

Cubesats e oportunidades para o setor espacial brasileiro

Thyrso Villela¹, Alessandra Brandão², Rodrigo Leonardi³

Resumo

O uso de *cubesats* vem se configurando como uma tendência tecnológica no setor espacial que tem conquistado novos adeptos em diversos países. Os relativos baixos custos de desenvolvimento desses satélites facilitaram o acesso ao espaço a novas instituições e países. As plataformas *cubesats* veem promovendo inovações que impactam desde as práticas de desenvolvimento de sistemas espaciais até as estratégias de lançamento de satélites. Os *cubesats* são desenvolvidos com uma abordagem de aceitação de riscos diferente da comumente usada no setor espacial, o que viabiliza a realização de missões espaciais com curtos prazos de desenvolvimento, orçamentos baixos e equipes pequenas. Os eventuais riscos decorrentes do

Abstract

The use of cubesats is becoming a space technology trend that is attracting new users in many countries. The low development costs of these satellites allowed new stakeholders to access space. Cubesats are promoting innovations that affected space systems development practices and launching strategies. Moreover, their development approach is based on a flexible risk acceptance which allows attractive solutions for some space missions in short development schedules, with low budgets and small teams. The risks associated with the use of less reliable spacecrafts are compensated by the possibility of fast replacement of these artifacts in case of failure. In this article, we present a short review

-
- 1 Assessor técnico do CGEE e pesquisador titular do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe). Foi diretor de Satélites, Aplicações e Desenvolvimento da Agência Espacial Brasileira (AEB) (2008-2012) e presidente da Sociedade Astronômica Brasileira (2000-2002). É doutor em Ciências, Astronomia, pela Universidade de São Paulo (1987).
 - 2 Assessora técnica do CGEE. Foi coordenadora interina de Satélites e Aplicações da AEB e assessora técnica do Conselho Nacional de Ciência Tecnologia. É doutora em Ciências do Comportamento pela Universidade de Brasília (2009).
 - 3 Assessor técnico do CGEE. Trabalhou na Agência Espacial Europeia (2009-2015) e foi um dos responsáveis pelo gerenciamento e planejamento das operações científicas do satélite Planck. É doutor em Astrofísica pelo Inpe (2006).

uso desses artefatos de menor confiabilidade são compensados pela possibilidade de reposição também rápida desses satélites em caso de falhas. Neste artigo, apresentamos uma breve revisão do panorama mundial de *cubesats* – aplicações utilizadas, estatística de objetos lançados, produção técnico-científica – e examinamos a situação do Brasil em relação à situação internacional. Em vista dessa comparação, percebe-se que o Brasil pode se beneficiar do uso de *cubesats*, caso acompanhe essa tendência tecnológica internacional e invista em uma estratégia de desenvolvimento de satélites de pequeno porte para atender a algumas necessidades de interesse do setor espacial nacional, como o treinamento de pessoal, o acesso a aplicações espaciais, o desenvolvimento da indústria e o domínio de tecnologias críticas.

Palavras-chave: *Cubesats*. Satélites de pequeno porte. Setor espacial brasileiro.

of the use of cubesats worldwide – applications, statistics of objects, technical and scientific productions – and examine the Brazilian situation compared to the international scenario. From this comparison, one can notice that Brazil can benefit from the use of cubesats if investments in small satellite development are carried out as a strategy to address some national needs, such as human resources training, access to space applications, industry development, and domain of critical technologies.

Keywords: *Cubesats*. Small satellites. Brazilian space sector.

1. Introdução

O termo *cubesat* é um acrônimo formado pela palavra *cube* (cubo, em inglês) acrescida das três primeiras letras da palavra satélite. É usado para designar um satélite de pequeno porte em forma de um cubo, cuja aresta mede 10 centímetros e que obedece ao padrão *cubesat* descrito por uma especificação de domínio público (CAL POLY, 2014). Um *cubesat* fornece um volume útil de um litro, confinado em uma estrutura com massa de até 1,3 quilograma. Essa configuração constitui uma unidade convencionalmente denominada de 1U, que pode ser combinada para desenvolver satélites com maior capacidade (3U ou 6U, por exemplo).

A motivação original para a construção de *cubesats* foi meramente educacional. Esses artefatos foram inicialmente propostos como projetos acadêmicos que permitissem, na medida do possível e em um curto período de tempo, emular uma missão espacial real para o treinamento de estudantes (e.g. TWIGGS, 2008). Dada essa motivação, era imperativo que os custos de

desenvolvimento e operação fossem baixos, incluindo os associados ao lançamento. Para que isso pudesse ser satisfeito, entre outras restrições, foi necessário impor que a massa do satélite fosse da ordem de 1 a 3 quilogramas. Entretanto, rapidamente percebeu-se a utilidade dessa abordagem para teste e qualificação de algumas tecnologias de interesse da área espacial, como componentes e equipamentos que consomem pouca energia, ocupam pouco volume e têm pouca massa. Posteriormente, provou-se que esses pequenos satélites poderiam também cumprir missões com alguma relevância para o setor espacial. Mais recentemente, *cubesats* vêm sendo adotados em diversas aplicações espaciais, civis e militares, tais como sensoriamento remoto e desenvolvimento tecnológico, bem como na capacitação de profissionais.

