

CubeSats

O Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE) edita publicações sobre diversas temáticas que impactam a agenda do Sistema Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação (SNCTI).

As edições são alinhadas à missão institucional do Centro de subsidiar os processos de tomada de decisão em temas relacionados à ciência, tecnologia e inovação, por meio de estudos em prospecção e avaliação estratégica baseados em ampla articulação com especialistas e instituições do SNCTI.

As publicações trazem resultados de alguns dos principais trabalhos desenvolvidos pelo Centro, dentro de abordagens como produção de alimentos, formação de recursos humanos, sustentabilidade e energia. Todas estão disponíveis gratuitamente para *download*.

A instituição também produz, semestralmente, a revista Parcerias Estratégicas, que apresenta contribuições de atores do SNCTI para o fortalecimento da área no País.

Você está recebendo uma dessas publicações, mas pode ter acesso a todo o acervo do Centro pelo nosso site: <http://www.cgee.org.br>.

Boa leitura!

CubeSats

Resumo executivo



Brasília – DF
2018



Presidente

Marcio de Miranda Santos

Diretores

Gerson Gomes

Regina Silverio

Edição/Maisei Cardoso

Diagramação/César Felipe Daher/Diogo Moraes/Eduardo Oliveira

Projeto gráfico/Núcleo de design gráfico do CGEE

Apoio técnico ao projeto/Fernando Teixeira Bueno

Catálogo na fonte

C389Pc

CubeSats. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2018.

46 p.; il, 28 cm

ISBN: 978-85-5569-141-6 (impresso)

ISBN: 978-85-5569-142-3 (eletrônico)

1. Tecnologias espaciais. I. CubeSats . II. CGEE. III. Title.

CDU 629.78

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE), SCS Qd. 9, Torre C, 4º andar, Ed. Parque Cidade Corporate, Brasília, DF, CEP 70308-200 - Telefone: (61) 3424.9600, @cgee_oficial / http://www.cgee.org.br

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

Referência bibliográfica:

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS - CGEE. CubeSats. Brasília, DF: 2018. 46 p.

Imagem de capa: NASA. Disponível em: <https://www.nasa.gov/sites/default/files/thumbnails/image/26512620163_904c1a34f8_o.jpg>. Informações sobre direito de uso de imagens e créditos disponíveis em: <<https://www.nasa.gov/multimedia/guidelines/index.html>>. Acesso em 29 de junho de 2018.

Esta publicação é parte integrante das atividades desenvolvidas pelo CGEE no âmbito do 2º Contrato de Gestão firmado com o MCTIC.

Tiragem impressa: 300 exemplares. Impresso em 2018. Gráfica e Editora Qualytá Ltda.

CubeSats

Resumo executivo

Supervisão

Marcio de Miranda Santos

Equipe técnica do CGEE

Thyrso Villela Neto (Coordenador)

Alessandra de Moura Brandão

César Augusto Costa

Os textos apresentados nesta publicação são de responsabilidade dos autores.





Sumário

1. Introdução	7
2. Benefícios	11
3. Aplicações	13
3.1. Ciência	13
3.2. Observação da Terra e do clima	14
3.3. Meio ambiente e agricultura	15
3.4. Recursos minerais e hídricos	15
3.5. Defesa	15
3.6. Controle de fronteiras	16
3.7. Educação e treinamento rápido de recursos humanos	16
3.8. Desenvolvimento tecnológico	17
3.9. Telecomunicações	17
4. Normalização	19
5. Lançamento, órbitas e vida útil	21
6. <i>CUBESATS</i> em números	25
6.1. Lançamentos	25
6.2. Informações técnico-científicas	28
6.3. Veículos lançadores	31
6.4. Empresas	33
6.5. Cooperação internacional	34
7. <i>CUBESATS</i> : situação brasileira	35
8. Considerações finais	39
Referências	43
Lista de figuras	45
Lista de gráficos	45
Lista de fotos	45





1. Introdução

Os altos custos das missões espaciais baseadas em satélites, acentuados, principalmente, pelos custos de seus lançamentos, desencadearam uma corrida por melhorias na confiabilidade desses artefatos. Porém, o aumento da confiabilidade acarreta custos e tempos de desenvolvimento ainda maiores, por exigir que tais sistemas sejam submetidos a rigorosos testes para garantir o seu funcionamento, da melhor forma possível, no ambiente espacial.

Em função disso, o treinamento de recursos humanos para a área espacial, em especial de alunos universitários, apresenta alguns problemas, já que esses altos custos e longos tempos de desenvolvimento praticamente impedem que uma missão espacial completa seja desenvolvida durante o período típico de uma formação em nível superior nas áreas de Ciências Exatas e Engenharias. Para contornar esse problema, Jordi Puig-Suari, da California Polytechnic State University, e Bob Twiggs, da Stanford University, propuseram, em 1999, um modelo de satélite de pequeno porte que segue um padrão mais simples (TWIGGS, 2008). O intuito dessa ideia era fornecer aos alunos a oportunidade de participar de um projeto espacial completo, incluindo a construção, os testes e a operação de um artefato com características similares aos primeiros satélites lançados. Dessa iniciativa, surgiram os *CubeSats*.

Esse termo é um acrônimo formado pela palavra *cube* (cubo, em Inglês) acrescida das três primeiras letras da palavra satélite. O termo é usado para designar um satélite de pequeno porte, em forma de um cubo, cujas arestas medem 10 centímetros e que obedece ao padrão *CubeSat*, o qual é descrito por uma especificação de domínio público (THE CUBESAT PROGRAM, 2013). Um cubo desses,

ou uma unidade *CubeSat* (1U), tem um volume de um litro e sua carga útil pode ter massa de cerca de 1,3 quilogramas (kg). Essas unidades podem ser combinadas para formar satélites maiores (2U, 3U ou 6U, por exemplo).

O conceito de *CubeSats* desafia a espiral crescente de custos na área espacial, ao adotar uma filosofia de aceitação de alguns riscos, com o uso intensivo de componentes comerciais comuns (ou COTS, do Inglês *commercial off-the-shelf*), ou seja, sem qualificação para uso no espaço, e otimizar testes. Os *CubeSats*, em função do atrativo que oferecem em termos de custo e tempo de desenvolvimento, migraram rapidamente da academia para outros setores, incluindo o empresarial.

Os *CubeSats* são o expoente de uma tendência de miniaturização dos satélites. Em muitos setores, o progresso tecnológico permitiu reduções significativas no volume ocupado pelos mais variados equipamentos, como em computadores e componentes eletrônicos em geral. Entretanto, só recentemente, com o advento do padrão *CubeSat*, essa tendência começou a ser também observada em equipamentos espaciais (NASA, 2015).

De certa forma, além de representarem uma inovação interessante na área espacial, eles correspondem a uma inovação no modelo de negócios a eles associados, uma vez que as maiores iniciativas estão fora do âmbito dos governos. Apenas recentemente, percebendo a importância dessas plataformas, algumas agências espaciais resolveram implantar ações relacionadas aos *CubeSats*. Em 2017, o número de *CubeSats* lançados por ano superou o número de satélites convencionais.

As principais características dos *CubeSats* são:

- satélites compostos por unidades padronizadas cúbicas de 1U (10x10x10 cm), formando composições de 2U, 3U, 6U, etc;
- uso de sistemas de ejeção em órbita padronizados, denominados, por exemplo, P-POD (do Inglês, *Poly Picosatellite Orbital Deployer*) ou SSPL (do Inglês, *Space Shuttle Picosatellite Launcher*), capazes de liberar diversos satélites pela mesma interface. Existem sistemas comerciais destinados a satélites 1U, 2U, 3U e 6U; e
- uso de componentes COTS nos subsistemas de bordo.

Na Figura 1, são mostradas algumas configurações usuais de *CubeSats*.

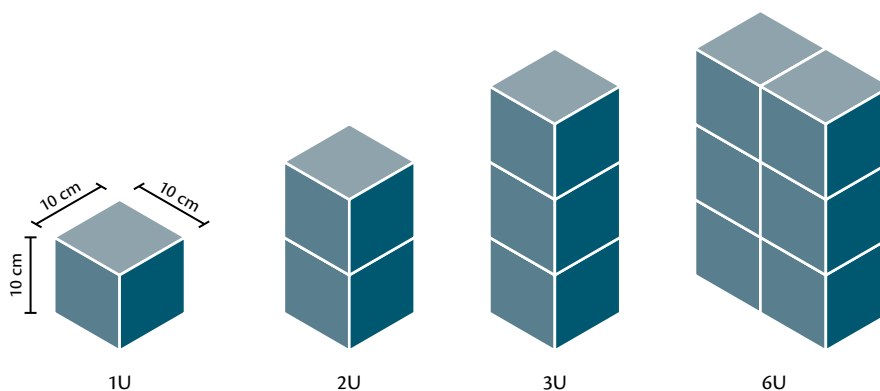


Figura 1 – Algumas configurações de *CubeSats*

Fonte: adaptado de Radius Space.

Na Foto 1, é mostrada uma unidade de *CubeSat* (1U) real, com alguns de seus componentes já integrados.

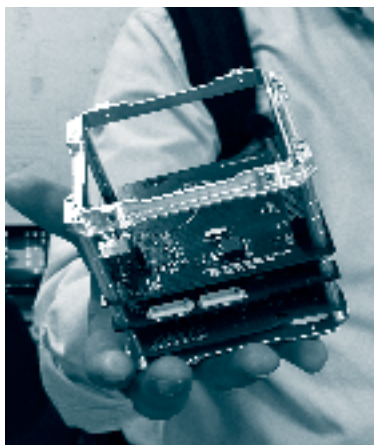


Foto 1 – *CubeSat* 1U

Fonte: Thyro Vilela para o Observatório de Tecnologias Espaciais (OTE) do CGEE.

CubeSats fazem parte da categoria dos nanossatélites, dentro da classe conhecida como satélites de pequeno porte, com massa de 1 até 10 kg. Na Figura 2, é mostrada a classificação de alguns satélites conforme sua massa.

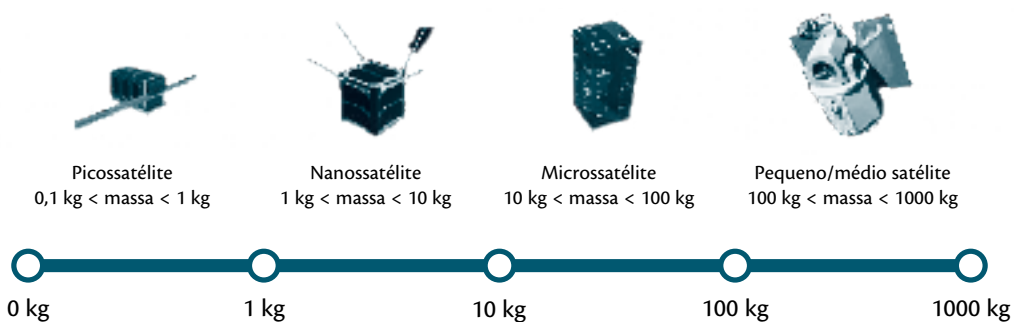


Figura 2 – Algumas categorias de satélites de acordo com sua massa

Fonte: OTE/CGEE

Os *CubeSats* estão sendo desenvolvidos por meio de uma arquitetura aberta padronizada para os subsistemas mais comuns. O uso de módulos favorece o conceito de “containerização” e facilita o desenvolvimento de cargas úteis. Essa padronização simplifica a metodologia de testes, fornece flexibilidade de lançamento e tem atraído a atenção dos mais variados setores, em diversos nichos de aplicações e de mercado. Além da padronização dos módulos, a padronização dos sistemas de ejeção em órbita é outro atrativo interessante, pois ajuda a diminuir custos e tempos de desenvolvimento de missões.

