projeto complexo, mas que não foram integralmente concretizadas durante o desenvolvimento do VLS-1, resultando em execução proibitivamente demorada, insucessos e cancelamento do projeto.

Recursos políticos

Esses recursos devem ser aplicados para a definição das seguintes ações:

- Manifestação da inabalável vontade de instâncias do Poder Executivo para apoiar o empreendimento num modelo de parceria público-privada. Essa parceria não precisa ser necessariamente nos moldes clássicos de uma PPP, mas precisa ser estabelecida de maneira que garanta o comprometimento do Estado durante todo o processo de desenvolvimento;
- Estabelecimento de um conjunto de leis e normas que ampare a dinâmica de execução do desenvolvimento nesse modelo;
- Concessão de uso dos meios e infraestrutura governamentais para o executor do projeto, bem como prover os recursos à sua manutenção e prontidão para o uso; e

- Fornecimento de serviços de engenharia, de ensaios ou de fabricação cujas competências foram desenvolvidas nos órgãos governamentais.

Recursos administrativos

Esses recursos devem ser aplicados nas seguintes ações:

- Estabelecimento de empresa privada ou organização ligada ao Poder Executivo que seja responsável pelo desenvolvimento do microlançador de satélites. No caso de organização ligada ao Poder Executivo, esta deve ter a devida agilidade e estar livre das amarras administrativas e políticas dos órgãos públicos. Essa empresa ou organização deve ser enxuta, ter baixo custo operacional, ter transparência e ser capaz de zelar pela correta e tempestiva prestação de contas dos recursos aplicados;
- Estabelecimento de processos ágeis em favor das compras nos mercados nacional e internacional e de contratações de serviços;
- Estabelecimento de processos ágeis de contratação de recursos humanos e de sua permanente avaliação de desempenho; e
- Contratação de treinamentos e cursos necessários ao melhor aproveitamento dos recursos humanos.

Recursos humanos

Esses recursos devem ser aplicados nas seguintes ações:

- Identificação das carências imediatas a serem supridas para a formação das equipes de trabalho;
- Identificação das carências a serem supridas por formação de pessoal fora do ambiente de trabalho;
- Identificação e aplicação das formações profissionais a serem aplicadas a médio e longo prazo;
- Avaliação permanente de desempenho dos recursos humanos.

Recursos financeiros

Os recursos financeiros necessários devem ser parte de origem privada, parte de órgãos de financiamento e parte de orçamento do governo. A parcela do governo deve ser alocada na Lei Orçamentária Anual (LOA) e deve ser garantida para cada ano do cronograma a ser estabelecido no início do desenvolvimento. A disponibilização dos recursos deve ser tempestiva, em acordo com o cronograma físico-financeiro.

Considerações finais e recomendações

É inusitado que um país que tenha desenvolvido o foguete de sondagem SONDA IV, dotado de controle do vetor de empuxo, e o lançador de satélites VLS-1 não disponha de todos os recursos necessários para desenvolver um pequeno veículo lançador de satélites.

Cabe constatar que o atual desenvolvimento tecnológico nacional está muito aquém da dimensão econômica do País e da potencialidade de seus recursos humanos. Isso se deve ao baixo nível de investimento no setor, resultante de uma política de aquisição externa de bens de alto valor agregado em detrimento de esforço tecnológico interno para desenvolver tais bens. No campo de desenvolvimento de foguetes, ocorreu um investimento inicial na década de 60, do século passado, atingindo o apogeu no início da década de 80, quando começou a declinar, sendo alarmante a progressão do “desinvestimento” atual. Os dois voos incompletos do VLS-1, o acidente e o cancelamento do projeto são fatos concretos decorrentes do descaso em relação às metas de desenvolvimento do País. Salvas raras exceções, outros segmentos do desenvolvimento tecnológico também foram esquecidos.

Diante de tal quadro, apresenta-se o dilema: deve-se investir no desenvolvimento de um pequeno lançador de satélites? A resposta é “sim”, porque:

- o Brasil tem utilizado seus recursos humanos e naturais na compra do resultado tecnológico de outros países, em lugar de investir seriamente em educação e desenvolvimento interno. Quando o País que está entre as 10 maiores economias mundiais tem sua economia em grande parte sustentada por *commodities*, é sintoma de que deixou de investir em educação e tecnologia. Mesmo que possamos realizar serviços com tecnologias estrangeiras, eles se farão com instrumentos que podem ser indisponibilizados por decisão do detentor da tecnologia. A modernidade importada é frágil e pode desaparecer a qualquer momento, bastando que ocorra alguma divergência com o país exportador da tecnologia. O Brasil dispõe de competências técnicas individuais que precisam apenas encontrar ambiente propício para transformar potencialidades em realidades;
- o Brasil constitui um território vasto e rico, que vem sofrendo dilapidação em benefício de outros países. O controle sobre as incursões escusas e a inteligência de seu combate só podem ser feitos com segurança por meios autóctones, devido ao nível de sigilo necessário;
- países que tinham condições mais precárias que o Brasil, há algumas décadas, hoje são líderes em desenvolvimento tecnológico e se enriquecem com o nosso

consumo de bens que poderiam ter sido perfeitamente desenvolvidos aqui. Portanto, o País está importando comodidade e exportando *commodities*. As divisas que são usadas fazem falta ao desenvolvimento tecnológico nacional;

- o custo de desenvolvimento de um pequeno lançador tem vulto desprezível em relação à economia do País, até porque parte do custo já foi gasta na formação profissional de um pequeno grupo de técnicos capazes de conduzir as próximas etapas do desenvolvimento do pequeno lançador, na infraestrutura de laboratórios necessários aos ensaios a serem feitos, na capacitação de empresas para produzir itens com a qualidade necessária, no desenvolvimento dos motores necessários e no campo de lançamento;
- o sucesso do investimento abrirá uma janela de atividade econômica de alto teor tecnológico, que poderá alimentar a continuidade do investimento em projetos espaciais de maior porte;
- o sucesso do investimento poderá estimular o desenvolvimento de outras áreas tecnológicas, formando um círculo virtuoso envolvendo o nível educacional do País.
- E, por fim, há uma oportunidade única atualmente com o crescimento do uso de satélites de pequeno porte e há falta de lançadores para esses artefatos.

A proposta de um pequeno lançador nacional de satélites se enquadra perfeitamente no cenário internacional, no que diz respeito ao interesse em desenvolver lançadores de satélite dedicados à inserção em órbita baixa, de diferentes inclinações, para pequenos satélites com massas na faixa de 1 a 50 kg. No APÊNDICE C Capacidades nacionais para o desenvolvimento de um microlançador de satélites são apresentadas, de forma mais detalhada, as capacidades nacionais para o desenvolvimento de um microlançador de satélites.

Face aos desenvolvimentos executados pelo Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE), recomenda-se tomar como base o veículo VLM, estudado na década de 90, pelas seguintes razões:

- A missão prevista para o VLM se enquadra no desempenho almejado neste documento;
- Os estudos preliminares do VLM encontram-se no acervo técnico do IAE, e teriam grande utilidade na elaboração de um projeto de lançador, mesmo que alterações em sua arquitetura sejam julgadas necessárias. A não utilização desses dados

ampliaria a margem de erro nas previsões de desempenho do estudo de viabilidade; e

- Os motores do VLM constituem a solução mais rápida de realização do lançador de pequenos satélites.

A firmeza na condução do desenvolvimento é o fator determinante para a superação das carências apontadas. Assim, um modelo com características de parceria público-privada, com a iniciativa e gestão realizada por empresa privada ou por órgão ligado ao Poder Executivo com características de empresa privada é a recomendada para esse projeto.

A fase de projeto preliminar deverá ser precedida de uma revisão de estudos de viabilidade (FR – *Feasibility Review*) em instante a ser planejado. Nessa revisão, serão avaliados os dados e elementos disponíveis para uma tomada de decisão sobre a execução do projeto. Na FR deverão ser conduzidas as seguintes avaliações: a) técnica do veículo em questão, b) do mercado para este veículo (se for comercial o seu objetivo), c) dos custos envolvidos para o seu desenvolvimento, produção e operação e d) dos recursos disponíveis no País e no exterior para a sua realização e as estratégias para suprir as deficiências.

Uma vez aprovada a FR e decidida a execução do projeto (*go-ahead*), ela poderá ser realizada em duas etapas. A primeira etapa seria composta pelas fases de projeto preliminar e projeto detalhado, ao final da qual é realizada a CDR (*Critical Design Review*) e, neste ponto, deverá ser decidida a continuidade, ou não, do desenvolvimento. A segunda etapa corresponderá às fases de fabricação, ensaios e lançamento.

Parte dos recursos humanos deverá ser fixa ao longo de todo o desenvolvimento e parte deverá ser contratada nas fases quando houver necessidade.

Todos os recursos humanos do projeto deverão ser alocados em um ambiente de projeto, que poderá se localizar em um escritório de preferência na cidade de São José dos Campos, onde se encontra o DCTA, a maioria dos recursos humanos disponíveis, as infraestruturas de testes e várias de fabricação.

Quando se tratar de recursos humanos do IAE, de empresas contratadas ou de profissionais autônomos contratados, estes deverão operar em seus ambientes normais de trabalho sempre que as ferramentas de trabalho necessárias não estiverem disponíveis no ambiente de projeto.

As equipes de integração e ensaios serão contratadas e seu ambiente de trabalho durante as fases de projeto preliminar e projeto detalhado será no mesmo sítio do projeto. Na fase de fabricação e ensaios, um galpão deverá ser alugado para as integrações dos

módulos e estes ali mantidos até o seu deslocamento para ensaios ou para o campo de lançamento.

Os envelopes motores equipados (com proteções térmicas internas) serão carregados com propelente na Usina Coronel Abner (UCA) (ou na AVIBRAS), e estocados no sítio do carregamento até o início do transporte para o ensaio ou para o lançamento. O carregamento com propelente será tratado como um serviço contratado ao IAE ou à AVIBRAS.

A equipe de operação de lançamento poderá ser constituída de engenheiros e técnicos contratados, podendo ser integrada também por técnicos do IAE. A negociação da participação do IAE, nas fases de projeto preliminar e projeto detalhado, deverá ocorrer antes que a fase se inicie, porque será necessário o acesso a dados, uso de aplicativos computacionais e, eventualmente, envolvimento de técnicos das áreas de propulsão, aerodinâmica e trajetografia.

A participação do IAE na fase de fabricação e ensaios deverá ser negociada já na fase de projeto preliminar, porque é possível que a autorização esteja no nível do Comandante da Aeronáutica.

A anuência da Agência Espacial Brasileira (AEB), em relação ao desenvolvimento do microlançador de satélites, deverá ser obtida durante a Fase de Estudos Preliminares, caso os recursos para o projeto tenham que vir desta agência.

Complementando a avaliação dos recursos disponíveis para a consecução do projeto do microlançador, uma análise de criticidade dos recursos disponíveis deverá ser realizada, quando se terá uma melhor visualização do veículo e de seus subsistemas. Um microlançador é um método alternativo para se colocar pequenos satélites em órbita baixa.