Dependendo da aplicação, um *cubesat* pode ser completamente desenvolvido em um período inferior a 18 meses e chegar a custar menos de US\$ 100 mil. Essa enorme redução nos custos e no tempo de desenvolvimento permite que o setor espacial possa explorar 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 soluções espaciais, tais como as decorrentes de desastres naturais ou de situações de conflito. Por exemplo, em 2007, os Estados Unidos 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.

Os *cubesats* são também o expoente de uma tendência recente de miniaturização dos satélites. Em muitas ocasiões, o progresso tecnológico permitiu reduções significativas no volume dos mais variados equipamentos, tais como relógios, computadores e componentes eletrônicos em geral. Mas, só recentemente, com o advento do padrão *cubesat*, é que essa tendência começou a ser também observada em equipamentos espaciais.

O acesso de *cubesats* ao espaço também apresenta mudanças significativas em comparação ao acesso tradicional. Em geral, um veículo lançador coloca um ou poucos satélites em órbita a cada lançamento. Com os *cubesats*, essa lógica está sendo alterada. Há a possibilidade de inserção em órbita de dezenas desses objetos a cada lançamento, o que torna o custo individual de lançamento bastante reduzido. Por exemplo, em 2013, 84 desses pequenos satélites foram levados à Estação Espacial Internacional como carga comum e, de lá, inseridos em órbita. Em 2014, 37 satélites foram colocados em órbita por meio de um único lançamento do veículo Dnepr, da Rússia.

Em suma, quando os primeiros *cubesats* surgiram, havia a percepção que eles eram uma categoria de satélites de brinquedo utilizados por estudantes universitários e amadores. Alguns preconizavam o seu uso apenas como elementos de treinamento de recursos humanos ou, talvez, para teste de algumas tecnologias. No entanto, os *cubesats* se mostraram uma inovação bastante atraente no setor espacial. Hoje em dia, vários tipos de usuários estão envolvidos no desenvolvimento de *cubesats*, desde amadores e instituições universitárias, até companhias comerciais e empresas que foram criadas com o propósito de colocar no espaço constelações de *cubesats* para explorar aplicações como sensoriamento remoto da Terra e, até mesmo, telecomunicações.

Os *cubesats* estão sendo desenvolvidos por meio de uma arquitetura aberta para os subsistemas mais comuns, o que favorece o conceito de “containerização” e facilita o uso de módulos, tanto para o desenvolvimento de missões quanto para o lançamento dos satélites ao espaço. Essa padronização das funcionalidades por módulos simplifica a metodologia de testes, fornece flexibilidade de lançamento e tem atraído a atenção dos mais variados *stakeholders*, em diversos nichos de aplicações e de mercado. Outra característica atraente para a adoção de *cubesats* é o emprego de componentes comerciais de uso rotineiro conhecidos como *commercial off-the-shelf* (Cots), que contribuem para a diminuição do custo e do tempo de desenvolvimento de missões espaciais.

No entanto, há desvantagens. Por exemplo, o aumento sem precedentes do número de objetos lançados ao espaço nos últimos anos gerou uma preocupação entre os setores que tradicionalmente utilizam as aplicações espaciais, como o comercial e o militar. Essa preocupação se deve ao fato de que pequenos satélites, em especial os *cubesats*, são potenciais geradores de detritos espaciais. Em vista disso, em 2014, foram propostas ações que levassem a uma padronização dos requisitos relacionados a satélites de pequeno porte, por meio de normas ISO. A *International Academy of Astronautics* (IAA) também iniciou estudos visando a esse objetivo. Como consequência dessas discussões, a expressão *lean satellite* foi recentemente sugerida como a mais apropriada para descrever os satélites desenvolvidos com abordagens de aceitação de riscos diferentes das comumente usadas no setor espacial, o que incluiria vários satélites de pequeno porte, entre esses, os *cubesats*. Dessa forma, não seriam a massa e o volume dos satélites que os enquadrariam nessa definição de *lean satellites* e sim a metodologia de desenvolvimento relacionada à sua confiabilidade, que visa à construção rápida de artefatos a um custo baixo e com equipes pequenas. O tamanho desses artefatos seria uma consequência natural da aplicação dessa metodologia (cf. CHO, 2015).

O Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE) conduz um projeto denominado Observatório de Tecnologias Espaciais (OTE) que busca identificar tendências tecnológicas relevantes para o setor espacial brasileiro. O primeiro boletim do OTE apresentou alguns dados sobre o uso de *cubesats* no setor espacial (CGEE, 2016). Neste artigo, são revisados os dados mais recentes sobre o uso de *cubesats* e são mostradas algumas oportunidades que esses pequenos satélites representam para o setor espacial brasileiro.

2. Atividades técnico-científicas relacionadas a *cubesats* no período entre 2005 e 2015

De acordo com Swartwout (2013), o ano de 2005 pode ser adotado como o início oficial da era dos *cubesats*. No entanto, historicamente, cabe mencionar que o primeiro *cubesat* foi de fato lançado ao espaço em 2003 e alguns outros objetos lançados poucos anos antes são considerados precursores do atual padrão *cubesat*. 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* por 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, fornecida no Gráfico 1. Até o final de 2015, um total de 434 *cubesats* tinha sido lançado ao espaço. Nesta seção, apresentamos alguns dados de uma década de atividades de *cubesats*, visando a descrever características gerais dessa tendência tecnológica⁴.

4 Existem algumas bases de dados públicos sobre satélites que podem ser utilizadas para a obtenção de estatísticas sobre *cubesats*. Neste trabalho, foi adotada a da *Saint Louis University*, EUA (SWARTWOUT, 2013) que, no conhecimento dos autores, é a base de dados sobre *cubesats* mais completa e confiável até a presente data.

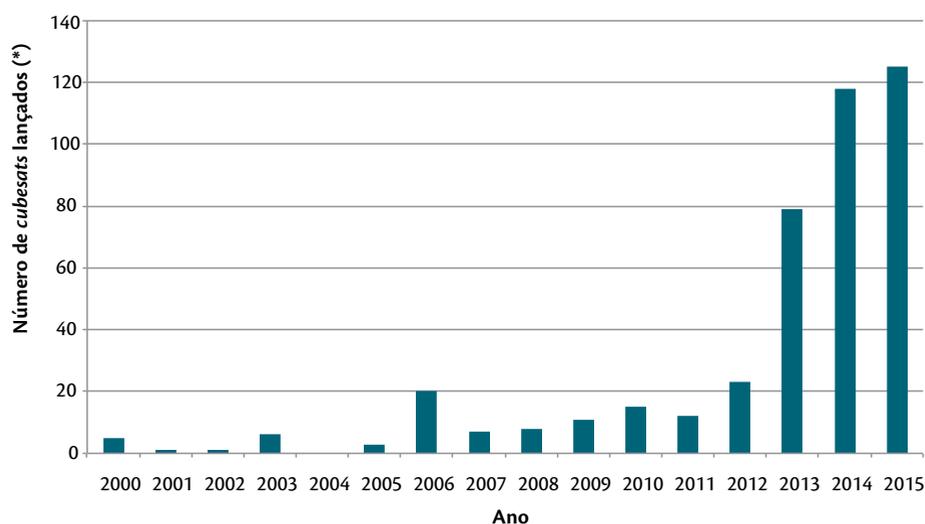


Gráfico 1. Distribuição do número de *cubesats* em função do ano de lançamento. Até o final de 2015, um total de 434 *cubesats* tinha sido lançado ao espaço. Desse total, 421 foram lançados no período entre 2005 e 2015.

(*) De acordo com o banco de dados de *cubesats* da Saint Louise University

Os Estados Unidos são inquestionavelmente o país líder no setor de *cubesats*, sendo responsáveis por 76% dos objetos lançados até o final de 2015. Mesmo assim, essa tendência tecnológica tem transbordado fronteiras e vem conquistando adeptos a ponto de ter se tornado um fenômeno global, dado que, até 2015, 36 países já haviam operado pelo menos um *cubesat* no espaço. A Figura 1 apresenta o histórico de lançamentos de *cubesats* por país. O Brasil, por exemplo, lançou seu primeiro *cubesat* em 2014, tendo lançado no total, até 2015, três *cubesats*. Alguns outros *cubesats* brasileiros estão em desenvolvimento e deverão ser colocados em órbita em um futuro próximo.