2. Benefícios

Os riscos associados ao uso desses pequenos satélites são compensados pela possibilidade de rápida reposição desses artefatos em caso de falhas. Além disso, a taxa de “mortalidade infantil” desses artefatos tem decaído ao longo do tempo, na medida em que novas tecnologias são desenvolvidas (LANGER; BOUWMEESTER, 2016).

Os *CubeSats* despontam como uma inovação na área espacial, capaz de proporcionar, a instituições e países que atualmente têm dificuldades de usar as aplicações espaciais em seu benefício, oportunidades concretas de acesso ao espaço para atender a essas demandas (WOELLERT *et al.*, 2011). Esses obstáculos se devem, principalmente, aos altos custos de uma missão espacial tradicional e à necessidade de contar com ampla infraestrutura de testes e equipes numerosas.

Um fator importante a ser considerado é que os *CubeSats* geram uma demanda constante junto às empresas. Embora os valores monetários sejam menores que os usuais do setor espacial, o fluxo contínuo de pedidos garante a manutenção de equipes e a sustentabilidade de empresas.

CubeSats têm, dessa forma, um aspecto inovador capaz de promover uma mudança de paradigma no setor espacial, adequando-o à nova tendência de emprego de pequenos satélites para atender a diferentes tipos de demandas. Dependendo da aplicação, um *CubeSat* pode ser completamente desenvolvido e estar pronto para o lançamento em um período inferior a 18 meses, além de chegar a custar menos de US\$ 100 mil. Essa enorme redução nos custos e no tempo de desenvolvimento possibilita ao setor espacial a exploração de novas estratégias e novos modelos de negócio.

De fato, já existem iniciativas direcionadas a fornecer respostas rápidas para o atendimento de demandas inesperadas, que necessitam de soluções espaciais, tais como as decorrentes de desastres naturais ou de situações de conflito. Por exemplo, em 2007, os Estados Unidos da América (EUA) criaram o *Operationally Responsive Space Office*, com o objetivo de assegurar o desenvolvimento de novas capacidades espaciais militares que pudessem rapidamente ser colocadas em operação. O atendimento desse tipo de demanda impõe uma nova lógica pertinente à aceitação de riscos e à confiabilidade de missões espaciais. Nesse sentido, os *CubeSats* vêm sendo considerados como uma solução altamente competitiva e que, em muitos casos, permite um equilíbrio aceitável entre as variáveis tempo, custo e confiabilidade.

3. Aplicações

Demandas por aplicações espaciais, como sensoriamento remoto da Terra; telecomunicações; ciência de um modo geral; e defesa, podem, na atualidade, ser atendidas por *CubeSats*, que estão se tornando alternativas interessantes às formas tradicionais de acesso ao espaço, devido aos baixos custos e tempos de desenvolvimento que eles representam.

Os *CubeSats* vêm sendo utilizados por diferentes instituições para atender a diferentes objetivos, que vão desde o treinamento de estudantes e profissionais da área espacial, passando por obtenção de dados científicos, até missões puramente comerciais. Várias aplicações científicas podem se beneficiar do uso de *CubeSats*, como aeronomia, geofísica espacial e astronomia (NAS, 2016). Há também aplicações direcionadas ao sensoriamento remoto da Terra (SELVA; KREJCI, 2012). *CubeSats* oferecem, por exemplo, a possibilidade de promover o desenvolvimento tecnológico da área espacial (VILLELA *et al.*, 2016).

3.1. Ciência

Os fenômenos que ocorrem no Sol podem afetar a Terra. Um exemplo disso é a ejeção de massa coronal, basicamente um jato de partículas que pode atingir a Terra e gerar enormes consequências econômicas, como danificar, algumas vezes de forma irreversível, satélites, redes elétricas, sistemas eletrônicos e de telecomunicações. Este tipo de interação entre o Sol e a Terra é comumente chamado de clima espacial. *CubeSats* apresentam uma oportunidade interessante para realizar monitoramento constante do ambiente espacial (incluindo medidas *in situ* da termosfera, ionosfera e magnetosfera), de forma rápida e com baixos custos. Em suma, são grandes as possibilidades de uso de *CubeSats* para estudos em pesquisas atmosféricas (NSF, 2016).

Várias questões científicas pertinentes à astronomia e à astrofísica podem ser estudadas por meio de instrumentos embarcados em *CubeSats*, como, por exemplo, as relacionadas à astronomia de raios X (investigação do ruído de fundo difuso, imagens de fontes com instrumentos de máscara codificada), astronomia galáctica e extragaláctica, cosmologia, etc. Uma rede de *CubeSats* distribuída em torno da Terra poderia explorar o espaço local, bem como a Galáxia e fontes extragalácticas com diferentes instrumentos. Esses experimentos podem ser realizados em várias bandas espectrais, o que ampliaria nosso conhecimento sobre o Universo, em uma era de exploração da astronomia multimessageira¹.

A busca por planetas fora do Sistema Solar tem evoluído muito na última década, com várias missões utilizando grandes satélites para observar o céu em busca desses corpos celestes, como o telescópio

¹ Astronomia multimessageira é o termo utilizado para descrever a observação de um mesmo fenômeno ou objeto astronômico em várias bandas do espectro eletromagnético e também por meio de detecção de partículas e ondas gravitacionais.

Kepler, que já confirmou mais de 2,3 mil exoplanetas. Essas observações, porém, são feitas em curtos períodos e detectam somente os planetas mais próximos a estrela. Um *CubeSat* poderia apontar para uma dada região específica do espaço e observar uma estrela por um longo tempo, na procura por exoplanetas em trânsito entre o satélite e a estrela.

Os *CubeSats* se apresentam como uma plataforma excelente para investigar os efeitos biológicos relacionados à permanência, por longos períodos, de organismos vivos no espaço. *CubeSats* contendo amostras biológicas e instrumentos de monitoramento poderiam ser lançados ao espaço profundo, permitindo estudar os efeitos devidos à microgravidade e à exposição a altos níveis de radiação nessas amostras.

3.2. Observação da Terra e do clima

O imageamento da superfície terrestre por *CubeSats*, em diferentes bandas espectrais, fornece uma gama imensa de possibilidades para sensoriamento remoto de grandes áreas ou de regiões de difícil acesso. A faceta mais interessante do uso desses artefatos para sensoriamento remoto da Terra está associada à forma rápida como eles podem ser desenvolvidos e lançados para cumprir tarefas específicas, como avaliar as consequências de desastres naturais e as condições de alterações geológicas inesperadas. Essa é uma grande vantagem em relação ao desenvolvimento de satélites de grande porte, que demoram, em geral, alguns anos para ser desenvolvidos.

A observação da superfície terrestre tem sido o elemento de destaque no desenvolvimento dos *CubeSats*. Vê-se o exemplo da empresa estadunidense Planet Labs, que utiliza uma constelação de *CubeSats*, conhecidos como Dove, para realizar o imageamento da Terra. Atualmente, essa constelação é capaz de imagear uma mesma localização na superfície terrestre pelo menos uma vez por dia, com uma resolução de 3 a 5 metros. Em função de essa constelação ter sido colocada em órbita baixa, é possível observar processos que variam de forma rápida, como tempestades severas, que são pouco amostradas por satélites em órbita heliossíncrona. A utilização de *CubeSats* para esse fim diminui custos e mitiga a falta de informação sobre o planeta, cobrindo lacunas observacionais do clima, da superfície terrestre e de medidas de irradiância solar, por meio do monitoramento contínuo desses processos.

Algumas aplicações de satélites, como o sensoriamento remoto da Terra com alta resolução angular, aparentemente não poderiam ser implementadas com *CubeSats* por causa da limitação das dimensões físicas inerente a esse tipo de plataforma. A resolução angular de sistemas imageadores depende das dimensões da superfície coletora de radiação. Assim, satélites de grandes dimensões podem, igualmente, acomodar sistemas imageadores de grandes dimensões e gerar imagens de alta resolução angular. Por outro lado, o desenvolvimento de outros tipos de abordagem tecnológica, como soluções baseadas em algoritmos para processar imagens obtidas em diferentes passagens dos satélites, espelhos que se abrem no espaço após o lançamento do *CubeSat*, projetos ópticos mais elaborados, entre outros, possibilita, em princípio, alcançar resoluções angulares interessantes com *CubeSats*.

3.3. Meio ambiente e agricultura

O imageamento multiespectral, de forma constante, do território oferece contribuição para o desenvolvimento sustentável da nação, não só no monitoramento de áreas desmatadas e de queimadas, mas também para direcionar o desenvolvimento das cidades. O sensoriamento remoto de áreas urbanas, com resoluções da ordem de dezenas de metros, algo factível com *CubeSats*, pode ser utilizado para o planejamento do desenvolvimento de municípios ou outros propósitos. Os dados coletados podem ser utilizados para determinar a composição do material, a cobertura superficial e o uso do terreno. Além disso, o sensoriamento remoto por meio de *CubeSats* pode ser útil para uma rápida resposta aos problemas causados por desastres naturais, como enchentes, deslizamentos ou inundações costeiras.

Na agricultura, o imageamento realizado no visível ou no infravermelho de ondas curtas - do Inglês, *short wavelength infrared* (SWIR) - pode auxiliar, por exemplo, na identificação de focos de incêndio; de áreas onde devem ser aplicados fungicidas ou pesticidas; e de plantações danificadas por eventos climáticos severos.

Câmeras no infravermelho próximo embarcadas em *CubeSats* podem realizar, entre outras missões, o monitoramento de gases originários da decomposição orgânica, como metano e dióxido de carbono, e auxiliar em atividades de pesca e de extração de recursos marítimos. A rapidez com que uma missão de *CubeSat* com esses sensores pode ser implementada é algo que garante prontidão de resposta a essas demandas.

3.4. Recursos minerais e hídricos

CubeSats, por serem uma plataforma com capacidade de resposta rápida, podem ser utilizados para mapear a distribuição de recursos hídricos e minerais, de acordo com demandas de vários setores, principalmente os comerciais, que necessitam de informações constantes. Sensores a bordo de *CubeSats* são capazes de fornecer informações para a caracterização regional do balanço hídrico, a quantificação em escala global do fluxo de evaporação, sobre variações na umidade do solo e mudanças nos níveis de armazenamento de água, além de suas relações com a dinâmica vegetal e oceânica. A distribuição de água pode ser monitorada com uma variedade de técnicas complementares, como a espectroscopia por nêutrons ou espectroscopia no infravermelho. Essas mesmas técnicas podem ser estendidas à prospecção de informações sobre recursos minerais.