Novos marcos regulatórios internacionais relacionados à mitigação de detritos espaciais e voos suborbitais terão um impacto significativo na operação de microlançadores. Graças à posição privilegiada, em especial devido às suas duas bases de lançamento (a base da Barreira do Inferno pode ser adaptada para pequenos lançadores), o Brasil tem uma vantagem competitiva para uma fatia substancial do mercado de lançamento de pequenos satélites.

Finalmente, enfatiza-se que o País vive momentos de extrema volatilidade dos recursos tecnológicos tanto em recursos humanos quanto em insumos, capacidades das empresas e infraestrutura necessárias à condução de um projeto de um microlançador. Assim, se faz urgente uma decisão sobre sua execução e, se decidido por realizá-lo, o seu início deve ser o mais breve possível.

APÊNDICE A

Fontes de informação sobre lançadores de satélites

Este apêndice apresenta as informações, rastreáveis na Internet, sobre lançadores para satélites de pequeno porte, sejam eles operacionais ou que estejam ainda em fase de desenvolvimento. O propósito desse apanhado é permitir aquilatar o esforço dedicado ao assunto e, por consequência, a relevância atribuída a ele no momento.

Principais fontes de informações tecnológicas

Procurou-se localizar nos países detentores da tecnologia de lançamento de satélites os principais veículos de divulgação tecnológica específica em nível profissional. São eles:

- Advances in Aerospace Science and Technology
<https://www.scirp.org/journal/AAST/>;
- Aerospace Science and Technology
<https://www.journals.elsevier.com/aerospace-science-and-technology/>;
- AIAA Journal of Spacecraft and Rockets
<https://arc.aiaa.org/loi/jsr>;
- Chinese Journal of Aeronautics
<https://www.journals.elsevier.com/chinese-journal-of-aeronautics/>;
- Journal of Aerospace Technology and Management
<http://www.jatm.com.br>;
- Journal of Mechanical Science and Technology
<https://www.springer.com/engineering/mechanical+engineering/journal/12206>;
- eLIBRARY.RU - Журнал "Russian Aeronautics"
<https://elibrary.ru>;
- Journal of the Japan Society for Aeronautical and Space Sciences
<https://www.jstage.jst.go.jp>; e
- Japan Aerospace Exploration Agency Repository (JAXA)
<https://repository.exst.jaxa.jp>.

Principais fontes de informações noticiosas

São relacionadas a seguir fontes de notícias profissionais na área de veículos lançadores:

- China Aerospace Science and Technology Corporation
<http://english.spacechina.com/n16421/index.html>
- China Space Report <https://chinaspacereport.com/>
- Cision PR Newswire <https://www.prnewswire.com/>

- Defesa Net <http://www.defesanet.com.br>
- Defesa News <http://defesanews.blogspot.com.br/>
- Eurospace <http://www.eurospace.org/>
- Gunter's Space Page <http://space.skyrocket.de>
- International Launch Services (ILS) <https://beta.ilslaunch.com/>
- Parabolic Arc <http://www.parabolicarc.com/>

A empresa publicou artigo (Parabolic Arc, 2016) sobre iniciativas na área de pequenos lançadores.

- Satellite Industry Association (SIA) <https://www.sia.org/>

A instituição publicou, em seu relatório anual de 2016 (SIA, 2017), informações sobre o mercado de pequenos lançadores.

- Space News <http://spacenews.com/>
- Spaceflight Now <https://spaceflightnow.com/>

A revista publicou artigo (Spaceflight Now, 2018) sobre o lançador japonês SS-520-5.

Principais eventos

Os eventos específicos da área de interesse são poucos em número, mas de relevante conteúdo técnico. São eles:

- AIAA Space and Astronautics Forum Exposition
- ESA Small Satellites, Systems & Services Symposium (4S)
- ESA Symposium on European Rocket and Balloon Programmes and Related Research
- International Astronautical Congress of IAF
<http://www.iafastro.org/events/iac/>
- International Symposium on Space Technology and Science (ISTS)
<http://www.ists.or.jp/about.html>

Simpósio organizado pela Japan Society for Aeronautical and Space Science – JSASS possui bastante foco em veículos lançadores.

- AIAA/USU Small Satellite Conference <https://www.smallsat.org/>
- AIAA International Space Planes and Hypersonic Systems and Technologies Conference <https://space.aiaa.org/hypersonics/>

Principais instituições nacionais e internacionais

As instituições aqui listadas se dividem em agências espaciais, instituições ligadas diretamente às agências espaciais de seus países, ou não, e empresas que atuam no desenvolvimento do veículo como um todo.

Agências espaciais

As agências espaciais listadas apoiam o desenvolvimento de foguetes, em seus países, embora, em sua maioria, de maior porte que os almejados neste documento.

- Agência Espacial Brasileira (AEB) <http://www.aeb.gov.br/>

A AEB apoia o desenvolvimento do VLM-1, em parceria com o DLR (Centro Aeroespacial Alemão).

- Centre National d'Études Spatiales(CNES) <https://cnes.fr/>

O CNES apoia o desenvolvimento do Callisto, um demonstrador de veículo reutilizável, com pouso vertical. O veículo tem comprimento de 15 m e 1 m de diâmetro. O motor do primeiro estágio é criogênico (hidrogênio e oxigênio). O desenvolvimento conta com a participação do DLR. Em princípio, o veículo será descontinuado, após ser atingido o objetivo inicial.

- China National Space Administration (CNSA)
<http://www.cnsa.gov.cn/n6443408/index.html>

Não foi identificada atuação em lançador de pequeno porte.

- Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE)
<http://conae.gov.ar/index.php/espanol/>

A agência financia o desenvolvimento do lançador Tronador II. O veículo é projetado para lançar 200 kg em órbita baixa (http://space.skyrocket.de/doc_lau/tronador-2.htm)

- German Aerospace Center (DLR) <http://www.dlr.de/dlr/en>

A Agência está envolvida no Callisto e no Projeto SMILE (SMall Innovative Launcher for Europe). O veículo deverá lançar satélites de até 50 kg, pelo preço de 50.000 €/kg, utilizando propulsão híbrida, materiais cerâmicos e outras tecnologias voltadas à redução de custo e de preservação ambiental. Um artigo detalha o projeto (Van Kleef, 2015).

- European Space Agency (ESA) <https://www.esa.int/ESA>

A ESA financia e controla os vários desenvolvimentos europeus.

- Indian Space Research Organization (ISRO)
<https://www.isro.gov.in/>

No passado, foram efetuados os lançamentos do SLV-3, capaz de lançar satélites de 40 kg em órbita baixa.

- Iranian Space Agency <http://www.iafastro.org/societes/iranian-space-agency/>

Entre outros veículos, foi desenvolvida a família de foguetes Safir, capaz de lançar satélites de 50 kg em órbita de 350 km.

- Israel Space Agency (ISA) <http://www.space.gov.il/en/About>

Possui o veículo Shavit 2 com capacidade de 500 kg em órbita heliossíncrona, utilizado para lançamento dos satélites Ofeq de uso militar. Seus pequenos satélites são lançados por veículos de outra nacionalidade.

- Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA) <http://global.jaxa.jp/>

Financia o desenvolvimento do lançador Epsilon com capacidade de 450 kg em órbita heliossíncrona, realizou 2 voos. A Agência apoiou um voo de demonstração de conceito em que um foguete de sondagem SS-520, bi-estágio, sofreu o acréscimo de um terceiro estágio, e conseguiu colocar em uma órbita elíptica um satélite de 3 kg.

- Italian Space Agency (ASI) <https://www.asi.it/en>

A ASI considera o VEGA como lançador de pequeno porte. Não foi identificada atuação em lançador de menor porte.

- Korea Aerospace Research Institute (KARI)
<https://www.kari.re.kr/eng.do>

A KARI lançou com sucesso o KSLV-I com um satélite de 100 kg em órbita baixa. Seu interesse é o KSLV-II, de maior porte.

- National Aeronautics and Space Administration (NASA)
<https://www.nasa.gov/>

A agência delegou à Wallops Flight Facility o desenvolvimento do programa Small Launch Vehicle Research (SLVR).

- Norwegian Space Center (NSC) <https://www.romsenter.no/eng/>

A NSC apoia desenvolvimentos a serem aplicados ao SMILE e a construção dos meios de lançamento em seu campo de Andoya.

- Russian Space Agency (ROSCOSMOS) <http://en.roscosmos.ru/>

Os menores lançadores operacionais são produzidos pela empresa GRTs Makeyev.

- State Space Agency of Ukraine (SSAU) <http://www.nkau.gov.ua/en/>

Não foi identificada atuação em lançador de menor porte. Apoiava o lançador Dnepr com capacidade até 2500 kg em órbita heliossíncrona, lançou muitos nanossats. Era produzido pela empresa Yuzhmash juntamente com empresas russas, porém as tensões políticas entre Ucrânia e Rússia a partir de 2014 inviabilizaram a continuidade de seus lançamentos.

- Swedish Space Corporation (SSC) <https://www.sscspace.com/>

A agência apoia o programa SmallSat Express.

- UK Space Agency
<https://www.gov.uk/government/organisations/uk-space-agency>

A agência financia parcialmente o desenvolvimento do Orbex, da empresa de mesmo nome.

Instituições

- Andoya Space Center (ASC) <https://www.andoyaspace.no>

Este centro de lançamento de foguetes de sondagem e balões, situado próximo à cidade de Andenes, Noruega, foi incumbido, em 2015, pela ESA e pela Comissão Europeia, de projetar as instalações para lançamento de pequenos satélites em órbitas baixas de inclinação entre 85º e 112º, dentro do programa Polar Satellite Launch Service (PSLS). Os meios de solo deverão ser concluídos em 2020.

- Esrange Space Center (ESC)
<https://www.sscspace.com/services/small-satellite-launches/>

Esse campo sueco está localizado próximo à cidade de Kiruna, e planeja operar lançadores de pequeno porte em 20121, sob a iniciativa denominada SmallSat Express, visando o lançamento de satélites de massas na faixa de 1 a 150 kg, em especial CubeSats. Os meios de solo já estão em execução.

- International Astronautical Federation (IAF)
<http://www.iafastro.org>

A instituição tem por missão manter-se como fórum sem fronteiras de discussão na área espacial. Seus afiliados são pessoas jurídicas e físicas que mantêm a realização de eventos e divulgam resultados e conquistas em suas publicações.

- NASA Wallops Flight Facility
<https://sites.wff.nasa.gov/slvr/index.html>

A instituição desenvolve o programa Small Launch Vehicle Research (SLVR) para usuários de satélites de 4 – 400 lb em LEO. O lançador deve colocar de 1000 – 4000 lb em LEO a um preço de 5 a 10 MUSD.

Empresas

Neste item são apresentadas as empresas envolvidas com lançadores de pequeno porte operacionais ou em desenvolvimento.

- ARCA Space Corporation <http://www.arcaspace.com/>

A empresa desenvolve o foguete monoestágio Haas 2C, que pretende lançar massas de 100 kg em órbita baixa, ao preço de USD10.000,00/kg. O início da operação comercial está previsto para dezembro de 2018.

- AVIBRAS <https://www.avibras.com.br/site/>

A empresa brasileira é a única, no País e no momento, que tem condições de abrigar o desenvolvimento de um pequeno lançador, dada a sua experiência com mísseis e outros sistemas complexos de uso militar. Para tanto, a empresa precisaria criar setores voltados para esse tipo de veículo.