3.5. Defesa

A habilidade de monitorar a superfície terrestre a partir do espaço transforma os *CubeSats* em uma alternativa barata e de rápida resposta para atividades ligadas à defesa territorial e à soberania nacional. Um exemplo do interesse que instituições ligadas à área de defesa têm demonstrado pelos *CubeSats* é o lançamento, pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) [Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço] e *National Reconnaissance Office* (NRO) - agência americana

voltada a atividades de inteligência -, de 13 *CubeSats*, em setembro de 2015, sendo 9 por parte da NRO e 4 da NASA.

As forças armadas dos Estados Unidos têm colaborado com universidades para o desenvolvimento de painéis solares que se abrem no espaço fornecendo maior área de coleta de energia e, portanto, um maior suprimento de energia para os equipamentos dos *CubeSats*. Tal desenvolvimento amplia sobremaneira o potencial de utilização dessas plataformas. O Departamento de Defesa dos Estados Unidos tem considerado os *CubeSats* como uma plataforma interessante para aplicações militares. Os *CubeSats* estão se tornando rapidamente objeto de interesse de atividades de defesa, dado seu potencial de fornecer suporte operacional a missões militares de forma rápida.

Esse interesse tem também transbordado as fronteiras de países desenvolvidos. A Força Aérea Colombiana colocará em órbita um *CubeSat* 3U, o FACSAT-1, que possui uma resolução de 30 metros e tem como intuíto monitorar o desenvolvimento urbano e o uso da terra, detectar plantações ilegais e ajudar no combate a incêndios e a desastres naturais. Um segundo satélite, agora um 6U, já está sendo produzido e será lançado em 2019.

3.6. Controle de fronteiras

O imageamento do solo com resolução de alguns metros e periodicidade da ordem de dias possibilita o monitoramento preciso e contínuo das áreas fronteiriças. Isso permite aos países avaliarem atividades hostis nessas regiões e planejar estrategicamente a alocação de recursos para proteger áreas vulneráveis. É possível detectar pistas de pouso e estradas clandestinas, mesmo as abertas de forma temporária, com rapidez, possibilitando ação imediata no combate ao contrabando e tráfico de ilícitos. Além disso, é possível identificar áreas de plantio de entorpecentes em regiões remotas ou, ainda, em áreas ocultas por mata fechada e de difícil localização por terra. Essas tarefas podem ser cumpridas por meio de *CubeSats*.

3.7. Educação e treinamento rápido de recursos humanos

Na atualidade, ao redor do mundo, existem projetos sendo executados para a construção de *CubeSats*, voltados à educação, nos mais variados níveis de formação, dos estágios mais fundamentais aos mais avançados. A própria concepção original dos *CubeSats* favorece sua aplicação para fins educacionais e fornece a oportunidade de serem desenvolvidas habilidades como trabalho em equipe e integração de sistemas. O desenvolvimento desses artefatos oferece a possibilidade de os estudantes serem expostos ao ciclo completo de gerenciamento e desenvolvimento de um projeto espacial.

O desenvolvimento, a operação e análise de dados de uma missão com *CubeSats* promovem a educação científica e o domínio de várias tecnologias em países emergentes, fato que tem levado universidades em diversas dessas nações a se engajarem em programas de *CubeSats*.

3.8. Desenvolvimento tecnológico

CubeSats estão servindo como plataforma demonstradora de tecnologias para aumentar o nível de maturidade tecnológica - do Inglês, *Technology Readiness Level* (TRL) - de equipamentos que podem vir a compor um projeto espacial.

A utilização de *CubeSats* está mudando a face do setor espacial e está criando novas oportunidades para desenvolvimento de tecnologias espaciais. Os *CubeSats* exigem equipamentos compactos, mas sem os requisitos rígidos normalmente exigidos por satélites de grande porte. A miniaturização de sistemas (*systems-on-chips*) é uma abordagem relativamente nova no setor espacial e tem influenciado a forma como tais componentes são integrados e embarcados. Até mesmo sistemas de propulsão têm sido integrados de forma modular e compartilhada a placas de componentes eletrônicos que controlam outras funções desses nanossatélites.

3.9. Telecomunicações

Os *CubeSats* se constituem em uma plataforma de baixo custo, se comparados a outras plataformas espaciais, para testar em órbita *software* e *hardware* relacionados a telecomunicações. Esses artefatos também podem ser empregados na caracterização e adaptação de protocolos de comunicação para o espaço.

Recentemente, a NASA lançou dois *CubeSats* com o propósito de testar novos sistemas de comunicação e manobra no espaço. O primeiro é o *Optical Communications and Sensor Demonstration* (OCSD), que se propõe a realizar *downlink* de dados para as estações em Terra, de forma ultrarrápida, utilizando *lasers*, em conjunto com uma opção de manobra para colocar dois *CubeSats* próximos um do outro. O segundo serve para demonstração de uma nova tecnologia, o *Integrated Solar Array and Reflectarray Antenna* (ISARA), correspondente a um novo tipo de antena que atua simultaneamente como painel solar e antena transmissora. O OCSD e o ISARA refletem exatamente quão importantes estes pequenos satélites têm se tornado e como podem ser utilizados para o avanço tecnológico no setor espacial.

4. Normalização

Com o aumento vertiginoso do uso de satélites de pequeno porte no setor espacial, foi rapidamente percebida a importância desses objetos para o fortalecimento desse setor. Essa ruptura de conceitos fez surgir a necessidade do estabelecimento de normas que permitissem o engajamento adequado nessa nova tendência, por meio de boas práticas de desenvolvimento tecnológico.

Houve, em função disso, uma iniciativa de várias instituições ao redor do mundo no sentido de propor critérios mínimos aceitáveis de projetos, testes, qualificação e aceitação dos chamados *lean satellites* e de seus subsistemas. Essa iniciativa se materializou por meio da norma ISO 19683:2017(E), *Space systems — Design qualification and acceptance tests of small spacecraft and units*.

Há, ainda, normas sobre especificações de projeto para *CubeSats* (THE CUBESAT PROGRAM, 2013); especificações de alojamento de *CubeSats* em Poly-Picosatellite Orbital Deployer (P-POD); para liberação desses artefatos no espaço (THE CUBESAT PROGRAM, 2014); especificações para *CubeSats* 6U (THE CUBESAT PROGRAM, 2013b); e especificações de testes para *CubeSats* (NASA, 2013). Recentemente, foi lançado um documento que reúne uma compilação de vários padrões internacionais relacionados a missões espaciais baseadas em *CubeSats* (SCHOLZ, 2017).

5. Lançamento, órbitas e vida útil

Os *CubeSats* são colocados em órbita, em geral, como carga secundária, isto é, junto com um ou mais satélites de maior porte que constituem a carga útil primária. A órbita proporcionada pelo lançador é especificada pela carga primária, o que faz com que os *CubeSats* tenham que aceitar a órbita oferecida pelo lançador, seja ela qual for. Em geral, os *CubeSats* são projetados para operar em uma larga amplitude de órbitas, com variações na altitude, excentricidade e inclinação orbital. Contudo, as alternativas de órbitas aceitáveis podem ser restringidas em função da missão a ser executada. Há, portanto, um compromisso entre aceitar uma órbita não ideal ou esperar até que haja uma oferta de lançamento numa órbita mais adequada, o que pode demorar muito tempo.

A grande maioria dos *CubeSats* é lançada em órbita baixa ou *Low Earth Orbit* (LEO), isto é, entre 160 quilômetros (km) e 2 mil km. O período orbital nesses casos varia entre 90 minutos e 105 minutos. Órbitas síncronas com o Sol, ou heliosíncronas, são mais apropriadas para satélites de observação da Terra. Essa órbita é bastante procurada pelas cargas primárias, indicando que a oferta para voo de *CubeSats*, como cargas secundárias, é razoavelmente grande.

Em média, a vida útil de um *CubeSat* em órbita é da ordem de 8 meses, podendo variar de alguns dias até cerca de 5 anos (BOUWMEESTER; GUO, 2010). Entretanto, para os próximos anos, a tendência é a de melhoria considerável nessa expectativa de funcionamento em órbita. Um fator importante a ser levado em conta em relação às órbitas de lançamento dos *CubeSats* e que se refere à vida útil desses artefatos é a incidência de radiação. Como a altitude da maioria das órbitas é abaixo de 3 mil km, os níveis de radiação são baixos e os componentes críticos podem ser blindados, caso necessário, com proteções de alguns milímetros de alumínio.

Também está se tornando comum o lançamento de vários *CubeSats* por um único veículo lançador ou, também, lançamentos feitos diretamente a partir da Estação Espacial Internacional - *International Space Station* (ISS). Nesse último caso, os *CubeSats* compartilham viagem com suprimentos nas operações de reabastecimento da ISS.

Nos últimos anos, apesar de o uso de *CubeSats* ter aumentado consideravelmente, ainda persistem certas desconfianças sobre a eficácia dessa nova metodologia de projeto, construção e testes de plataformas espaciais. Como será visto mais adiante, ainda é consideravelmente alto o número de objetos inseridos em órbita que não cumpriram satisfatoriamente suas missões. Muitos críticos têm utilizado esse número para justificar a relutância quanto à confiabilidade das missões espaciais baseadas em *CubeSats*. É interessante ressaltar, porém, que as falhas de *CubeSats* em voo veem diminuindo. Como evidenciado no Gráfico 1, houve aumento na taxa de sucesso das missões envolvendo *CubeSats* ao longo dos últimos anos.

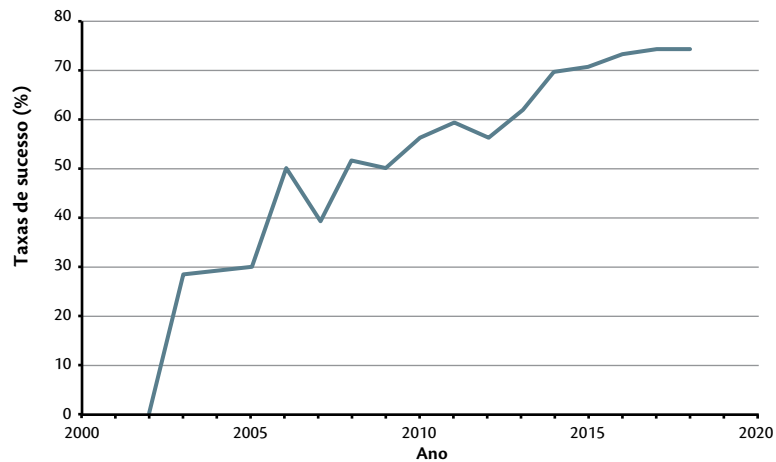


Gráfico 1 – Crescimento da taxa de sucesso das missões envolvendo *CubeSats* ao longo dos anos 2002-2018

Fonte: Elaborado pelo OTE/CGEE.

O alto índice de falhas nos lançamentos ainda é um fator que desperta preocupações, em razão do risco de vários artefatos serem destruídos de uma só vez, devido à estratégia de lançamentos múltiplos. Por exemplo, em outubro de 2014, a empresa Planet Labs perdeu 26 *CubeSats* em um único lançamento. Até então, a empresa havia lançado 71 de seus *CubeSats* 3U classe Dove, conforme mostrados nas fotos 2 e 3.



Foto 2 – *CubeSats* da empresa Planet

Crédito: Imagem cortesia da Planet Labs, Inc. Disponível em: <<https://www.planet.com/company/approach/>>. Acesso em 29 de junho de 2018.



Foto 3 – *CubeSats* Dove da empresa Planet sendo lançados da Estação Espacial Internacional

Crédito: NASA. Disponível em: <https://www.nasa.gov/sites/default/files/thumbnails/image/26512620163_904c1a34f8_o.jpg>. Acesso em 29 de junho de 2018.

Para a colocação de um *CubeSat* em órbita, deve-se utilizar um lançador que ofereça serviços de lançamento como carga secundária. Existem diversas empresas no exterior que prestam serviços de procura por possibilidades de lançamento, além de realizarem acompanhamento da integração, dos testes e da montagem no alojamento de liberação específico para cada tipo de lançador. O serviço de lançamento impõe que o projeto do satélite seja conduzido segundo a norma ISO 19683:2017(E) e as demais normas aplicáveis citadas anteriormente.

Os lançamentos devem ser agendados com antecedência de pelo menos um ano, para custos normais, sendo que, eventualmente, datas previstas podem sofrer alterações, devido ao encadeamento sequencial de lançamentos e a falhas que podem ocorrer com lançadores. Os custos e as datas dependem do planejamento e da urgência requerida para o lançamento do satélite. O preço para serviço de lançamento de um *CubeSat* 6U em órbita heliosíncrona, por exemplo, é atualmente de cerca de US\$ 550 mil.

Os ensaios preparatórios para lançamento visam a determinar propriedade de massa, interfaces mecânicas, proteções elétricas, descontaminação e resistência às vibrações inerentes ao veículo lançador. Os *CubeSats* só podem iniciar suas operações no espaço 30 minutos após a liberação do seu alojamento no P-POD ou equivalente. Ensaios básicos de vibração aleatória, descontaminação por termovácuo, teste de choque mecânico e inspeção visual devem ser executados para a aceitação final do serviço de lançamento.

De uma maneira geral, os *CubeSats* podem fazer uso de estações de solo comumente empregadas para recebimento de sinais de satélites convencionais. Além dessas, podem utilizar estações mais simples, com sistema de rádio transceptor analógico e controle de rastreamento com receptores e transmissores em UHF e VHF, além de receptor em banda S.

6. CubeSats em números

6.1. Lançamentos

O ano de 2005 pode ser considerado como o de início oficial da era dos *CubeSats*. No entanto, historicamente, cabe mencionar que o primeiro *CubeSat* foi de fato lançado ao espaço em 2002 e que outros objetos lançados alguns anos antes são considerados precursores do padrão atual.

Entre os anos de 2005 e 2012, em um período dominado pelo pioneirismo e desenvolvimento tecnológico, foram lançados ao espaço cerca de um *CubeSat* por mês. Entre 2013 e 2015, a taxa de lançamento subiu para cerca de nove *CubeSats* ao mês, marcando um claro aumento das atividades relacionadas a esses satélites, tal como pode ser percebido na distribuição do número de *CubeSats*, em função do ano de lançamento, informada no Gráfico 2. Nota-se que, em 2015 e 2016, houve uma queda na taxa de lançamento, após a perda de vários *CubeSats* em um único lançamento. Muitos projetos foram prejudicados com esse ponto de estrangulamento, mas, ainda assim, foram lançados durante o ano de 2017, o que explica o pico no número de lançamentos naquele ano. Entre 2002 e 31 de maio de 2018, 855 *CubeSats* haviam sido lançados ao espaço.

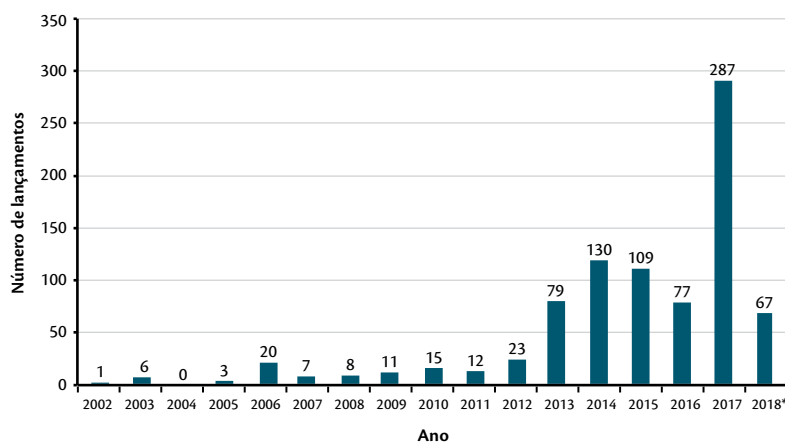


Gráfico 2 – Distribuição do número de *CubeSats*, em função do ano de lançamento

Fonte: Elaborado pelo OTE/CGEE.

Nota: * até 31 de maio de 2018.

Na Figura 3, é apresentada a contribuição anual de cada país ao número total de *CubeSats*, sendo que 836 deles foram lançados entre 2005 e 2018. Em 2016, foram lançados dois *CubeSats* por meio de colaborações internacionais, que não constam na referida Figura. O mesmo aconteceu em 2017 com 10 *CubeSats* sendo de responsabilidade multinacional.

Os Estados Unidos são inquestionavelmente líderes no setor de *CubeSats*, sendo responsáveis por aproximadamente 80% dos artefatos lançados até o final de maio de 2018. Mesmo assim, essa tendência tecnológica tem transbordado fronteiras e vem conquistando adeptos, a ponto de ter se tornado um fenômeno global, tendo em vista que, até 2017, 50 países já haviam lançado pelo menos um *CubeSat* ao espaço. O Brasil, por exemplo, lançou seu primeiro *CubeSat* em 2014, tendo lançado, até 2017, três *CubeSats*. Alguns outros *CubeSats* brasileiros estão em desenvolvimento e deverão ser lançados em um futuro próximo.

Essa tendência também é percebida em outros indicadores, tais como os tipos de aplicações, o número de publicações técnico-científicas e o número de depósitos de patentes relacionados a *CubeSats*. Esses indicadores facilitam a compreensão a respeito do panorama atual das atividades relacionadas a esses satélites e apontam que os *CubeSats* estão se consolidando no setor espacial norte-americano como uma alternativa interessante para o atendimento de várias demandas por aplicações espaciais. Denotam, ainda, que essa tendência tem sido observada também em outros países.

Basicamente, *CubeSats* já foram empregados para fins educacionais, científicos, militares, de defesa, demonstração de tecnologias, comunicação e sensoriamento remoto da Terra. O interesse de uso para fins educacionais tem sido registrado ao longo dos anos e, no que diz respeito a aplicações em sensoriamento remoto e desenvolvimento tecnológico, percebe-se um aumento significativo no uso desses satélites, como demonstrado no Gráfico 3, que apresenta o número de *CubeSats* lançados por ano e as principais aplicações para as quais foram utilizados.

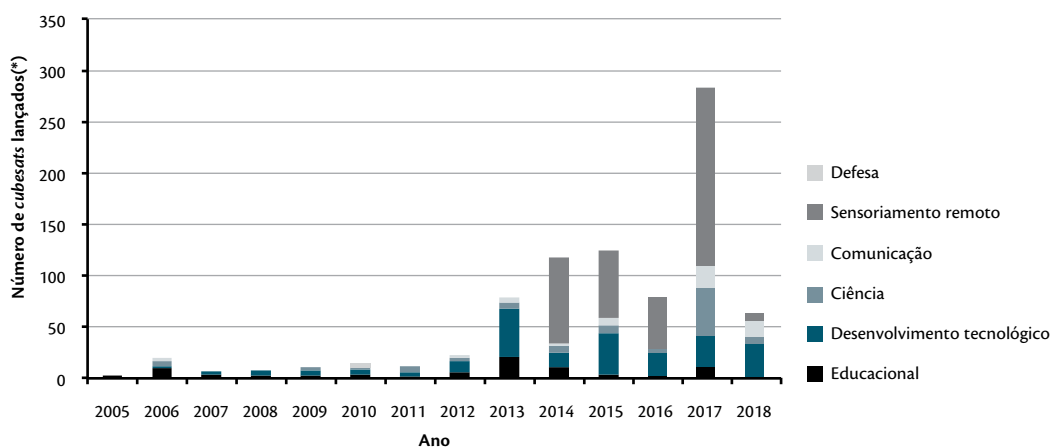


Gráfico 3 – Número de *CubeSats* lançados por ano e suas aplicações principais

Nota: *até 31 de maio de 2018.

Cerca de 20% dos *CubeSats* informados no Gráfico 3 são na configuração 1U, enquanto mais de 60% desses artefatos adotam a configuração 3U e cerca de 4% são *CubeSats* 6U. O restante adota configurações intermediárias.

CubeSats devotados para aplicações comerciais têm dominado o setor, correspondendo a quase 60% dos artefatos lançados. No Gráfico 4, é mostrada a distribuição de *CubeSats* segundo o setor de aplicação.

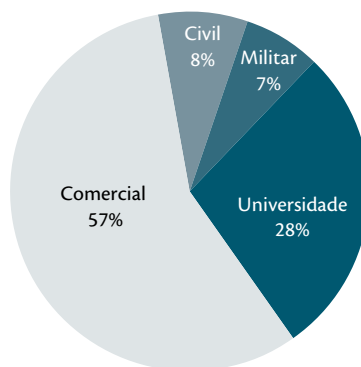


Gráfico 4 – Distribuição de *CubeSats* por setor de aplicação

Fonte: OTE/CGEE.

6.2. Informações técnico-científicas

Outra maneira de examinar a tendência de emprego de *CubeSats* em missões espaciais é inspecionar a produção técnico-científica relativa a esse tema na última década. No período entre 2005 e 2017, a base de dados *Scopus* mostra 2.306 documentos técnico-científicos publicados na forma de artigos em periódicos e anais de congressos. Foi utilizado como palavra-chave de busca apenas o termo *CubeSat*. No Gráfico 5, são mostradas as áreas do conhecimento relacionadas ao uso de *CubeSats* nessas publicações.