- Bagaveev Corporation <http://bagaveev.com/>

A empresa pretende desenvolver um lançador bi-estágio para colocar massas de 10 kg em órbita heliossíncrona.

- Celestia Aerospace <http://celestiaaerospace.com/>

A empresa oferece lançamentos de 4 a 16 nanossatélites em órbita baixa. O lançador é levado por um jato militar a uma dada altitude, e, a partir dessa altitude, inicia seu voo até a inserção em órbita.

- China Aerospace Science and Industry Corporation (CASIC)

A empresa desenvolveu a família de lançadores Kaituozhe (KT). O KT-1 deveria colocar 100 kg em órbita polar de 600 km, mas três tentativas de lançamentos com satélites menores não foram bem sucedidas, segundo o site <https://chinaspacereport.com/2017/03/03/casic-kt-2-lofts-small-satellite-into-orbit/>. A mesma agência de notícias informa que o lançador mais pesado Kuai Zhou 1A (KZ-1A) já efetuou lançamentos bem sucedidos.

- Commercial Space Technologies <http://commercialspace.co.uk/wp-content/uploads/2015/01/Launch-Brokerage-2017.pdf>

Empresa de corretagem de lançadores russos.

- CubeCab <http://cubecab.com>

A empresa pretende iniciar seus serviços em 2020, tendo como alvo lançar três unidades de CubeSat, pelo preço de USD 250.000,00. O pequeno lançador será lançado de avião.

- Exos Aerospace Systems & Technologies <http://exosaero.com>

A empresa está voltada para voos suborbitais no momento.

- Firefly Aerospace* <http://www.fireflyspace.com/>

A empresa oferece lançamento de massas acima do desejado neste documento.

- Generation Orbit <http://generationorbit.com/>

A empresa desenvolve o veículo GOLauncher-2, utilizando o mesmo princípio do Pegasus, e objetivando colocar massas de 40 kg em órbita baixa, pelo preço de USD 3M. O passo seguinte é GOLauncher-3, que deverá colocar 150 kg em órbita heliossíncrona, por USD 5M.

- Horizon Space <http://www.horizonsas.com/>

A empresa britânica desenvolve o Black Arrow 2, que deverá efetuar seu primeiro voo operacional no final de 2020, transportando satélites com massa superior ao interesse desse documento.

APÊNDICE B

Principais campos de lançamento

Neste apêndice, estão listados somente os campos de lançamento em operação, por continente.

Ásia

País	Nome do Campo	Localização	Observação
China	Jiuquan Satellite Launch Center	41.11803°N 100.46330°E	Voos tripulados
China	Taiyuan Satellite Launch Center	39.14321°N 111.96741°E	Satélites polares
China	Xichang Satellite Launch Center	28.24646°N 102.02814°E	Satélites geossíncronos, sondas lunares
China	Wenchang Satellite Launch Center	19°36'52.17"N 110°57'4.08"E	Novo campo na ilha Hainan com plataformas para os Longa Marchas 5 e 7.
Índia	Satish Dhawan Space Centre (Sriharikota), Andhra Pradesh	13.73740°N 80.23510°E	
Irã	Semnan spaceport	35.234631°N 53.920941°E	Lançamentos orbitais
Israel	Palmachim Air Force Base	31.88484°N 34.68020°E	
Japão	Uchinoura Space Center	31.25186°N 131.07914°E	
Japão	Tanegashima Space Center, Tanegashima Island	30.39096°N 130.96813°E	
Cazaquistão	Baikonur Cosmodrome, Tyuratam	45.95515°N 63.35028°E	Operado pela Rússia
Coreia do Norte	Sohae	39.660°N 124.705°E	
Coreia do Sul	Naro Space Center, Gohueng	34.42585°N 127.52793°E	
Paquistão	Tilla Satellite Launch Center, Jhelum District, Punjab	33.39610°N 73.29608°E	
Rússia	Yasny Cosmodrome (formerly Dombrovskiy), Orenburg Oblast	51.20706°N 59.85003°E	Base de mísseis convertida para lançamento de satélites.
Rússia	Vostochny Cosmodrome, Amur Oblast	51.883°N 128.333°E	Campo no leste da Rússia complementar ao Cosmódromo de Baikonur.
Taiwan	Haigian	22.10°N 120.90°E	

Europa

País	Nome do Campo	Localização	Observação
Noruega	Andøya Space Center	69.29430°N 16.02070°E	Lançamento de foguetes de sondagem e futuros lançadores de pequeno porte.
Rússia	Kapustin Yar Cosmodrome, Astrakhan Oblast	48.57807°N 46.25420°E	
Rússia	Plesetsk Cosmodrome	62°55'32"N 40°34'40"E	
Suécia	Esrange, Kiruna	67.89342°N 21.10429°E	Operado pelo SSC . Lançamentos de cargas dos programas Maxus , TEXUS , Maser , por foguetes de sondagem, Lançamento de balões estratosféricos. Futura operação de pequenos lançadores de satélites.

América do Norte

País	Nome do Campo	Localização	Observação
EUA	Wallops Flight Facility, Delmarva Peninsula, Virginia	37.84621°N 75.47938°W	Operado pelo Goddard Space Flight Center da NASA.
EUA	Cape Canaveral Air Force Station, Florida	28.46675°N 80.55852°W	Missões não tripuladas comerciais e do governo americano.
EUA	Vandenberg Air Force Base, California	34.77204°N 120.60124°W	Lançamentos comerciais e governamentais de satélite e testes de mísseis balísticos.
EUA	Kennedy Space Center, Florida	28.6082°N 80.6040°W	Lançamentos tripulados da NASA. Adjacente ao Cape Canaveral Air Force Station.
EUA	Pacific Missile Range Facility, Hawaii	22°01'22"N159°47'06"W	Teste de mísseis antibalísticos e rastreamento de mísseis pela Marinha americana.
EUA	Kodiak Launch Complex, Alaska	57.43533°N 152.33931°W	Testes de mísseis interceptadores e lançamento de satélites. Alaska Aerospace Corporation .
EUA	Mojave Air and Space Port, California	35.05910°N 118.14880°W	Campo de lançamento de espaçonaves de financiamento privado (Xoie, Xombie, Xodiac, SpaceShipOne , SpaceShipTwo)
EUA	Spaceport America(formerly Southwest Regional Spaceport), Upham, New Mexico	32.88943°N 106.99945°W	Lançamentos sub-orbitais e voos turísticos planejados. Operado pelo estado do Novo México, tendo a Virgin Galactic como usuário principal.
EUA	Mid-Atlantic Regional Spaceport(MARS), Delmarva Peninsula, Virginia	37.833378°N 75.483284°W	Operado em parceria com a NASA, adjacente ao Wallops Flight Facility. Destinado a lançamentos comerciais

e governamentais.

América do Sul

País	Nome do Campo	Localização	Observação
Argentina	Puerto Belgrano	38.9628°S 61.715°W	A plataforma de lançamento para o Tronador II está em construção (CONAE).
Argentina	Punta Indio	35.523889°S 57.183889°W	Campo de testes civis (CONAE)
Argentina	CELPA	30.12737°S 66.34082°W	Campo de lançamento militar (CITIDEF)
Brasil	CLBI Natal/Barreira do Inferno	5.86600°S 35.38300°W	
Brasil	Alcântara Launch Center, Maranhão	2.3160°S 44.3676°W	Força Aérea Brasileira, Agência Espacial Brasileira. Lançamentos planejados de satélites.
Guiana Francesa	Guiana Space Centre, Kourou	5.23739°N 52.76950°W	Operado pelo CNES para a ESA ; base de lançamentos da Arianespace . Lançamentos comerciais e governamentais
Peru	Chilca PLOB, Punta Lobos Range	12.50000°S 76.8000°W	Local de lançamento de foguetes de sondagem. Possivelmente parte de, ou idêntico ao campo de lançamento Chilca.

Oceania

País	Nome do Campo	Localização	Observação
Austrália	Woomera Test Range	30.95875°S 136.50366°E	Local de pesquisa do governo Britânico/ Australiano. Teste de mísseis, lançamento de dois satélites.
Ilhas Marshall	Reagan Test Site, Omelek Island, Kwajalein Atoll	9.048167°N 167.743083°E	Base de lançamento de mísseis balísticos intercontinentais, convertida para lançamento de satélites. SpaceX Falcon 1 . Próxima ao Equador.
Nova Zelândia	Mahia	39.26044°S 177.86431°E	Primeiro espaçoporto comercial no hemisfério Sul.

APÊNDICE C

Capacidades nacionais para o desenvolvimento de um microlançador de satélites

O presente conjunto de informações detalha as disponibilidades e carências dos recursos humanos e materiais necessários à fase de realização do projeto de veículo lançador de pequeno porte para satélites também de pequeno porte, ou seja, desde o projeto preliminar até a revisão pós-voo (*Post-Flight Review* - PFR) desse microlançador de satélites.

Nota: Há que se ter em conta que as capacidades e as disponibilidades aqui apontadas sofrem perdas ao longo do tempo, em decorrência da falta de investimentos no desenvolvimento e na manutenção da capacidade de produção dos veículos que atingiram o estado operacional, no caso, os foguetes de sondagem e as conquistas no projeto do veículo lançador VLS-1. Portanto, na situação de uma decisão para execução do projeto de um microlançador, este deve ser conduzido de forma mais imediata possível. É previsível que durante o desenvolvimento do projeto em pauta ocorra a necessidade de suprir algumas daquelas perdas.

Recursos humanos

Os recursos humanos (RH) apresentados a seguir abrangem todas as fases da vida de um lançador de satélites movido por propulsão sólida. Um microlançador sem requisitos rígidos de precisão quanto à órbita a ser alcançada poderá prescindir de algumas especialidades apresentadas.

O rigor com que o desenvolvimento será tratado, sob o aspecto da documentação, influirá na composição das equipes. Assume-se neste documento que será elaborada documentação de projeto nos moldes preconizados pela ESA, porém, com simplificações a serem previamente definidas, com vistas a uma redução de custos e prazos do projeto, sem acarretar perdas na segurança operacional do pequeno lançador.

Gerenciamento do projeto

Haverá necessidade de **três pessoas** fixas em **todas as fases do projeto** para realizar:

- a interface contratual ou institucional com órgãos financiadores, investidores, instituições parceiras e fornecedores;
- a gestão de contratos e subcontratos;
- a gestão dos custos, prazos e resultados;
- a gestão dos recursos humanos e administrativos.

Disponibilidade do recurso: Existem recursos humanos para a execução das tarefas de gerenciamento aqui previstas na região de São José dos Campos.

Projeto

Entende-se por projeto o conjunto de atividades e estudos de engenharia que permitem:

- definir o sistema e seus subsistemas em todos os detalhes;
- elaborar a documentação dos estudos realizados, incluindo os desenhos de fabricação;
- elaborar as especificações dos ensaios de desenvolvimento, qualificação e aceitação;
- acompanhar a execução e analisar os resultados de ensaios;
- conduzir as revisões de projeto.

As áreas especializadas de engenharia e suas necessidades de RH são descritas a seguir, onde se considera que os serviços em cada área tecnológica podem ser supridos por especialista autônomo, por um escritório de engenharia, por equipe ou especialista de um instituto de pesquisa, por uma equipe de uma escola de engenharia, ou pela mescla dos recursos mencionados.

Engenharia de sistemas

Haverá necessidade de **três pessoas** fixas em **todas as fases do projeto** para a:

- realização de estudos de engenharia no nível do sistema;
- tomada de decisões técnicas;
- elaboração da documentação no nível do sistema e seu desdobramento (*flowdown*) para os subsistemas;
- análise crítica da documentação técnica emitida pelos especialistas;
- gestão técnica do projeto em todo o seu ciclo de vida, envolvendo a gestão de requisitos, da documentação, da configuração e dos riscos técnicos.

A engenharia de sistemas, em princípio, deve ser composta pelos especialistas que conduziram os estudos de viabilidade (anteprojeto) do microlançador, devendo permanecer na equipe até o final do desenvolvimento (PFR).

Para o microlançador, a engenharia de sistemas poderá suprir também a função de planejamento e controle da execução do projeto.

Disponibilidade do recurso: Existem recursos humanos no País para suprir esta necessidade.

Aerodinâmica

Haverá necessidade de **um especialista nas fases de projeto preliminar e de projeto detalhado**. Na eventualidade de uma alteração da configuração aerodinâmica em fases posteriores, uma revisita aos dados aerodinâmicos poderá ser necessária.

O projeto aerodinâmico do lançador poderá ser feito pela utilização do aplicativo Missile Datcom, considerando que a configuração será convencional, com eventual uso de empenas (*fins*).

Em São José dos Campos, há uma pessoa lidando com o assunto no IAE e alguns especialistas aposentados, porém não há segurança de que estejam disponíveis para realizar o trabalho. Recomenda-se que haja a participação de especialista do DLR/MORABA (Departamento de Foguetes do DLR) como revisor na PDR (*Preliminary Design Review*, que faz parte das normas ECSS - *European Cooperation for Space Standardization*), quando os estudos aerodinâmicos serão revisados.

Notas:

- 1) A recomendação da participação do DLR/MORABA na revisão de projeto deve-se à sua larga experiência nos foguetes de sondagem e às boas relações de cooperação entre o DCTA/IAE e esta instituição.
- 2) Não estão previstos ensaios aerodinâmicos em túnel de vento, visto que não se prevê utilizar configurações aerodinâmicas inéditas no microlançador.

Disponibilidade do recurso: Recomenda-se a contratação de especialista aposentado na área de São José dos Campos. Como alternativa, buscar cooperação com o IAE para esta especialidade. É importante a participação de especialista do DLR/MORABA nas revisões de projeto.

Propulsão

Não haverá necessidade de especialista em propulsão sólida na hipótese de se empregar motores operacionais. A engenharia de sistemas se incumbirá do uso dos parâmetros dos motores no projeto. Caso haja desenvolvimento de um motor sólido, as tarefas de engenharia poderão ser feitas por especialistas aposentados, havendo dois em São José dos Campos.

Para atuadores de controle por sistema de propulsão auxiliar a gás frio, existem especialistas na área de São José dos Campos. Caso seja necessário sistema de propulsão auxiliar a base de monopropelente líquido, existe especialista oriundo do INPE e a empresa FIBRAFORTE que poderão suprir a necessidade de recurso humano de engenharia.

Disponibilidade do recurso: Existe recurso humano na área de São José dos Campos para propulsão sólida. Para atuadores de controle por sistemas de propulsão auxiliar, existem especialistas e empresas em São José dos Campos.

Cargas estruturais

Haverá a necessidade de **um especialista** em cargas estruturais nas **fases de projeto preliminar e de projeto detalhado**. A definição das cargas estruturais poderá ser contratada no IAE, ou feita por especialista externo, havendo dois: um em São José dos Campos e outro no Sul do país.

Disponibilidade do recurso: Existe especialista no País. Alternativa: buscar cooperação com o IAE para esta especialidade.

Cargas térmicas

Haverá necessidade de um especialista nas fases de projeto preliminar e de projeto detalhado.

A definição de cargas térmicas poderá ser realizada por um especialista ou contratado um escritório de engenharia, ambos existentes na área de São José dos Campos ou no IAE.

Disponibilidade do recurso: Existe escritório de engenharia em São José dos Campos com a capacidade de gerar as cargas térmicas. Alternativa: buscar cooperação com o IAE para essa especialidade.

Análise estrutural

Haverá necessidade de um especialista na fase de projeto preliminar e de dois especialistas na fase de projeto detalhado.

Existem especialistas em São José dos Campos tanto para análise estrutural estática quanto dinâmica. Esta atividade pode realizada no IAE ou contratando especialistas ou escritórios de engenharia existentes em São José dos Campos.

Disponibilidade do recurso: Existem especialistas e também escritórios de engenharia em São José dos Campos, como, por exemplo, a CEMEF.

Análise térmica

Haverá necessidade de um especialista na fase de projeto preliminar e de um especialista na fase de projeto detalhado.

Existe um especialista em São José dos Campos para análise térmica, que pode também realizar o estudo das cargas térmicas.

Disponibilidade do recurso: Existe um especialista em São José dos Campos.

Controle e guiamento

Haverá necessidade de um especialista em todas as fases do Projeto.

Para esta atividade poderá ser contratado um especialista em São José dos Campos, ou no IAE. Sabendo que o DLR/MORABA emprega este recurso em seus experimentos, é possível obter a tecnologia por meio de especialista que trabalhou neste instituto e hoje encontra-se aposentado, ou através de uma parceria formal com o DLR/MORABA.

Disponibilidade do recurso: recomenda-se contratar especialista aposentado do DLR/MORABA ou fazer parceria com o DLR/MORABA. A contratação de especialista ou empresa em São José dos Campos é também possível, porém a realização do trabalho levará mais tempo.

Nota: As condições previstas para realizar o controle de atitude no microlançador ainda não foram realizadas no País. A contratação de um especialista aposentado do DLR/MORABA é recomendada, pois são conhecidos os trabalhos realizados pelo especialista nos algoritmos de controle utilizados nos projetos de foguetes de sondagem realizados em cooperação com o IAE.

Dinâmica de voo

Haverá necessidade de um especialista em todas as fases do projeto.

Para o microlançador, sem requisitos de precisão rigorosos, a atividade se constitui no projeto de uma trajetória para o cumprimento da missão de satelitização, geração das zonas de impacto para a segurança, análise da missão nominal e das dispersões, visibilidade das estações de rastreamento e dinâmica das separações de estágios e coifa. Há um especialista residente em fora do estado de São Paulo. O programa de cálculo de trajetória com seis graus de liberdade é de propriedade do IAE. Será necessário solicitar licença de uso.

Para lançador com requisitos de precisão, seriam necessários estudos de dinâmica de separação e de voo sujeito a perturbações. Será necessário formar pessoas nesta área.

Nota: existe a possibilidade de um único especialista em *flight dynamics and control* com capacidade de realizar as atividades abrangendo a Dinâmica de Voo e o Controle e Guiamento. Não existe este especialista para as duas funções no País, porém pode ser buscado no exterior, se esta opção for a mais vantajosa para o projeto. A opção de

realizar as tarefas separadas por especialistas diferentes continua sendo a disponível atualmente.

Disponibilidade do recurso: Existe recurso humano no País para a trajetografia. Alternativa: buscar cooperação com o IAE para esta especialidade. Para a revisão dos estudos de trajetografia, segurança, visibilidade das estações e da dinâmica de corpos sob perturbações, recomenda-se também parceria com o DLR/MORABA na PDR ou CDR.

Projeto mecânico

Haverá necessidade de um engenheiro e de um projetista mecânico na fase de projeto preliminar e de um engenheiro e de dois projetistas mecânicos na fase de projeto detalhado.

Há engenheiros e projetistas experientes em projetos mecânicos, assim como escritórios de engenharia, em São José dos Campos.

Disponibilidade do recurso: Existem recursos humanos em São José dos Campos, tanto de engenheiros como projetistas experientes para esta tarefa.

Projeto elétrico

Haverá necessidade de uma equipe de **cinco engenheiros eletrônicos** experientes para **as fases de projeto preliminar e de projeto detalhado** para os sistemas elétricos de bordo.

A atividade envolve o projeto dos sistemas elétricos do veículo divididos em rede de segurança, rede de serviço (suprimento de energia, telemetria e controle) e de integração das redes elétricas. Há engenheiros eletrônicos experientes e aposentados em São José dos Campos para estas especialidades.

Além destes engenheiros, serão necessários dois projetistas de integração das redes elétricas para as fases de projeto detalhado e de fabricação e ensaios.

Embora a primeira opção em relação aos equipamentos elétrico/eletrônicos seja a de adquirir os existentes no mercado, haverá também a necessidade de desenvolvimento de equipamentos. Neste caso, a equipe precisará ser complementada com profissionais experientes em projetos de equipamentos eletroeletrônicos e a quantidade dependerá do número de equipamentos a serem desenvolvidos. A avaliação dos equipamentos a serem desenvolvidos deverá ser feita na fase de projeto preliminar.

Disponibilidade do recurso: Existe recurso humano na área de São José dos Campos tanto para o nível sistema (redes elétricas) como para o projeto de equipamentos.

Software aplicativo de bordo

Será necessário um profissional experiente nas fases de projeto detalhado e do primeiro lançamento.

Trata-se de elaborar um software para operar no computador de missão do microlançador com funções de controle e guiamento, comando de eventos em voo, recebimento e envio de dados para a telemetria e interfaces com os sistemas de solo.

Existe um especialista aposentado na área de São José dos Campos para o software aplicativo de bordo.

Disponibilidade do recurso: Existe recurso humano na área de São José dos Campos para a realização do software aplicativo de bordo.

Pirotecnia

Será necessário um especialista nas fases de projeto preliminar, projeto detalhado e de fabricação e ensaios.

A atividade consiste em especificar os componentes e dispositivos pirotécnicos para as funções de serviço e de segurança do veículo, tendo, portanto, interface com as redes elétricas de serviço e de segurança do veículo. Um engenheiro experiente é suficiente para as fases de projeto e para realizar interface com as empresas fornecedoras na **fase de fabricação e ensaios**. Alguns componentes e dispositivos pirotécnicos deverão ser importados, por exemplo, as válvulas pirotécnicas. Existem profissionais recém-aposentados na área de São José dos Campos.

Disponibilidade do recurso: Existe recurso humano em pirotecnia na área de São José dos Campos. Existem também empresas que fabricam alguns dos componentes no país (RJC em Lorena).

Meios mecânicos de solo (MGSE)

Serão necessários dois projetistas mecânicos durante as fases de projeto detalhado e de fabricação e ensaios.

Os meios mecânicos de solo são equipamentos de solo de suporte à montagem, manuseio, transporte ou integração mecânica de subsistemas ou do veículo.

Disponibilidade do recurso: existem recursos humanos para este projeto, assim como diversas empresas de projeto na área de São José dos Campos.

Meios elétricos de solo (EGSE)

Serão necessários um engenheiro e um projetista elétrico durante as fases de projeto detalhado e de fabricação e ensaios.

Os meios elétricos de solo são equipamentos de solo de suporte à montagem, testes de equipamentos ou integração elétrica de módulos do veículo.