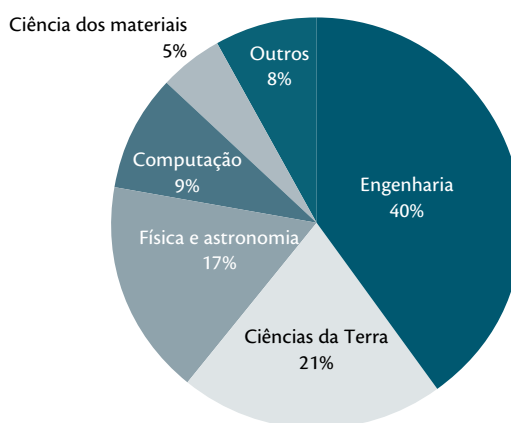


Gráfico 5 – Publicações técnico-científicas no período entre 2005 e 2017, em algumas áreas do conhecimento nas quais foram utilizados *CubeSats*

Fonte: Scopus.

A produção técnico-científica relacionada a *CubeSats*, como representado no Gráfico 6, mostra que a tendência de aumento nesse tipo de indicador se manteve constante a partir de 2010. Como os dados referentes a 2017 ainda não foram totalmente computados, há uma aparente redução no número de publicações em relação a 2016. Grosso modo, essa produção quintuplicou entre 2010 e 2016, o que é um aumento significativo. A liderança nesse segmento continua com os EUA. Embora

não seja possível afirmar que o aumento de publicações científicas acarrete elevação subsequente no número de patentes, uma vez que isso depende das peculiaridades inerentes a cada área do conhecimento, espera-se que essa relação se confirme.

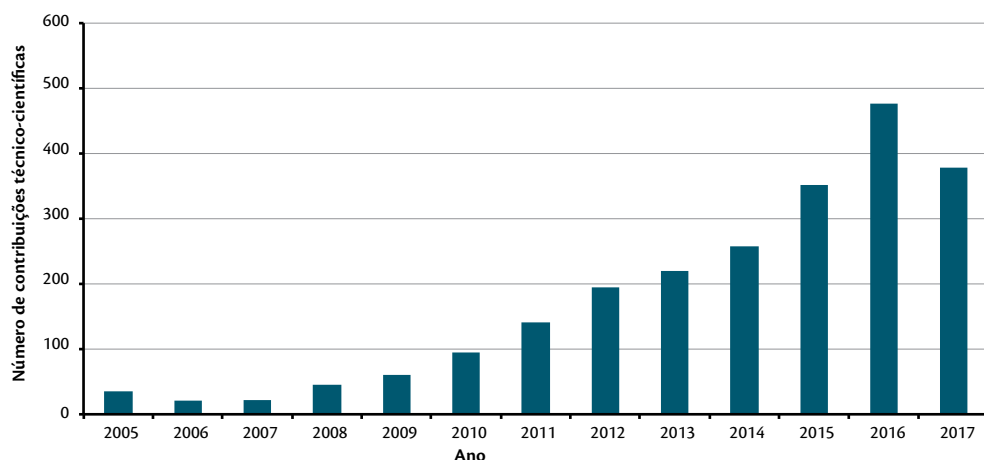


Gráfico 6 – Distribuição do número de contribuições técnico-científicas relacionadas a *CubeSats* no período entre 2005 e 2017

Fonte: Scopus.

Nota: O gráfico mostra um total de 2.306 documentos técnico-científicos publicados em forma de artigos em periódicos e anais de congressos. Vale ressaltar que os documentos do ano 2017 ainda não foram totalmente indexados.

No Gráfico 7, é apresentado o número de contribuições técnico-científicas por país. É interessante notar que entre as nações com maior produção encontram-se, com exceção da Rússia e da Índia, quase todas as que têm grande domínio tecnológico no setor espacial. No caso específico da Rússia, porém, convém também salientar que o país tem uma participação importante no segmento de lançamento de satélites, incluindo os *CubeSats*. Por outro lado, o Brasil apresenta uma participação que pode ser considerada boa nesse cenário, apesar de não ser muito expressiva.

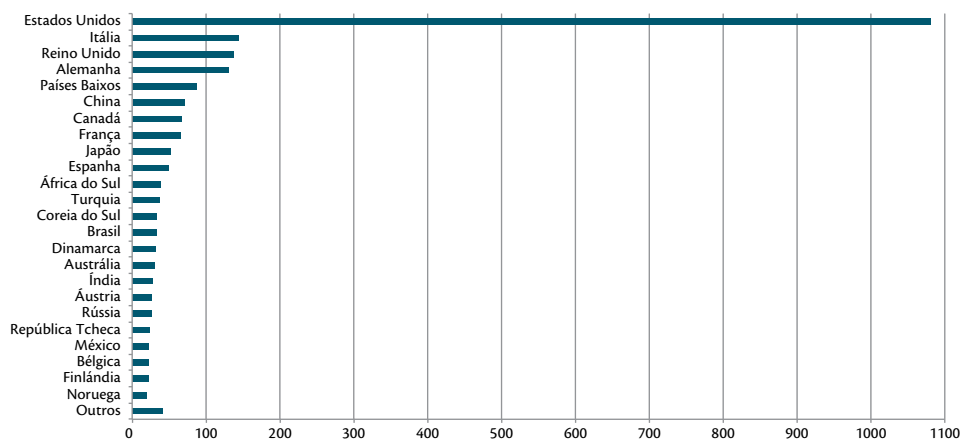


Gráfico 7 – Número de contribuições técnico-científicas por país no período entre 2005 e 2017

Fonte: Scopus.

Nota: Alguns artigos internacionais foram contabilizados para mais de um país.

O número de depósitos de patentes relacionadas a *CubeSats* também vem crescendo nos últimos anos, seguindo, de forma similar, a tendência de crescimento de outros números relativos a essa classe de satélites, como o de lançamentos, de aplicações, de publicações técnico-científicas e de empresas que atuam no setor.

O *European Patent Office* (EPO) registrou, no período compreendido entre 2005 e 2017, um total de 304 depósitos de patentes, nos quais aparece a palavra-chave “*CubeSat*”. Houve um aumento considerável nesse número entre 2005, quando apenas 2 patentes foram registradas, e 2017, quando houve 114 depósitos. No Gráfico 8, são mostrados esses dados. Nenhuma dessas patentes é de autoria de instituição ou inventor brasileiros.

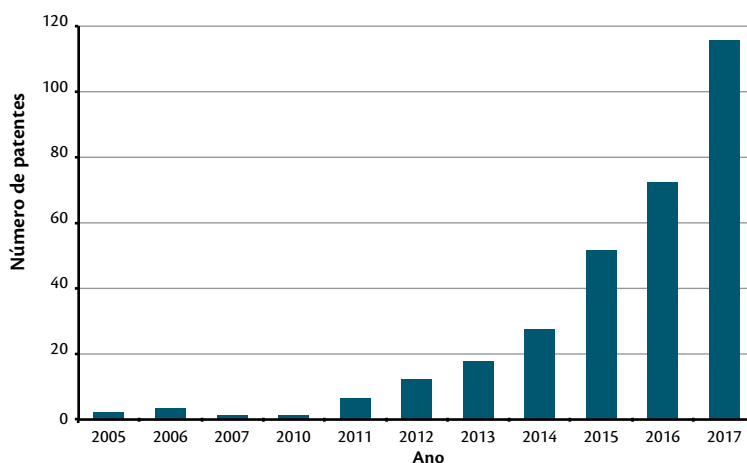


Gráfico 8 – Número de patentes depositadas por ano no período entre 2005 e 2017

Fonte: European Patent Office.

Nota: Nesse período, foram registradas 304 patentes relacionadas a *CubeSats*.

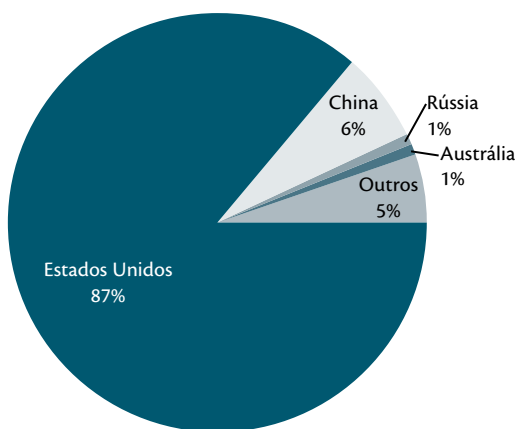


Gráfico 9 – Principais países detentores de patentes depositadas no período entre 2006 e 2017

Fonte: European Patent Office.

O Gráfico 9 aponta a distribuição de patentes por país. No período entre 2006 e 2017, os EUA aparecem como a nação que mais depositou patentes (87%), por meio de instituições públicas, universidades e empresas, sendo seguido pela China (6%).

No Gráfico 10, são exibidos os principais detentores de patentes relacionadas a *CubeSats*. É interessante notar nesse grupo a presença de empresas privadas importantes, como Spire Global, Raytheon e Aerospace Corporation. Esse fato destaca a atenção dada pelas empresas privadas a esse tipo de plataforma.

Também é significativo o fato de importantes instituições universitárias, como o Massachusetts Institute of Technology (MIT) e a Universidade da Flórida, dos EUA; a Universidade de Nanjing, da China; e órgãos governamentais, como a NASA e a Marinha dos EUA, terem patentes sobre esse tipo de plataforma. Tal fato mostra, mais uma vez, que a ideia de que *CubeSats* são satélites de brinquedo (*toy satellites*) está definitivamente sendo deixada de lado.

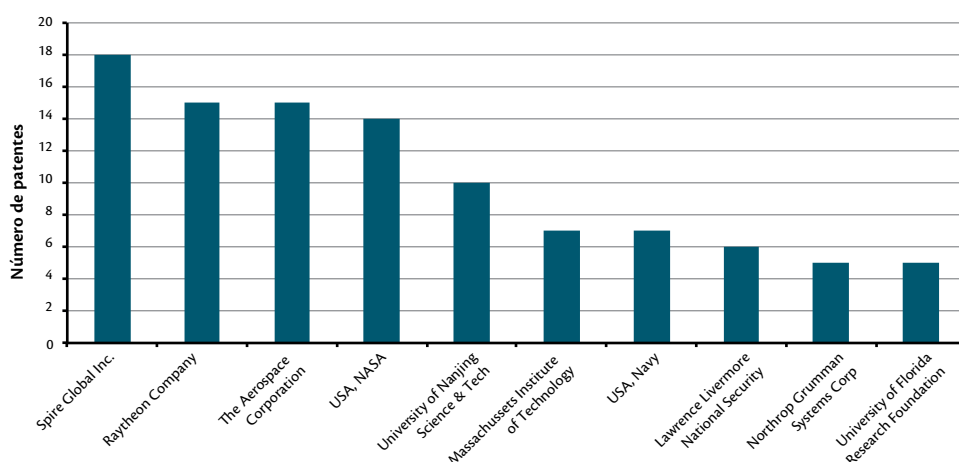


Gráfico 10 – Principais detentores de patentes depositadas no período entre 2005 e 2017

Fonte: European Patent Office.

6.3. Veículos lançadores

Os *CubeSats* estão proporcionando inovações em vários segmentos da atividade espacial, que não se restringem apenas à forma como são desenvolvidos, mas se estendem até à forma como são lançados ao espaço. Diferentemente da lógica tradicional, em que a maioria dos lançamentos de satélites se dá por meio de veículos dedicados, com poucos lançamentos compartilhados, os *CubeSats*, na maior parte das vezes, não são os artefatos principais nos lançamentos.

Isso está gerando uma nova necessidade: um veículo lançador capaz de colocar em órbita, a custos reduzidos, *CubeSats* para as mais diversas aplicações. Provavelmente, num futuro próximo, haverá demanda para veículos lançadores exclusivos para *CubeSats*.

É conveniente citar que a NASA e o Departamento de Defesa dos EUA estão considerando a possibilidade de desenvolver um veículo dedicado exclusivamente ao lançamento de *CubeSats* e capaz de colocar em órbita tais artefatos a um custo inferior a US\$ 2 milhões.

Percebe-se um aumento mundial no número de iniciativas de desenvolvimento de veículos lançadores de satélites de pequeno porte. Esses lançadores são capazes de colocar em órbita baixa - *Low Earth Orbit* (LEO) - satélites com massa de até cerca de 400 kg.

A maior parte dessas iniciativas teve origem no setor privado. Alguns países, que antes não eram grandes *players* na área espacial, estão com projetos bastante interessantes. A Nova Zelândia, por exemplo, está desenvolvendo o *Electron*, em parceria com os EUA, que tem capacidade para lançar satélites de até 225 kg. Esse veículo deve fazer sua estreia como lançador de satélites de pequeno porte ainda em 2018. Outro exemplo ocorre na Espanha, no desenvolvimento do *Arion 2*, com capacidade para lançar satélites de até 150 kg.

O custo de lançamento desses novos veículos, no entanto, ainda não alcançou um nível razoável de competitividade. Vários ainda se situam na faixa dos US\$ 30 mil por kg de satélite. Em alguns casos, esse custo pode chegar a US\$ 25 mil. Há, porém, algumas indicações de que esse custo possa diminuir consideravelmente em um futuro próximo, talvez para menos de US\$ 10 mil. Contudo, no patamar atual, esses veículos ainda não são comercialmente competitivos quando comparados a veículos de maior porte e que estão sendo utilizados atualmente para o lançamento de pequenos satélites.

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. Nestes, em geral, os satélites de pequeno porte são lançados como cargas secundárias, sem opção de escolha da órbita exata de interesse. Com os lançadores dedicados, é possível ter acesso a órbitas mais adequadas às demandas dos usuários de *CubeSats*. Assim, mesmo sendo mais caros, em termos de US\$/kg, eles se tornam atraentes em função do atendimento de especificidades de órbita. Os próximos quatro anos devem trazer novidades nesse mercado.

Em 3 de fevereiro de 2018, a Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA) [Agência Japonesa de Exploração Aeroespacial] lançou, a partir do Centro Espacial Uchinoura, o veículo experimental SS-520-5, levando a bordo o microsátélite TRICOM-1R. Esse é o menor veículo já construído com capacidade de colocar em órbita pequenos satélites.

Recentemente, a European Space Agency (ESA) [Agência Espacial Europeia] lançou um desafio voltado à construção de lançadores para várias classes de satélites: Classe 1 (minissatélites): 200,1 kg – 400 kg, Classe 2 (microsatélites): 60,1 kg – 200 kg, Classe 3 (nanosatélites, incluindo 12U+): 25,1 kg – 60 kg, Classe 4 (*CubeSats*, incluindo 1U, 3U, 6U): 1 kg – 25 kg.

Os EUA continuam na liderança no uso de *CubeSats*. Em 2016, o país lançou 57 desses artefatos e, em 2017, 222. No entanto, em relação aos veículos lançadores, o PSLV, da Índia, tem a liderança no número de lançamento de *CubeSats*: 168. Em particular, o PSLV-C37 detém o recorde de ter lançado o maior número de *CubeSats* de uma só vez: 101. A maioria dos *CubeSats* desse lançamento foi de

artefatos dos EUA, sendo 88 Dove, da empresa Planet, e 8 Lemur, da Spire. Por outro lado, foram utilizados, para lançar *CubeSats* de outros países, vários lançadores dos EUA, como os Antares, da empresa Orbital Science Corporation, que já lançaram 117; os da série Atlas, da Lockheed Martin/Boeing, com 136; e os Falcon, da SpaceX, com 62. É importante notar a forte presença de empresas não governamentais nesse setor, o que mostra que o mercado de lançadores de satélites de pequeno porte, em especial os de *CubeSats*, tem atraído a atenção de investidores na área espacial.

Assim, do ponto de vista nacional, ao se apoiar a iniciativa de desenvolver cargas úteis que possam atender a interesses nacionais e que sejam montadas em plataformas *CubeSat*, abre-se uma oportunidade ímpar para a criação e a manutenção de um mercado interno para um veículo nacional. Essa demanda interna pode dar ritmo de produção para esse veículo e, com isso, propiciar que ele adquira herança de voo para alcançar o mercado externo, fornecendo o serviço a entidades interessadas.

6.4. Empresas

O relatório *Bryce Space and Technology, Start-up Space 2017 – Update on Investment in Commercial Space Ventures*, que trata de empresas *start-up* na área espacial, mostra que, na América do Sul, há investidores apenas na Argentina. Tal fato se configura, ao mesmo tempo, em uma oportunidade e em uma ameaça. Oportunidade porque são poucos concorrentes ainda para empresas nacionais poderem realizar negócios no continente. Por sua vez, se torna uma ameaça porque a entrada tardia de investidores nacionais nesse mercado certamente prejudicará a conquista de clientes na região.

O Brasil pode perder espaço no mercado da América Latina, num futuro próximo, para a Argentina e México, por exemplo, que já recebem investimentos no setor. Há, atualmente, algumas dezenas de empresas no mundo voltadas à comercialização de partes e serviços relacionados a *CubeSats*.

Em 2017, alguns movimentos comerciais relevantes foram registrados. A empresa norte-americana Planet adquiriu a empresa Terra Bella. Com essa aquisição, alcançou a meta de ter uma revisita diária de um mesmo ponto no globo terrestre. A Terra Bella, que pertencia à Google, havia desenvolvido a constelação *SkySat* de satélites de sensoriamento remoto com resolução submétrica. Embora os satélites da constelação *SkySat* sejam maiores que os *CubeSats* da Planet, eles usam componentes eletrônicos comerciais, como os empregados na indústria automotiva. A Planet lançou 140 satélites em 2017.

A empresa Axelspace, por exemplo, sediada no Japão, oferece serviços relacionados a satélites de pequeno porte e está moldada em uma nova forma de modelo de negócios na área espacial, embora não esteja ligada exatamente ao uso de *CubeSats*. No entanto, o modelo de negócios adotado por essa empresa pode ter implicações no mercado mundial e, por consequência, impactar o uso de *CubeSats*.

Vale ressaltar que ainda não existem empresas brasileiras dedicadas ao desenvolvimento, à produção e comercialização de microssatélites, nanosatélites e *CubeSats*, tanto no que se refere ao desenvolvimento de *hardware* quanto de *software*.

No que diz respeito a oportunidades para empresas brasileiras no mercado espacial, os dados mostram que, no Brasil, os investidores ainda não despertaram para o grande potencial pertinente ao uso de satélites de pequeno porte, seja relacionado ao desenvolvimento de *hardware*, seja à utilização das aplicações proporcionadas por esses artefatos.

6.5. Cooperação internacional

Uma das vantagens do uso de *CubeSats* é o grande potencial que eles representam para o estabelecimento de cooperações internacionais em várias áreas do conhecimento, sejam científicas, tecnológicas ou de aplicações. Tal potencial é explicado pelas características de desenvolvimento inerentes a esses artefatos, em especial, as relacionadas aos baixos custos e ao pequeno tamanho das equipes envolvidas nesses projetos.

Por exemplo, em 2017, a constelação acadêmica QB50 foi oficialmente lançada, sendo que 36 desses artefatos já se encontravam em órbita. A iniciativa é desenvolvida por meio de cooperação entre 22 países. Essa constelação tem como objetivo colocar em órbita 50 *CubeSats* (2U e 3U) para efetuar medidas da termosfera, entre 90 e 350 km. Além dessa finalidade científica, alguns *CubeSats* serão utilizados para a realização de testes relacionados a demonstrações de novas tecnologias espaciais.

7. *CubeSats*: situação brasileira

No Brasil, organizações civis e instituições universitárias têm participado diretamente no desenvolvimento de *CubeSats*. Dentre elas, encontram-se o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe); a Agência Espacial Brasileira (AEB); a Universidade Federal de Santa Maria (UFSM); o Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA); a Universidade de Brasília (UnB); o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, ou Instituto Federal Fluminense (IFF); o Instituto Mauá de Tecnologia (IMT); a Universidade Federal do ABC (UFABC), a Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) e a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

É oportuno salientar que uma das primeiras iniciativas oficiais para a promoção do desenvolvimento de satélites de pequeno porte no Brasil se deu por meio da AEB, em 2008. Tal iniciativa se materializou em 2009, na forma de um convênio com a Associação do Laboratório de Sistemas Integráveis Tecnológicos (LSI-TEC), ligado à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (Poli-USP), direcionado a “promover estudos para a elaboração de plano estratégico para iniciativas de capacitação nacional em satélites de pequeno porte”. Na justificativa de celebração desse convênio constava:

Um programa de desenvolvimento de satélites de pequeno porte é de interesse direto do Programa Espacial Brasileiro por ter a capacidade de diminuir o ciclo de desenvolvimento da tecnologia espacial e dos próprios satélites, além de capacitar equipes e atender, mesmo que por um curto período, demandas da sociedade. A diminuição do ciclo de fabricação dos satélites é uma grande forma de se acelerar o processo de desenvolvimento, qualificação, homologação e produção em série dos diversos componentes e das diferentes soluções que integram os satélites. Ainda se alinha com as diretrizes da Política Nacional de Desenvolvimento das Atividades Espaciais (PNDAE) e o Programa Nacional de Atividades (PNAE) 2005-2014, onde se prevê um significativo índice de participação da indústria nacional em um futuro próximo.

Portanto, há cerca de nove anos, quando ainda não havia se intensificado no mundo o uso de *CubeSats* para atender às mais diversas aplicações espaciais, já havia uma iniciativa para promover o desenvolvimento de satélites de pequeno porte no Brasil. Outras iniciativas, como a de grupos de pesquisa ligados ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), também foram feitas por essa época.

O Brasil desenvolveu e lançou, até o momento, três *CubeSats*. O primeiro, lançado em 2014, NanosatC-BR1, mostrado na Foto 4, foi desenvolvido por meio de uma parceria entre o Centro Regional Sul (CRS) do Inpe no Rio Grande do Sul e a UFSM. Foi composto por uma unidade (1U) e levou experimentos para medir a intensidade do campo magnético da Terra e testar, em órbita, uma tecnologia de circuitos integrados resistentes à radiação, desenvolvidos no País. Partes desse *CubeSat*, como a plataforma e o magnetômetro utilizado na carga útil, foram compradas de empresas estrangeiras, como as holandesas ISIS e Xensor Integration.