Nota: o banco de controle, equipamento utilizado para testes, suprimento de energia, ativações e sequência automática de eventos na fase pré-lançamento do veículo, não está incluído nestes meios elétricos de solo. Os recursos humanos necessários para este sistema estão detalhados no tópico “Integração do veículo e operação de lançamento”.

Disponibilidade do recurso: existem recursos humanos e empresas capacitadas para projetos de EGSE na área de São José dos Campos.

Fabricação

Os recursos humanos nas áreas de fabricação mecânica, elétrica, química e pirotécnica existem no IAE e nas empresas. A decisão de qual deve ser contratado ocorrerá caso a caso, em função da competência, presteza e preço. A contratação das tarefas de fabricação ocorrerá na **fase de fabricação e ensaios**.

Fabricações mecânicas

Nas fabricações mecânicas existem duas áreas relevantes a destacar: fabricações de partes metálicas e de partes em materiais compósitos.

Envelopes motores metálicos:

Conforme já destacado, a fabricação dos envelopes metálicos em aço de ultra alta resistência 300M utilizados nos motores do VLS-1 representa um problema a ser solucionado devido à indisponibilidade de fornos de tratamento térmico.

O IAE iniciou o desenvolvimento de envelopes em aço *maraging*, mas até o momento nenhum envelope de 1m de diâmetro foi feito com este material. Foi finalizado o processo de soldagem e desenvolvidas as técnicas de reparo de solda. Quanto à matéria prima, a indústria nacional produz o aço, mas em dimensões insuficientes para tal envelope. Foram identificados fornecedores tanto das chapas, quanto dos forjados, na Suíça, mas não houve ainda a importação dos forjados, que são a matéria prima para as extremidades do envelope motor. Todo o trabalho de conclusão desta qualificação poderá ser feita externamente ao IAE, se necessário.

Serão necessários um engenheiro mecânico e um técnico mecânico para a retomada do desenvolvimento do *maraging*, o mais breve possível. A necessidade se prolonga durante as fases de projeto detalhado e de fabricação.

Disponibilidade do recurso: As pessoas que estavam conduzindo o desenvolvimento do envelope motor em *maraging* ainda estão na área de São José dos Campos para as tarefas de fabricação. A fabricação em si (laminação, calandragem, soldagem, tratamento térmico e usinagem) pode ser realizada pelo parque industrial existente no país, não havendo preocupação específica quanto aos recursos humanos para essa fabricação.

Nota: Existe a alternativa do desenvolvimento do envelope motor em material compósito. Porém, o dado que temos é que falta muito pouco para se concluir o desenvolvimento do *maraging*, desta forma recomenda-se seguir nessa linha do envelope metálico para o microlançador, sem, contudo, descartar o desenvolvimento de um motor em material compósito para uma evolução do desempenho e da redução de custos e prazos de produção do microlançador, numa eventual fase operacional.

Envelopes motores em material compósito:

O IAE, em seus programas de foguetes de sondagem e VLS-1, desenvolveu alguns motores em material compósito. São exemplos desses motores: o S44, utilizado no quarto estágio do VLS-1 e segundo estágio do VS-40, o S33, desenvolvido para o Sonda IIIA e para o VLM e o S24, desenvolvido para o segundo estágio de uma das versões do Sonda III. Todos os envelopes motores passaram a ser fabricados pela empresa CENIC de São José dos Campos, uma empresa estratégica, que ainda detém a capacidade de produzir estes envelopes motores.

Disponibilidade do recurso: Os recursos humanos necessários à fabricação dos envelopes motores em material compósito podem ser fornecidos pela CENIC. Alternativa: a AVIBRAS, que está atualmente desenvolvendo o envelope motor do S50 para o veículo VLM-1 e que busca verticalizar toda a produção do motor.

Tubeiras

As tubeiras são um caso particular de materiais compósitos que devem operar em altas temperaturas e em condição severa de ablação pelo fluxo dos gases de combustão dos motores. O IAE desenvolveu as tubeiras de todos os motores e atualmente todas elas são fabricadas pela empresa CENIC de São José dos Campos. O material carbono-carbono (C-C) também utilizado nas tubeiras não é produzido no país, devendo ser importado para utilização nas tubeiras.

Disponibilidade do recurso: Os recursos humanos necessários à fabricação das tubeiras em material compósito podem ser fornecidos pela CENIC. Alternativa: a AVIBRAS que está atualmente desenvolvendo o motor S50.

Ignitores

Os ignitores dos motores sólidos são hoje produzidos pelo IAE. O IAE subcontrata os elementos metálicos e os elastômeros de proteção térmica na indústria local. A produção da carga ativa e a integração dos ignitores são realizadas pelo IAE.

Por ser um produto com especificidades na sua produção, não encontradas na indústria, recomenda-se manter a sua produção no IAE.

Disponibilidade do recurso: Os recursos humanos necessários à fabricação dos ignitores devem ser fornecidos pelo IAE.

Estruturas metálicas

As estruturas de ligação interestádios, porta empenas e empenas são, em geral, fabricadas em ligas leves como as do alumínio ou em material composto. Por tradição o IAE tem realizado estas estruturas em liga de alumínio. Não há dificuldade para suprir, no parque industrial do país, os recursos humanos necessários à fabricação dessas estruturas metálicas.

Disponibilidade do recurso: A fabricação das estruturas metálicas pode ser realizada pelo parque industrial existente no país, não havendo preocupação específica quanto aos recursos humanos para essa fabricação.

Estruturas em materiais compósitos

Em se tratando de um microlançador, é mandatória a otimização de massas em todas as partes do veículo e, em especial, em seus estágios superiores. Desta forma, muitas estruturas aplicadas ao último estágio deverão ser fabricadas em material compósito, seja na forma bobinada, laminada ou sanduíche. Atualmente existem várias empresas no país com a capacidade de fabricar essas estruturas. Muitas dessas empresas são fornecedoras da Embraer.

Disponibilidade do recurso: A fabricação das estruturas em materiais compósitos pode ser realizada pelo parque industrial existente no país, não havendo preocupação específica quanto aos recursos humanos para essa fabricação.

Fabricações elétricas e eletrônicas

Entende-se por fabricações elétricas aquelas relativas aos equipamentos da rede elétrica embarcada e aos cabeamentos de interligação elétrica entre esses equipamentos e entre os módulos do veículo. Para os equipamentos eletro/eletrônicos do microlançador, deve ser adotada com mais ênfase a política de reuso dos desenvolvimentos já realizados em outros programas nacionais e os equipamentos comerciais existentes no mercado internacional (COTS), especialmente os produzidos para os nanossatélites e drones comerciais. A razão disso é que o desenvolvimento desses equipamentos costuma ser complexo, caro e demorado. No entanto, é sabido que para alguns tipos de equipamentos, como baterias e condicionadores de potência, nem sempre o reuso e os equipamentos encontrados no mercado se adequam à necessidade do projeto. Nestes casos, haverá a necessidade de se desenvolver tais equipamentos, necessitando de mão de obra para a fabricação. Uma vez definido o projeto, existem empresas no país, como a MICROPRESS e LAUQUEN, que podem fabricar placas Placas de circuitos impressos *PCBs*. A alternativa mais barata é produzir e até mesmo montar na China. Em relação aos componentes eletrônicos, para redução de custos, os componentes da linha automotiva devem ser a regra de aplicação, deixando-se os componentes de qualificação superior somente nos casos em que a linha automotiva não é adequada. Para baterias, existem especialistas na região de São José dos Campos que podem realizar as montagens, para isso as células devem ser adquiridas no mercado externo.

Para os cabeamentos elétricos, existem empresas na região de São José dos Campos capacitadas a realizar a sua fabricação. Muitas dessas empresas são fornecedoras da Embraer.

Disponibilidade do recurso: A fabricação dos equipamentos, quando inevitável, poderá ser realizada pelo parque industrial existente no país, não havendo preocupação específica quanto aos recursos humanos para essa fabricação. Pelo fator custo, fabricantes na China poderão ser uma alternativa.

Fabricações químicas

As fabricações químicas abrangem a produção do propelente sólido, do *liner* e inibições para o propelente e dos elastômeros para proteções térmicas dos motores a propelente sólido.

Os problemas relativos aos insumos para a produção do propelente sólido já foi abordado anteriormente, acreditando-se que a empresa AVIBRAS estará capacitada a fabricar os insumos mais críticos e a produzir o propelente e também o *liner*. Em relação aos elastômeros para as proteções térmicas, a empresa CENIC poderá fabricar esse insumo.

Disponibilidade do recurso: A fabricação do propelente, *liners* e as proteções térmicas para os motores sólidos poderá ser realizada pelo parque industrial existente no país, não havendo preocupação específica quanto aos recursos humanos para essa fabricação.

Fabricações pirotécnicas

A complexidade da pirotecnia de foguetes deve ser decidida no início do projeto, quanto ao nível de segurança a ser aplicado. Para fins deste documento, serão discutidos três modos de segurança, e suas implicações.

Segurança elétrica

Quando a segurança operacional, relativa aos eletro-pirotécnicos, se faz sobre barreiras à corrente elétrica que os alimenta, o número de itens pirotécnicos é menor, e a complexidade do sistema elétrico aumenta. Neste caso, os itens pirotécnicos podem ser obtidos na empresa RJC, situada em Lorena, SP. Esta solução impõe procedimento operacional específico, no qual a instalação dos eletro-pirotécnicos seja a última operação presencial no veículo, com apenas técnicos de pirotecnia.

Segurança eletromecânica nos ignitores

Neste caso, os ignitores dos motores principais são equipados com um dispositivo de segurança, acionado manualmente ou remotamente. Outros dispositivos que utilizam eletro-pirotécnicos permanecem com segurança elétrica. O IAE desenvolveu ignitores dotados dessa segurança. Sua produção deve ser solicitada ao Instituto. Esta solução pode requerer procedimento operacional específico, dependendo da periculosidade, para o operador, da iniciação intempestiva de cada dispositivo protegido por segurança elétrica.

Rede pirotécnica

Neste caso, são usados dispositivos mecânicos de segurança (DMS) nos vários eventos pirotécnicos do veículo e na interface entre o detonador eletro-pirotécnico e o DMS utiliza-se os transmissores da detonação denominados estopins detonantes confinados flexíveis (EDC-F). Esta concepção permite realizar vários eventos pirotécnicos com uma única iniciação elétrica. Esse conceito foi aplicado na íntegra no VLS-1, após o acidente de 2003. Tanto os DMS dos ignitores e dos sistemas de separação, como os EDC-F, foram importados naquele projeto.

As fabricações pirotécnicas dizem respeito à produção dos itens pirotécnicos e à montagem dos sistemas pirotécnicos nos módulos do veículo. Com relação aos itens pirotécnicos os seguintes componentes utilizados no VLS-1 têm maior probabilidade de utilização no microlançador: detonadores eletro-pirotécnicos, dispositivos mecânicos de

segurança, cargas ocas lineares e retardos químicos. No microlançador prevê-se utilizar sistemas simples, porém sem comprometer a segurança. Assim, serão utilizados sistemas isolados para cada uma das ignições, separações e destruições dos estágios, sem a utilização das chamadas redes pirotécnicas. Para estas funções serão imprescindíveis os detonadores eletro-pirotécnicos, os dispositivos mecânicos de segurança e as cargas ocas de destruição.