Foto 4 – *CubeSat* NanosatC-BR1.

Crédito: INPE. Disponível em <<http://www3.inpe.br/crs/nanosat/galeria.php>>. Acesso em 29 de junho de 2018.

As partes desenvolvidas no Brasil consistem em: circuitos integrados projetados por instituições nacionais para serem testados quanto à resistência à radiação no ambiente espacial; um dispositivo para acionamento remoto de cargas úteis; e um *software* para gerenciar os problemas causados por efeitos da radiação ionizante em um *field-programmable gate array* (FPGA).

O segundo *CubeSat*, *Serpens* (3U), lançado em 2015, foi projetado na UnB, com sistemas fornecidos pela empresa italiana Gauss. Levou um receptor e transmissor (*transponder*) de dados ambientais, semelhante ao do satélite SCD1, desenvolvido pelo Inpe; um experimento de propulsão de plasma pulsado, feito pela Universidade de Southampton e pela empresa inglesa Clyde Space; e um experimento que consiste em um *transponder* digital para radioamadores.

O terceiro *CubeSat*, lançado em agosto de 2015, foi o AESP-14 (1U), desenvolvido pelo ITA em conjunto com o Inpe. O desenvolvimento desse satélite tinha como principal objetivo qualificar engenheiros, estudantes e pesquisadores no Brasil.

Há, ainda, pelo menos quatro missões de *CubeSats* em desenvolvimento no País. O **Conasat** (8U), uma parceria entre o Centro Regional Nordeste (CRN) do Inpe no Rio Grande do Norte e a Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), deverá dar continuidade aos serviços de coleta de dados ambientais prestados pelos satélites SCD1 e 2, lançados em 1993 e 1998, respectivamente. O **Itasat**, um satélite 6U feito pelo ITA com apoio do Inpe, deverá ser lançado em 2018 e levará a bordo, como experimentos, um receptor de sinais da constelação GPS; um *transponder* de coleta de dados, feito pelo CRN do Inpe; e uma câmera no espectro visível. O **Itasat** é mostrado na Foto 5.

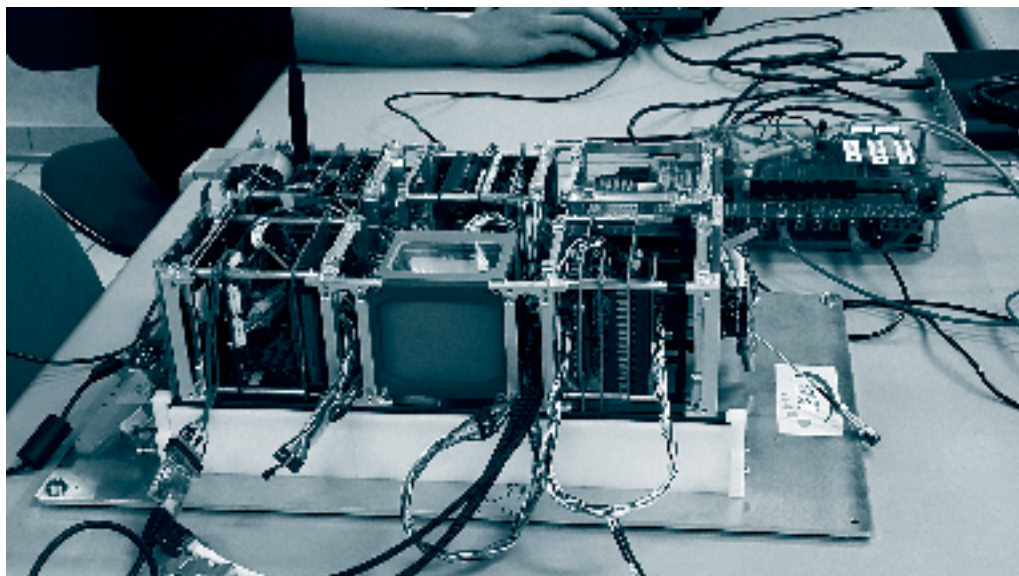


Foto 5 – *CubeSat Itasat (6U)*

Crédito: Thyrso Villela para o Observatório de Tecnologias Espaciais (OTE) do CGEE.

Nota: O tamanho desse satélite pode ser comparado com o do braço de uma pessoa, ao fundo.

Há uma possibilidade de haver uma continuação do programa Itasat com um segundo *CubeSat* (Itasat 2), que terá um sistema de controle de atitude aprimorado e uma variante deste satélite, a missão Sport, em colaboração com a NASA, voltada para estudo do clima espacial e de bolhas de plasma na ionosfera (SPANN *et al.*, 2017), todos com fator de forma 6U.

A continuação das missões Serpens deverá gerar o **Serpens 2**, também 3U, sob gerenciamento da UFABC. O segundo nanossatélite científico, **NanosatC-BR2**, de fator de forma 2U, está quase finalizado, e deve ser lançado ainda em 2018. Levará a bordo um *transponder* para radioamador; um experimento microprocessado para determinação de atitude com magnetômetro e sensor solar; e uma placa com componentes resistentes à radiação.

Já existem alguns projetos para o monitoramento do clima espacial com *CubeSats*, como a proposta do Marshall Space Flight Center em parceria com o ITA, o Inpe e as universidades americanas de Utah, no Alabama (em Huntsville) e no Texas (em Dallas). O projeto visa ao lançamento de um *CubeSat* 6U para o monitoramento da ionosfera terrestre. O objetivo principal desta iniciativa é estudar a ionização de camadas entre 50 km e 100 km de altitude da atmosfera causada pela interação dos componentes dessas camadas com a radiação solar, além da consequente formação de bolhas de plasma que podem interferir em transmissão de rádio e recepção de sinais de GPS, por exemplo.

8. Considerações finais

Tomando como base de comparação o ano de 2005, verifica-se que, em 2017, o número de *CubeSats* colocados em operação experimentou um aumento que variou de um novo *CubeSat* a cada 4 meses para quase um novo *CubeSat* por dia.

Nesse mesmo período, o número de publicações técnico-científicas, de acordo com a base de dados *Scopus*, aumentou de 35 para 387 e o número de depósitos de patentes, de acordo com a base EPO (*European Patent Office*), passou de 2 para 114.

Esses dados indicam que há uma clara tendência mundial do uso de *CubeSats* para responder a diferentes necessidades, notadamente as relacionadas a sensoriamento remoto e aplicações científicas.

Além disso, os lançamentos de nano e microsatélites em 2017 ultrapassaram as expectativas dos analistas de mercado: houve um aumento de 205% em relação aos lançamentos de 2016. Dos cerca de 300 satélites dessas categorias lançados em 2017, a grande maioria foi de *CubeSats*. Do início de 2018 até maio desse mesmo ano, quase 70 novos *CubeSats* haviam sido lançados.

A construção de satélites com diminuição de custos, cronogramas mais curtos e pequenas equipes, se comparada à construção de satélites tradicionais, promove o acesso rápido ao espaço a instituições e países que antes estavam impedidos de ter acesso às aplicações espaciais de seus interesses. E isso está sendo proporcionado pelos *CubeSats*.

A publicação da norma ISO 19683:2017(E) (*Space systems — Design qualification and acceptance tests of small spacecraft and units*), em julho de 2017, é um indicador, em termos práticos, dessa tendência mundial. E aponta que há um interesse de diversos setores em utilizar esse tipo de artefato para as mais variadas aplicações. Essa norma apresenta os requisitos e os métodos de testes para o projeto de qualificação, de construção e aceitação de satélites de pequeno porte. Dá ênfase, ainda, à melhoria de confiabilidade dos métodos de projeto, construção e testes desse tipo de plataforma, de modo a evitar a chamada “mortalidade infantil” dos satélites após o seu lançamento em órbita, mantendo, porém, a visão de baixo custo e desenvolvimento rápido para esse tipo de satélite.

O estabelecimento dessa norma ISO é uma clara demonstração de que um novo paradigma na área espacial está se consolidando e trazendo consigo várias oportunidades que podem ser exploradas pelo setor espacial brasileiro, principalmente por empresas.

Dessa forma, desenvolver território nacional cargas úteis que possam ser embarcadas em plataformas *CubeSats* parece ser uma iniciativa interessante a ser estimulada em todo o setor espacial brasileiro, em particular, para permitir o desenvolvimento de tecnologias e o treinamento de pessoal para esse setor (VILLELA *et al.*, 2014). No caso do Brasil, várias demandas poderiam ser atendidas por meio do uso de *CubeSats*. Por exemplo, o desenvolvimento de sistemas de controle de atitude e órbita, uma

tecnologia que há anos vem sendo perseguida, pode se beneficiar de testes reais em órbita com *CubeSats* (TERABA *et al.*, 2009). O sensoriamento remoto do território nacional, foco constante do setor espacial brasileiro, também poderia testar várias soluções com *CubeSats*.

Em suma, os *CubeSats* apresentam oportunidades interessantes para o setor espacial brasileiro, incluindo a possibilidade de treinamento rápido de recursos humanos para o setor, além de todo o ciclo de desenvolvimento de missões espaciais, de testes de tecnologias de interesse para o Programa Espacial Brasileiro (PEB), de negócios para empresas nacionais e de viabilização de um projeto nacional de veículo lançador para satélites de pequeno porte. Outra oportunidade extremamente importante é o atendimento de demandas públicas e privadas, de forma rápida e com custos atraentes.

A qualidade dos equipamentos colocados em órbita tem também preocupado algumas instituições, como a NASA, que atualizou uma publicação que trata do estado da arte de tecnologias empregadas em satélites de pequeno porte e seus respectivos níveis de maturidade tecnológica (NASA, 2015).

Os números apresentados neste documento sugerem que o uso de pequenos satélites está se estabelecendo gradualmente e tal tendência cria inúmeras oportunidades no uso de aplicações espaciais para responder a diferentes demandas, como também de negócios para empresas privadas, a exemplo da situação das empresas nos EUA.

De acordo com a *Satellite Industry Association* (SIA, 2017), 45 dos 79 satélites lançados pelos EUA em 2016 foram *CubeSats*. A construção desses satélites de pequeno porte fez com que houvesse um aumento da participação da indústria norte-americana, de 63% para 64%, na receita oriunda do mercado global de satélites. Esses *CubeSats* foram lançados para prover serviços de observação da Terra realizados por empresas particulares. Assim, vê-se que o conceito de privatização do espaço, uma outra tendência atual em que as iniciativas no setor espacial começam a migrar do lado governamental para o privado, está começando a influenciar o cenário mundial e tem, nos *CubeSats*, um exemplo claro.