Disponibilidade do recurso: A indústria local está capacitada a fornecer os componentes pirotécnicos necessários, sejam eles produzidos no país ou importados. Não há preocupação específica com relação aos recursos humanos para a fabricação dos itens dos sistemas pirotécnicos.

Ensaaios

Os recursos humanos relativos aos vários tipos de ensaios são comentados a seguir.

Queima de motor em ponto fixo

Embora se pretenda utilizar motores a propelente sólido já operacionais, deve-se prever alguns ensaios de motores em ponto fixo, seja por longa inatividade na produção ou modificação de motores existentes, seja por necessidade de novo desenvolvimento. Tanto o IAE como a AVIBRAS dispõem de técnicos especializados para este tipo de ensaio.

Disponibilidade do recurso: contratar o IAE ou AVIBRAS para a realização de ensaios funcionais de motores a propelente sólido em ponto fixo.

Ensaaios estruturais estáticos

Ensaaios hidrostáticos nos envelopes motores devem ser realizados em todas as unidades fabricadas. Outros tipos de ensaios estruturais estáticos não estão previstos, mas podem ser eventualmente necessários. Tanto o IAE como a AVIBRAS dispõem de técnicos especializados na área de ensaios estruturais. A CENIC também pode realizar ensaios hidrostáticos de envelopes motores em material compósito.

Disponibilidade do recurso: contratar o IAE, CENIC ou AVIBRAS para a realização de ensaios estruturais hidrostáticos. Outros tipos de ensaios estruturais estáticos: contratar o IAE.

Ensaaios estruturais dinâmicos

Os ensaios estruturais dinâmicos englobam a qualificação estrutural em ambiente de vibração, bem como a obtenção de modos e frequências naturais de vibração do veículo e seus módulos. No caso do microlançador, não se prevê a necessidade do levantamento

de frequências naturais por ensaio. Se necessário, estes dados poderão ser obtidos por cálculo. Os módulos do microlançador que apresentam modificações e novidades em relação aos qualificados nos veículos de sondagem e VLS-1 deverão passar por ensaios de qualificação estrutural dinâmico. Nos módulos onde existam equipamentos elétricos ou sistemas mecânicos, ensaios ambientais de vibração devem ser realizados. Nesse caso, para redução de custos e prazos, deve-se avaliar se é possível realizar apenas o ensaio de qualificação ambiental de vibração, suprimindo-se o ensaio de qualificação estrutural desses módulos. O IAE, INPE e outras instituições de pesquisa e desenvolvimento dispõem de equipes necessárias à realização destes ensaios. Porte dos equipamentos de ensaio, disponibilidade, qualidade e preços desses órgãos para a realização dos ensaios devem ser considerados no critério a ser adotado para a escolha do executor.

Disponibilidade do recurso: contratar o IAE ou INPE para a realização de ensaios estruturais dinâmicos em módulos do veículo. Ensaios no nível de equipamentos: além do IAE ou INPE, existem outras instituições de pesquisa e desenvolvimento no País que podem realizar esses ensaios, por exemplo, o Centro de Pesquisas da Eletrobrás (CEPEL), já utilizado pelo IAE no passado.

Ensaios ambientais

Ensaios ambientais de qualificação poderão ser necessários, tais como vibração, ensaios térmicos, termo vácuo, EMI-EMC, umidade, acústicos, etc.. O IAE e o INPE dispõem dos recursos humanos necessários para a realização desses ensaios.

Disponibilidade do recurso: contratar o IAE ou INPE para a realização de ensaios ambientais no nível dos equipamentos ou em módulos do veículo. Além destes institutos de pesquisa, a empresa DELPHI, do ramo automobilístico, na região de São José dos Campos possui alguns equipamentos para ensaios ambientais.

Ensaios funcionais de separação

Os ensaios funcionais de separação dizem respeito à verificação em solo das separações de estágios, do satélite e da coifa ejetável. As separações de estágios já qualificadas pelo IAE em seus programas de foguetes de sondagem e do VLS-1, não serão novamente realizadas. No entanto, para as separações ainda não realizadas como a da coifa ejetável do microlançador, provavelmente haverá a necessidade de uma qualificação em solo do sistema. O IAE dispõe dos recursos humanos necessários à realização desses ensaios.

Disponibilidade do recurso: contratar o IAE para realizar ensaios funcionais de separação de módulos do veículo.

Ensaaios funcionais do sistema elétrico

Existem técnicos aposentados experientes para a realização desses ensaios. O IAE também dispõe dos recursos humanos, além de instalações e equipamentos, para estes ensaios.

Disponibilidade do recurso: contratar técnicos aposentados para a realização dos ensaios funcionais dos equipamentos e sistemas elétricos. Este recurso poderá ser complementado por técnicos do IAE para realizar ensaios funcionais.

Ensaaios funcionais pirotécnicos

O IAE dispõe das instalações e dos recursos humanos necessários para realizar ensaios funcionais de componentes e sistemas pirotécnicos. A empresa RJC, em Lorena, SP, pode também abrigar estes ensaios.

Disponibilidade do recurso: contratar o IAE ou a empresa RJC para realizar ensaios funcionais pirotécnicos.

Ensaaios de simulação híbrida

Os ensaios de simulação híbrida, também conhecidos como *Hardware-in-the-Loop Simulation* (HILS), são ensaios que permitem avaliar o sistema de controle do veículo. Neste ensaio os elementos sensores serão posicionados em uma mesa 3 eixos que simula a dinâmica do veículo em torno dos seus eixos a cada comando fornecido pelo computador de missão para os atuadores de controle. O HILS permite testar e validar o software de controle juntamente com todos os elementos de hardware de voo do sistema de controle.

O IAE dispõe das instalações e dos recursos humanos necessários para realizar ensaios de simulação híbrida.

Disponibilidade do recurso: contratar o IAE para realizar ensaios funcionais de simulação híbrida.

Integração do veículo e operação de lançamento

A integração do veículo envolve os técnicos das várias áreas de engenharia, montagem e ensaios já mencionadas.

A operação de lançamento deverá envolver a menor equipe possível e ter uma curta duração. Para tanto, o veículo deverá ser transportado para o campo de lançamento no

máximo nível de integração de seus módulos. Se possível, deverá ser transportado o veículo integralmente montado, a menos dos pirotécnicos.

A equipe de lançamento deverá ser formada pelos seguintes especialistas: um chefe de missão, um engenheiro de sistemas do veículo; dois técnicos em integração mecânica; um técnico para telemetria, suprimento de energia e terminação de voo; um engenheiro do sistema elétrico em geral e responsável pelo banco de controle; um técnico de pirotecnia; dois engenheiros em segurança de voo e trajetografia. A equipe será complementada por técnicos do campo de lançamento. Técnicos do IAE ou de empresas fornecedoras de subsistemas poderão ser contratados para suprir imprevistos, exemplos: RJC para pirotecnia, COMPSIS para sistemas de solo, EQE e ORBITAL para integração de sistemas em São José dos Campos.

De preferência, a carga útil deverá ser integrada ao veículo antes do deslocamento para o campo de lançamento.

Disponibilidade do recurso: os recursos humanos necessários à integração e operação de lançamento serão escolhidos entre os recursos humanos já utilizados nas **fases de projeto** e de **fabricação e ensaios**.

Meios e materiais de fabricação

Os vários meios de fabricação, necessários à produção do veículo completo, são apresentados a seguir. São também aqui abordados a situação dos materiais e os insumos necessários à fabricação.

Fabricação mecânica

Todos os meios de fabricação mecânica a serem empregados no lançador, estão disponíveis no País, a menos daqueles relativos aos envelopes motores metálicos do S43 e S40.

Alternativamente, pode ser desenvolvido um envelope motor em fibra de carbono, no País. No entanto, haveria algumas modificações no bloco de propelente e a fibra de carbono a ser usada não seria de alto desempenho, por limitações de importação.

Disponibilidade do recurso: para o envelope motor em aço *maraging*, a dificuldade maior é a aquisição das chapas e dos embutidos (insumo). No que diz respeito aos meios de fabricação, a indústria nacional está preparada para suprir as necessidades. Na alternativa dos envelopes motores em material compósito, a restrição é o processo longo de um novo desenvolvimento, não havendo problemas em relação aos meios de fabricação. Em relação aos insumos, se for aceitável a solução de uso de fibras nacionais de menor resistência que as importadas, não haverá problemas.

Fabricação eletrônica

Os meios de fabricação de equipamentos eletrônicos estão disponíveis no Brasil. Limitações existem no nível dos insumos materiais, como os componentes eletrônicos e equipamentos, como se segue.

Componentes eletrônicos: idealmente serão usados componentes da classe automotiva, a serem importados. Componentes de qualificação MIL, sob controle dos Regulamentos de Tráfego Internacional de Armas (*International Traffic in Arms Regulations* - ITAR), ou espacial poderão, eventualmente, ser necessários. Nessa situação deverá ser investigada, caso a caso, qual a melhor solução para o problema.

Equipamentos:

- receptor de telecomando: não há no país. Deve-se investigar a disponibilidade de se adquirir este no mercado internacional. Possivelmente na Alemanha, o Brasil tenha acesso ao equipamento. Alternativamente, o equipamento poderá ser desenvolvido no país.
- Equipamentos de telemetria: O equipamento deverá ser pesquisado no mercado internacional. Com o advento dos nanossatélites é possível que exista equipamentos de telemetria para os CubeSats que possam ser utilizados também para lançadores.
- Cabeamentos: deverão ser utilizados fios da classe automotiva, produzidos no país;
- Conectores umbilicais especiais: estes conectores estão disponíveis no mercado mundial; e
- Conectores internos: deverão ser utilizados conectores da classe automotiva.
- Placas de circuitos impressos (PCBs): podem ser encomendados no mercado nacional ou no internacional. Montagens dos PCBs: podem ser encomendados no mercado nacional ou no internacional. Os fatores custo e prazo serão determinantes para a escolha do fornecedor.

Disponibilidade do recurso: Não há problemas em relação aos meios de fabricação. A dificuldade poderá estar no nível de alguns componentes e de equipamentos, por exemplo, se forem necessários componentes ou equipamentos sob controle ITAR.

Fabricação química

Os principais itens de fabricação química são aplicados à produção do propelente sólido dos vários motores principais e auxiliares. Os itens dos motores são listados a seguir.

Propelente

Quanto aos insumos:

O propelente sólido é constituído de três elementos principais: resina polibutadieno-hidroxilada; perclorato de amônio com diferentes granulações; e alumínio em pó. A resina era produzida pela Petroflex, na refinaria de Duque de Caxias (REDUC), na região metropolitana do Rio de Janeiro. A fábrica foi fechada, e a produção de propelente foi comprometida, com exceção dos motores S30 e S31 utilizados no foguete de sondagem VSB-30, para os quais a resina é comprada pelo DLR/MORABA, para atender aos voos europeus. Há países que estão desenvolvendo motores com resina polibutadieno comercial, o que resulta em motores de menor desempenho propulsivo. A AVIBRAS obteve financiamento recentemente para reproduzir a fábrica de resina da Petroflex, e contratou os serviços de pessoal técnico experiente nesta produção. Admite-se que em, no mínimo, dois anos a nova fábrica comece a operar. A fábrica de perclorato de amônio do DCTA está fechada, e necessita ser colocada em operação para possibilitar nova produção de propelente. O alumínio em pó é produzido pela empresa ALCOA, e está disponível no mercado. Como é pequena a demanda para uso em foguetes, o produto não é comprado diretamente do produtor, e sim no comércio metalúrgico, a preços mais altos.

Quanto aos meios de fabricação:

A infraestrutura de carregamento dos envelopes motores com o propelente está na UCA, sob a administração do DCTA. A usina está operacional, e tem pessoal para efetuar os carregamentos. A manutenção dos equipamentos tem sido difícil, em consequência dos entraves administrativos dos órgãos públicos. Portanto, o uso da usina, por entidade externa, está sujeito a encargo, por parte do contratante, nos reparos necessários.

Disponibilidade do recurso: Em vista das dificuldades cada vez maiores na produção do propelente e carregamento dos motores pelo DCTA, deve-se optar para contratar AVIBRAS para esta tarefa, pois além de poder prover os insumos para os seus foguetes, deverá ter os meios de fabricação para atender o carregamento do S50. Assim, deve-se utilizar a solução adotada pela AVIBRAS para os insumos e meios de fabricação.

Proteções térmicas flexíveis e lençol de borracha

A última produção da borracha, usada em proteções térmicas flexíveis e lençóis de borracha, foi realizada na empresa NEWBOR, em Mairiporã, SP. Sua aplicação a motores foi feita em uma autoclave do DCTA, instalada em comodato na CENIC, em São José dos Campos. A pessoa que detém o saber de todo o processo está aposentada e disponível para orientar novas produções. Por outro lado, a AVIBRAS recebeu contrato de produção dos novos motores S50, maiores que os motores S43. A empresa deverá estar preparada para produzir o envelope motor bobinado com as proteções térmicas.

Disponibilidade do recurso: utilizar os recursos das empresas NEWBOR e CENIC para produzir o material e realizar a aplicação da proteção térmica flexível nos motores.

Proteções térmicas rígidas

A produção deste item, bem como itens afins aplicados em outras seções do foguete, tem sido feita pela empresa PLASTFLOW, na região metropolitana de Curitiba, PR.

Disponibilidade do recurso: não se verifica no presente dificuldade em continuar sendo produzida pela PLASTFLOW, que provê os insumos e tem os meios de fabricação das proteções térmicas rígidas.

Fabricação pirotécnica

A fabricação e montagem relativos aos pirotécnicos devem ser deixados a cargo de empresa especializada neste tipo de sistema.

Disponibilidade do recurso: a empresa RJC deve ser contratada para fornecer os componentes pirotécnicos sejam eles nacionais ou importados.

Meios de ensaios

Os vários meios de ensaio do veículo e seus subsistemas são apresentados a seguir. Salienta-se que o DCTA dispõe de todas as instalações necessárias aos ensaios de desenvolvimento de um microlançador de satélites, mesmo que utilize um motor líquido com empuxo de até 20 kN. No entanto, a manutenção das instalações e seus equipamentos pode não estar efetiva, o que requereria ação do projeto em pauta para superar as eventuais deficiências. Os serviços do IAE são passíveis de contratação, com necessidade de eventuais complementações externas de mão de obra.

Queima de motor em ponto fixo

Existem dois bancos de prova: um no IAE, usado para pequenos motores; e outro na UCA, que pode ser usado para motores com empuxo de até 600 kN. Essas instalações serão utilizadas nas seguintes situações: se houver algum desenvolvimento de motor, se houver modificação de algum motor existente ou se houver dúvidas quanto ao processo de fabricação por longo período de inatividade na produção de motores (requalificação de processo).

Disponibilidade do recurso: utilizar os meios de ensaios de motores em ponto fixo do IAE.

Ensaiois estruturais estáticos

Se enquadram nesta categoria os ensaios hidrostáticos de envelopes motores e ensaios simuladores de cargas estruturais estáticas e quase estáticas devidas ao transporte, integração do veículo e ao voo. O IAE dispõe das instalações e dos equipamentos necessários.

Disponibilidade do recurso: utilizar os meios de ensaios estruturais estáticos do IAE.

Ensaiois estruturais dinâmicos

Estes ensaios permitem a obtenção das frequências e modos naturais de vibração do veículo e de seus módulos equipados. Outro aspecto é o ensaio de qualificação estrutural em ambiente de vibração.

O IAE dispõe das instalações e dos equipamentos necessários para a obtenção de frequências e modos, se for necessário.

Disponibilidade do recurso: utilizar os meios de ensaios estruturais dinâmicos do IAE para obtenção de frequências e módulos.

Ensaiois ambientais

Os ensaios ambientais submetem subsistemas e equipamentos aos ambientes encontrados nas fases de transporte, integração e lançamento. Os ambientes simulados envolvem temperatura, vácuo e vibração, EMC-EMI, acústico, umidade, etc., simultaneamente ou não.

O IAE, o INPE e outras instituições de pesquisa e desenvolvimento dispõem das instalações e dos equipamentos necessários.

Disponibilidade do recurso: utilizar os meios de ensaios ambientais do IAE para vibração. Para outros tipos de ensaios ambientais, utilizar os meios de ensaios do INPE ou das outras instituições.

Ensaiois funcionais de separação

Caso sejam desenvolvidos novos sistemas de separação, suas funcionalidades devem ser comprovadas por meio de ensaios que simulem as condições daquelas separações.

O IAE dispõe das instalações e dos equipamentos necessários.

Disponibilidade do recurso: utilizar os meios de ensaio do IAE para os ensaios funcionais de separação.

Ensaio funcionais do sistema elétrico

Os ensaios funcionais do sistema elétrico abrangem larga faixa de aplicação, se iniciando em equipamentos, prosseguindo nos subsistemas, e indo até o sistema completo.

O IAE dispõe das instalações e dos equipamentos necessários.

Disponibilidade do recurso: utilizar os meios de ensaio do IAE para os ensaios funcionais elétricos tanto de equipamentos como de sistemas elétricos completos.

Ensaio funcionais pirotécnicos

Os ensaios funcionais pirotécnicos se aplicam dentro dos ensaios funcionais já comentados.

O IAE e a RJC dispõem das instalações e dos equipamentos necessários.

Disponibilidade do recurso: utilizar os meios de ensaio do IAE ou da RJC para os ensaios funcionais de componentes ou sistemas pirotécnicos.

Ensaio de simulação híbrida

O IAE dispõe das instalações e equipamentos necessários aos ensaios de simulação.

Disponibilidade do recurso: utilizar os meios de ensaio do IAE para os ensaios de simulação híbrida do sistema de controle do veículo.

Meios de integração

Os meios de integração mecânicos e elétricos são aplicados nos vários ensaios já mencionados. Há ainda as operações de integração e teste relativas às operações de lançamento.

O IAE dispõe das instalações e materiais necessários. Eventualmente, poderão ser necessários novos equipamentos para manuseio de módulos não existentes nos projetos anteriores do IAE.

Disponibilidade do recurso: utilizar os meios de integração do IAE para os diversos ensaios.

Meios de lançamento

O lançamento do microlançador deve ser realizado a partir do Centro de Lançamento de Alcântara (CLA), devido à sua localização geográfica favorável tanto para órbitas de baixa inclinação como para órbitas polares.

Transporte

O transporte do veículo e dos equipamentos de apoio tem sido efetuado pela FAB. Este serviço pode continuar a ser contratado junto à FAB. Alternativamente, é possível o transporte por terra e por mar.

Disponibilidade do recurso: contratar os meios de transporte da FAB (Força Aérea Brasileira) para os deslocamentos de equipamentos e módulos do veículo até o CLA. É o meio de transporte mais rápido disponível.

Montagens, pré-integração e transporte no campo de lançamento

Grande parte das montagens e integrações deverá ser realizada antes do deslocamento até o CLA. No entanto, haverá a necessidade de uma instalação no CLA de apoio a estas operações antes do deslocamento até o ponto de lançamento.

O CLA possui instalações e equipamentos para o apoio às montagens, pré-integrações e transporte do veículo.

Disponibilidade do recurso: contratar as instalações e equipamentos do CLA para as montagens, pré-integrações e transporte do veículo.

Plataforma de lançamento/lançador

Dado o tamanho do microlançador estima-se que não haverá a necessidade de uma plataforma dotada de torre de integração, mesa de lançamento e torre de umbilicais a exemplo do que existe para o VLS-1. Estima-se que um lançador do tipo universal para foguetes de sondagem, reforçada para um peso maior do que os dos veículos de sondagem construídos até o hoje no País, seja suficiente para o veículo em questão. O lançador universal utilizado para o foguete de sondagem VS-40 existente no CLA deverá ser a primeira alternativa a ser analisada para adaptação ao microlançador. No APÊNDICE B

Principais campos de lançamento são apresentadas as principais base de lançamento em operação ao redor do mundo.

Disponibilidade do recurso: existem empresas com condições para executar o projeto e modificação do lançador universal existente.

Banco de controle

O banco de controle é o sistema utilizado para testes pré-lançamento e lançamento do veículo. Ele tem sido da responsabilidade do IAE, que contrata seu projeto e construção nas empresas nacionais. No caso do microlançador deverá ser contratado um banco de controle bastante simplificado que permita realizar as funções básicas deste sistema: alimentação e carga de baterias, testes dos subsistemas, recebimento filiar dos dados de telemetria, ativações e sequenciamento de eventos até o lançamento.

Existem ex-funcionários do IAE, aposentados, que podem especificar o banco de controle do microlançador para ser produzido por uma empresa brasileira, sendo uma delas a COMPSIS em São José dos Campos. Alternativamente, a FUNDAÇÃO EZUTE em São Paulo, já realizou desenvolvimentos para o banco de controle do VLS-1.

Disponibilidade do recurso: existem especialistas e empresas com condições para executar o projeto e construção do banco de controle do microlançador no País.

Estação de telemetria

A hipótese é que o microlançador tenha uma estação de telemetria móvel e dedicada, dispensando a estação de telemetria do CLA. Esta estação de telemetria convenientemente posicionada e com comunicação com o centro de controle deverá ser suficiente para receber as informações durante todo o voo do microlançador e suprir, em tempo real, o sistema de segurança do CLA com os parâmetros de voo necessários para a segurança operacional. Discussões com o CLA devem ser realizadas para a compatibilização dessa estação de telemetria com os sistemas de segurança do Campo.

Disponibilidade do recurso: O IAE dispõe de uma estação de telemetria móvel doada do DLR. Existe, portanto, a opção de um acordo para se utilizar esta estação do IAE ou construir uma nova estação nos mesmos moldes.

Estação de telecomando

A estação de telecomando é parte da segurança da operação de lançamento, portanto, é uma atribuição do CLA. Nesse sentido, os sistemas de recepção de telecomando a bordo devem se adequar às características do sistema de telecomando de solo do Campo para garantir a compatibilidade na operação. Sabemos que, no momento, o sistema de telecomando do CLA apresenta problemas e deverá resultar em aquisição de novo equipamento para substituição do atual. Discussões com o CLA devem ser realizadas para a compatibilização do sistema a bordo com o transmissor de telecomando do Campo.

Disponibilidade do recurso: O sistema de telecomando do CLA tem sido um problema nos últimos anos. Se houver substituição do sistema do campo, será preciso interagir com o CLA para garantir a sua operacionalidade e compatibilidade com o sistema do veículo.