Os *CubeSats* mostram-se como uma boa oportunidade para que empresas brasileiras possam ingressar na atividade espacial de forma rápida e eficaz. Uma das vantagens da arquitetura aberta de *CubeSats* é que ela proporciona oportunidades claras para desenvolvedores se adaptarem de maneira objetiva e rápida aos padrões vigentes. Assim, a compra de kits no exterior, por parte de instituições nacionais, poderia ser uma possibilidade cada vez menos utilizada, o que geraria oportunidades de negócios para empresas do País.

Naturalmente, a atual forma de utilização de aplicações espaciais com satélites de alta confiabilidade e de maior porte não deve ser evitada. Os *CubeSats* não se apresentam como uma substituição desse modelo, mas sim como uma alternativa para alguns tipos de aplicações.

Há, no Brasil, o interesse de grupos universitários nesse tipo de atividade e há capital humano em número necessário para aproveitar essa tendência. No entanto, o País não possui patente referente a *CubeSats*, apesar de já terem sido depositadas 306 patentes sobre esse assunto em escala mundial.

Também não há empresas brasileiras dedicadas ao desenvolvimento de *CubeSats*, diferentemente do que ocorre nos EUA e na Europa. Na Holanda, por exemplo, está sediada a empresa Isis, fornecedora de partes e equipamentos para algumas das iniciativas brasileiras. Aparentemente, o Brasil ainda não despertou para as oportunidades que os *CubeSats* oferecem, tanto para atender a demandas objetivas por aplicações espaciais quanto para empresas se inserirem nesse novo mercado.

Uma oportunidade interessante para o setor espacial brasileiro, em especial para o setor empresarial, é o envolvimento no desenvolvimento de veículos lançadores de pequeno porte que possam se dedicar ao mercado de lançamento de *CubeSats* e de outros satélites de pequeno porte. O fato de o Brasil ter uma base como o Centro de Lançamento de Alcântara (CLA), no Maranhão, pode ser um fator importante para esse tipo de empreitada.

Caso o número de *CubeSats* lançados nos últimos três anos seja mantido, é de se esperar que algumas centenas desses objetos sejam lançadas nos próximos cinco anos. Essa possível popularização dos *CubeSats* traz à tona inúmeras oportunidades para países, instituições e empresas. Várias nações já estão se adaptando a essa nova tendência, de forma que parece ser interessante que o Brasil também aproveite essa oportunidade. Em especial, é importante que o País se prepare para ter veículos lançadores de *CubeSats* que possam participar desse mercado promissor.

É importante frisar que há as condições essenciais mínimas para aproveitar tais oportunidades no País: há recursos humanos disponíveis em número e qualidade, com capacidade de produção em várias áreas científicas e tecnológicas; há infraestrutura de lançamento, de montagem e testes de satélites; há empresas com capacidades em vários setores tecnológicos e; mais uma vez, há demandas claras, como as relacionadas ao meio ambiente, defesa, etc.

Portanto, há atualmente oportunidades para que o Brasil possa ingressar nesse novo paradigma da atividade espacial, de uma forma robusta e completa. A comparação do cenário nacional com o internacional sugere que o setor espacial brasileiro pode se beneficiar do uso de *CubeSats*. O Brasil pode enfrentar, de maneira objetiva, alguns desafios, como a formação de pessoal para o setor e o domínio de tecnologias críticas de interesse nacional, caso acompanhe essa tendência tecnológica e invista em uma estratégia de desenvolvimento de satélites de pequeno porte e seus respectivos lançadores.

Referências

BOUWMEESTER, J.; GUO, J. Survey of worldwide pico- and nanosatellite missions, distributions and subsystem Technology. *Acta Astronautica*, v. 67, n. 7-8, p. 854-862, 2010.

CUBESAT STANDARDS HANDBOOK - A Survey of international space standards with application for cubesat missions, Ed. Artur Scholz, The LibreCube Initiative. Jan. 2017. Disponível em: <<http://librecube.net>>.

KULU, E. **Nanosatellite Database**, 2017. Disponível em: <<http://www.nanosats.eu/>>.

LANGER, M.; BOUWMEESTER, J. Reliability of *CubeSats* – statistical data, developers' beliefs and the way forward. In: ANNUAL AIAA/USU CONFERENCE ON SMALL SATELLITES, 30., Logan-Utah, USA, 2016. **Proceedings...** Logan-Utah, USA, 2016. Disponível em: <<https://digitalcommons.usu.edu/smallsat/2016/TS10AdvTech2/4/>>

MUYLAERT J; REINHARD, R.; ASMA, C. QB50: An international network of 50 *CubeSats*. In: ANNUAL CUBESAT DEVELOPERS' WORKSHOP, 7., San Luis Obispo, California, USA, April 21-23, 2010. **Proceedings...** San Luis Obispo, California, USA, April 21-23, 2010. Disponível em: <http://www.CubeSat.org/images/CubeSat/presentations/DevelopersWorkshop2010/2_1020__qb50_vki_muylaert_apr2010_calpoly.pdf>.

NATIONAL ACADEMIES OF SCIENCES, ENGINEERING, AND MEDICINE – NAS. **Achieving science with CubeSats: thinking inside the box**. Washington, DC: The National Academies Press. doi:10.17226/23503, 2016.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION – NASA. GSFC. **General Environmental Verification Standard (GEVS) for GSFC Flight Programs and Projects**. (GSFC-STD-7000A). NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland, 2013.

_____. **NASA CubeSat Launch Initiative, NASACubeSat 101: Basic Concepts and Processes for First-Time CubeSat Developers** NASA *CubeSat* Launch Initiative, Oct 2017.

_____. **Small spacecraft Technology State of Art**, NASA/TP–2015–216648/REV1, 2015.

NATIONAL SCIENCE FOUNDATION – NSF. **Annual Report**. *CubeSat*-Based Science Missions for Geospace and Atmospheric Research, 2013. Disponível em: <<http://www.nsf.gov/geo/ags/uars/CubeSat/nsf-nasa-annual-report-CubeSat-2013.pdf>>. Acesso em: 31 aug. 2016.

SATELLITE INDUSTRY ASSOCIATION – SIA. **State of the satellite industry report, Bryce Space and Technology**, 2017.

SCHOLZ, A. **CubeSat Standards Handbook**. A Survey of international space standards with application for *CubeSat* missions. The LibreCube Initiative. First Issue, 2017.

SELVA, D.; KREJCI, D. A survey and assessment of the capabilities of *CubeSats* for Earth observation. **Acta Astronautica**, v. 74, p. 50–68, 2012.

SPANN, J.; SWENSON, C.; DURÃO, O.; LOURES, L.; HEELIS, R.; BISHOP, R.; LE, G.; ABDU, M.; KRAUSE, L.; FRY, C.; CDENARDINI, C.; SHIBUYA, L.; CASAS, J.; NASH-STEVENSON, S.; MURALIKRISHNA, P.; COSTA, J.; EBERLY, E.; MESMER, B.; PADUA, M. B.; WRASSE, C. The Scintillation Prediction Observations Research Task (SPORT): an international science mission using a cubesat. In: ANNUAL AIAA/USU CONFERENCE ON SMALL SATELLITES, 31., Logan UT, USA, Aug. 5-10, 2017. **Proceedings...** Logan UT, USA, Aug. 5-10, 2017. Paper: SSC17-XIII-03.

SWARTWOUT, M. The first one hundred *CubeSats*: A Statistical Look. **JoSS**, v. 2, n. 2, p. 213-233, 2013.

TARABA, M.; RAYBURN, C.; TSUDA, A.; MACGILLIVRAY, C. Boeing's *CubeSat* TestBed Attitude Determination Design and On-Orbit Experience", SSC09-X-6, In: ANNUAL AIAA/USU CONFERENCE ON SMALL SATELLITES, 23., Utah State University. Logan, Utah, Aug. 10-13 2009. **Proceedings...** Logan, Utah, Aug. 10-13 2009.

THE CUBESAT PROGRAM, Cal Poly SLO. **CubeSat Design Specification (CDS) Rev. 13**, California Polytechnic State University, 2013.

_____. **Poly Picosatellite Orbital Deployer Mk . III Rev . E User Guide**. (CP-PPODUG-1.0-1). California Polytechnic State University, 2014.

_____. **6U CubeSat Design Specification Rev. PROVISIONAL**, (CP-CDS-PROVISIONAL). California Polytechnic State University, 2013b.

TWIGGS, R. Origin of *CubeSat*. In: HELVAJIAN, H.; JANSON, S.W. Small satellite: past, present and future. El Segundo, CA: **The Aerospace Press**, p. 151-173, 2008.

VILLELA, T.; BRANDÃO, A.; LEONARDI, R. *CubeSats* e oportunidades para o setor espacial brasileiro. **Parc. Estrat.**, v. 21, n. 42, p. 91-114, 2016.

VILLELA, T.; BRANDÃO, A.; MAIA, J. Considerações sobre gerenciamento tecnológico e de recursos humanos na área espacial. **Parc. Estrat.**, v. 19, n. 39, p. 99-118, 2014.

WOELLERT, K.; EHRENFREUND, P.; RICCO, A. J.; HERTZFELD, H., *CubeSats*: Cost-effective science and technology platforms for emerging and developing nations, **Advances in Space Research**, v. 47, n. 4, p. 663–684, 2011.

Lista de figuras

Figura 1 – Algumas configurações de <i>CubeSats</i>	8
Figura 2 – Algumas categorias de satélites de acordo com sua massa	9
Figura 3 – Número de lançamentos de <i>CubeSats</i> , em função de ano e país de desenvolvimento	26

Lista de gráficos

Gráfico 1 – Crescimento da taxa de sucesso das missões envolvendo <i>CubeSats</i> ao longo dos anos 2002-2018	22
Gráfico 2 – Distribuição do número de <i>CubeSats</i> , em função do ano de lançamento	25
Gráfico 3 – Número de <i>CubeSats</i> lançados por ano e suas aplicações principais	27
Gráfico 4 – Distribuição de <i>CubeSats</i> por setor de aplicação	28
Gráfico 5 – Publicações técnico-científicas no período entre 2005 e 2017, em algumas áreas do conhecimento nas quais foram utilizados <i>CubeSats</i>	28
Gráfico 6 – Distribuição do número de contribuições técnico-científicas relacionadas a <i>CubeSats</i> no período entre 2005 e 2017	29
Gráfico 7 – Número de contribuições técnico-científicas por país no período entre 2005 e 2017	29
Gráfico 8 – Número de patentes depositadas por ano no período entre 2005 e 2017	30
Gráfico 9 – Principais países detentores de patentes depositadas no período entre 2006 e 2017	30
Gráfico 10 – Principais detentores de patentes depositadas no período entre 2005 e 2017	31

Lista de fotos

Foto 1 – <i>CubeSat</i> 1U	9
Foto 2 – <i>CubeSats</i> da empresa Planet	22
Foto 3 – <i>CubeSats</i> Dove da empresa Planet sendo lançados da Estação Espacial Internacional	23
Foto 4 – <i>CubeSat</i> NanosatC-BR1.	36
Foto 5 – <i>CubeSat</i> Itasat (6U)	37