Estações radar

As Estações de Rastreo por Radar são parte da segurança da operação de lançamento, portanto é uma atribuição do CLA. Nesse sentido, os sistemas a bordo do veículo para auxílio ao rastreo por radar devem ser compatíveis com os sistemas de solo do CLA. No entanto, a operação dos radares do CLA tem sido sujeita a problemas nos últimos anos. Existem outras formas de garantir a informação de localização do veículo além do radar. Se o CLA não dispensar o radar como fonte primária de dados de localização, será preciso que o Campo garanta a operacionalidade destes equipamentos.

Disponibilidade do recurso: Não há problemas ou dificuldades visualizadas em relação aos sistemas de bordo para operar com os radares do campo de lançamento. É preciso interagir com CLA para garantir a operacionalidade dos radares ou para discutir outras soluções para a localização do veículo.

Interfaces operacionais com o CLA

Organização

A estrutura organizacional das equipes do lançador e das equipes do CLA será determinada de acordo com os procedimentos do CLA. Como consequência, a hierarquia e a composição da equipe do lançador deve ser compatível com esses procedimentos do Campo.

Comunicação operacional

A comunicação de voz durante a operação de lançamento será provida pelo CLA.

Segurança

Uma importante interface com o CLA será o atendimento às regras de segurança de solo e de voo do Campo de Lançamento. O CLA também dispõe do serviço de rastreo radar e telemetria. É possível que o veículo prescindia destas facilidades, se for desenvolvida telemetria específica para o veículo, e que ela também permita o rastreo (esta solução deve ter acordo do CLA). Uma interface de dados da estação de telemetria com o centro de controle será imprescindível.

Referências bibliográficas

BBC - Jonathan Amos. (2014). Skylon 'spaceplane economics stack up'. Oxfordshire, UK.

BBC - Jonathan Amos. (2018). Rolls-Royce and Boeing invest in UK space engine. Oxfordshire, UK.

Bryce Space and Technology (2018). Start-up Space - Investment in Commercial Space Venture.

Clark, S. (2018). Orbital ATK confident new rocket will win Air Force support. *SpaceFlight Now*, 12 de abril de 2018.

Crisp N., Smith K., Hollingsworth P. (2014). Small Satellite Launch to LEO: A Review of Current and Future Launch Systems. Transactions of the Japan Society for Aeronautical and Space Sciences, Aerospace Technology Japan, v. 12, n. 29, p. 39-47. DOI: [10.2322/tastj.12.Tf_39](https://doi.org/10.2322/tastj.12.Tf_39)

Crisp N.H., Smith K., Hollingsworth P. (2015) Launch and deployment of distributed small satellite systems. Acta Astronautica, v. 114, p. 65-78. DOI: [10.1016/j.actaastro.2015.04.015](https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2015.04.015).

Euroconsult (2018). Prospects for the Small Satellite Market. http://www.euroconsult-ec.com/shop/index.php?id_product=106&controller=product

FAA - Federal Aviation Administration. (2018). The Annual Compendium of Commercial Space Transportation-2018. https://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/ast/media/2018_AST_Compendium.pdf

Foust J. (2018). The summer of small launchers. The Space Review. 29 de maio de 2018. <http://www.thespacereview.com/article/3503/1>

Frick W., Niederstrasser C. (2018). Small Launch Vehicles – A 2018 State of the Industry Survey. In: 32nd Annual AIAA/USU Conference on Small Satellites. <https://digitalcommons.usu.edu/cgi/viewcontent.cgi?filename=0&article=4118&context=smallsat&type=additional>

GBtimes (2018) Chinese commercial rocket company OneSpace set for debut launch in June, 17 de janeiro de 2018, <https://gbtimes.com/chinese-commercial-rocket-company-onespace-set-for-debut-launch-in-june>

Inatani Y., Habu H. (2018). SS-520 Nano Satellite Launcher and its Flight Result. In: 32nd Annual AIAA/USU Conference on Small Satellites. <https://digitalcommons.usu.edu/cgi/viewcontent.cgi?filename=0&article=4120&context=smallsat&type=additional>

Kulu, E. (2018). New Space Index: Launchers. <https://www.newspace.im/launchers.html>

O’Gorman J (2018) The Cost of Clean Space - A Study of the Additional Fuel Costs of Launching Above Low Earth Orbit. Masters dissertation - Rochester Institute of Technology, Rochester, NY. May 2018.

Palmério, A. F. (2017). Introdução à tecnologia de foguetes. SindCT: São José dos Campos. P. 304. Disponível em: <http://www.sindct.org.br/files/livrofoguetes.pdf>

PwC (2017) *Micro-launchers: What’s the market?* https://www.pwc.fr/fr/assets/files/pdf/2017/02/micro-lanceurs_dec2016.pdf.

Rocket Lab (2018). Rocket Lab to launch It’s Business Time and ELaNa XIX missions weeks apart. <https://www.rocketlabusa.com/news/updates/rocket-lab-to-launch-its-business-time-and-elana-xix-missions-weeks-apart/>

SIA (2017). 2017 State of the Satellite Industry Report. <https://www.sia.org/wp-content/uploads/2017/10/SIA-SSIR-2017-full-2017-10-05-update.pdf>

SIA (2018). 2018 State of the Satellite Industry Report. <https://www.sia.org/wp-content/uploads/2018/06/2018-SSIR-2-Page-.pdf>

SpaceX (2017). Statement of Tim Hughes, Senior Vice President for Global Business & Government Affairs - Space Exploration Technologies Corp. (SpaceX) before the Subcommittee on space, science & technology - Committee on commerce, science & technology United States Senate.

Spacenews (2018). Spain’s PLD Space receives \$2.4 million grant for smallsat launchers, 10 de janeiro de 2018.

Spaceflight Now (2018), Souped-up sounding rocket lifts off from Japan with tiny satellite, feb 2018, <https://spaceflightnow.com/2018/02/02/ss-520-5-tricom-1r-test-launch/>

SpaceWorks (2018). SpaceWorks Enterprises, Inc. 2018 Nano/Microsatellite Market Forecast, 8th Edition; <http://www.spaceworkscommercial.com/>.

Van Kleef, A. J. P. (2015), Inovative Small Launcher, Reinventing Space Conference, 2015, Oxford, UK, <https://reports.nlr.nl/xmlui/bitstream/handle/10921/1035/TP-2015-472.pdf?sequence=1>

Wekerle, T.; Pessoa Filho, J. B.; Loures da Costa, L. E.; Trabasso, L. (2017). Status and Trends of Smallsats and their Launch Vehicles — An up-to-date Review, J. Aerosp. Technol. Manag., vol. 7, no. 3, pp. 269-286

Lista de Figuras

Figura 1 - Número de CubeSats lançados por ano.	14
Figura 2 - Utilização por área dos satélites lançados em 2017	16
Figura 3 - Distribuição de recursos globais no setor espacial	18
Figura 4 - Lançadores comerciais de grande e médio porte em operação atualmente.	19
Figura 5 - Capacidade versus custo de lançamento para alguns lançadores.....	22
Figura 6 - Histórico e previsão de lançamentos de micro e nanossatélites.....	25
Figura 7 - Novas abordagens para a indústria espacial fazem surgir projetos bem sucedidos de pequenos lançadores orbitais.	26
Figura 8 - Lançamento do Electron em sua primeira missão totalmente comercial.	30
Figura 9 - Evolução da SpaceX no Mercado Global de Lançamentos Comerciais.....	32
Figura 10 - Veículos lançadores planejados no passado pelo Brasil.	40
Figura 11 - Programa Cruzeiro do Sul.....	41

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Lançamentos por país/região e por área de aplicação em 2017	20
Tabela 2 - Categorias de satélites de pequeno porte e de alguns lançadores de satélites.	21
Tabela 3 - Lançadores de grande e médio portes mais utilizados no ano de 2017 por nano/microsatélites (<i>rideshare</i>).	21
Tabela 4 - Veículos lançadores de médio e grande portes mais Utilizados para nano/microsatélites em 2017.....	28
Tabela 5 - Veículos Lançadores de Pequeno Porte em Desenvolvimento.....	28
Tabela 6 - Redução de custos e tendências tecnológicas para lançadores.	38

Dicionário de siglas e acrônimos

AEB	Agência Espacial Brasileira
CDPEB	Comitê de Desenvolvimento do Programa Espacial Brasileiro
CDR	Critical Design Review (Revisão crítica de projeto)
CGEE	Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
CLA	Centro de Lançamento de Alcântara, em Alcântara (MA)
COTS	Commercial off-the-shelf (componentes comerciais de prateleira)
CT-Espacial	Fundo Setorial Espacial
CubeSat	Nano-satélite composto de cubos com 100 mm de aresta
DCTA	Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial do Comando da Aeronáutica
DLR	Deutsches Zentrum für Luft-und Raumfahrt (Centro Aeroespacial Alemão)
ECSS	European Cooperation for Space Standardization
EPO	European Patent Office (Escritório Europeu de Patentes)
ESA	European Space Agency(Agência Espacial Europeia)
FAA	Federal Aviation Administration
FAB	Força Aérea Brasileira
FR	Feasibility Review (Revisão de viabilidade)
GTO	Geostationary Transfer Orbit (Órbita de transferência geoestacionária)
IAE	Instituto de Aeronáutica e Espaço
ICBM	Intercontinental Ballistic Missile (Míssil balístico intercontinental)
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
ISS	International Space Station (Estação Espacial Internacional)

ISRO	Indian Space Research Organization
ITASAT	Nano-satélite em projeto no ITA
ITAR	International Traffic in Arms Regulations (Regulamentos de Tráfico Internacional de Armas)
JAXA	Agência Japonesa de Exploração Aeroespacial
LEO	Low Earth Orbit (Órbita terrestre de baixa altitude)
MCTIC	Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações
MORABA	Mobile Rocket Base
NASA	National Aeronautics and Space Administration
OTE	Observatório de Tecnologias Espaciais
PBHT	Polibutadieno líquido com terminação hidroxílica
PCB	Printed Circuit Board (Placas de circuitos impressos)
PDR	Preliminary Design Review
PEB	Programa Espacial Brasileiro
PFR	Post-Flight Review
PSLV	Polar Satellite Launch Vehicle
RCS	Reaction Control System (Sistema de controle de reação)
RLV	Reusable Launch Vehicle (Veículo lançador reutilizável)
SINDAE	Sistema Nacional de Desenvolvimento das Atividades Espaciais
SIA	Satellite Industry Association (Associação das Indústrias de Satélites)
SOB	Strap-on Boosters
SSLV	Small Satellite Launch Vehicle (Veículo lançados de pequenos satélites)
SSTO	Single Stage to Orbit (Veículo de estágio único)
STS	Space Transportation System (Sistema de transporte especial)

TRL	Technology Readiness Level (Nível de maturidade tecnológica)
TSTO	Two Stage to Orbit (Veículo de dois estágios)
TVC	Thrust Vector Control
UCA	Usina Coronel Abner
UCS	Union of Concerned Scientists
UNOOSA	United Nations Office for Outer Space Affairs
USPTO	United States Patent and Trademark Office (Escritório de Patentes e Marcas dos EUA)
VLM	Veículo Lançador de Microssatélites
VLS	Veículo Lançador de Satélites