País	Número de <i>cubesats</i> lançados															Total de <i>cubesats</i>	
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014		2015
China														4			4
Uruguai														1			1
Ucrânia														1			1
Taiwan														1			1
Israel														1			1
Rússia														2			2
Lituânia														2			2
Bélgica														2			2
Brasil													1	2			3
Suécia													1				1
África do Sul													1				1
Paquistão													1				1
Equador													2				2
Argentina													2				2
Peru													1	2			3
Reino Unido													2	1	1		4
Singapura													1	2	3		6
Romênia													1				1
Polônia													1				1
Hungria													1				1
França													1				1
Vietnã													1	1			2
Espanha													1	2			3
Itália													2		1		3
Índia																1	1
Suíça																1	1
Turquia																1	1
Países Baixos																2	2
Colômbia																1	1
Coreia do Sul																3	3
Noruega																1	1
Alemanha																1	2
Canadá																1	1
Dinamarca																2	2
Japão																2	1
Estados Unidos	5	1	1	1			15	6	3	6	10	11	12	51	95	112	329

Figura 1. Número de lançamentos de *cubesats* em função de ano e país. Algumas iniciativas ocorrem em colaborações internacionais com diversas organizações e países envolvidos. Os países identificados nesta figura correspondem às nações onde estão situadas as sedes das organizações que lideraram o desenvolvimento e a integração dos satélites.

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 ajudam na compreensão do panorama atual das atividades relacionadas a esses satélites e apontam que os *cubesats* estão se consolidando no setor espacial como uma alternativa interessante para o atendimento de várias demandas por aplicações espaciais.

O Gráfico 2 mostra os tipos de aplicações para as quais os *cubesats* já foram utilizados e a evolução temporal dos lançamentos. Basicamente, *cubesats* têm sido empregados para fins educacionais, científicos, militares, de demonstração de tecnologias, de comunicação e de sensoriamento remoto da Terra. O uso para fins educacionais tem permanecido aproximadamente constante ao longo dos anos e, recentemente, percebe-se um aumento significativo no uso de *cubesats* em aplicações para sensoriamento remoto e desenvolvimento tecnológico.

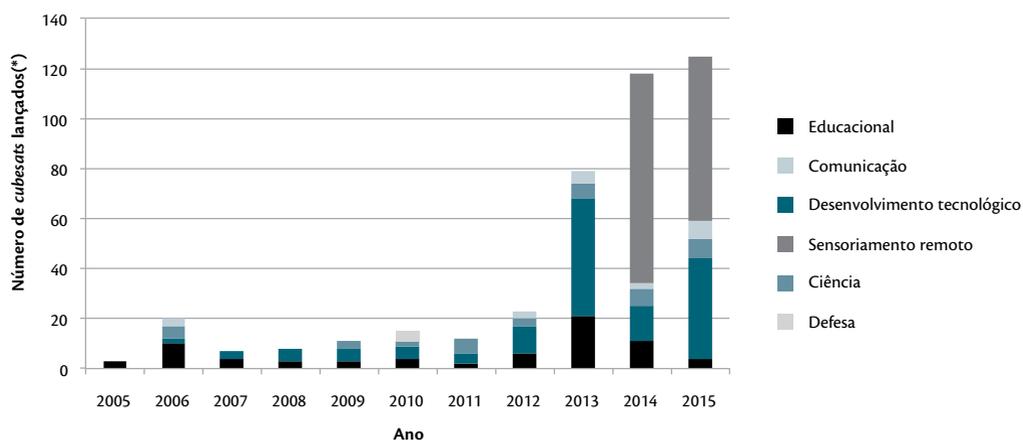


Gráfico 2. Número de *cubesats* lançados por ano no período entre 2005 e 2015 e as aplicações genéricas para as quais foram destinados.

(*) De acordo com o banco de dados de *cubesats* da Saint Louise University

Alguns *cubesats*, a partir de 2014, passaram a integrar a frota de satélites brasileiros em uma indicação de transbordamento, para o Brasil, dessa tendência que vem se firmando no setor espacial mundial. O NanoSatC-Br1, lançado em 2014, foi o primeiro *cubesat* brasileiro enviado ao espaço. Trata-se de um satélite de 1U do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe) para desenvolvimento tecnológico, aplicações científicas (teste de circuitos integrados projetados no Brasil e estudo da Anomalia Magnética do Atlântico Sul) e treinamento de estudantes. Partes desse *cubesat*, como a plataforma e o magnetômetro utilizado na carga útil, foram compradas de empresas estrangeiras, como as holandesas *Innovative Solutions In Space* (ISIS) e *Xensor*

Integration. A ISIS é uma empresa fundada em 2006 por profissionais oriundos da *Delft University of Technology*, nos Países Baixos, e que apostou nas possibilidades de negócios que o mercado de pequenos satélites estava sinalizado. As partes desenvolvidas no Brasil consistiam 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 AESP-14 foi o segundo *cubesat* brasileiro enviado ao espaço. Lançado da Estação Espacial Internacional em fevereiro de 2015, esse *cubesat* apresentou uma falha no sistema de abertura de uma antena de transmissão que, infelizmente, impediu o seu funcionamento. Ambos contaram com o apoio de um convênio firmado entre a Agência Espacial Brasileira (AEB) e o Laboratório de Sistemas Integráveis Tecnológico (LSI-TEC). O Serpens foi o terceiro *cubesat* brasileiro enviado ao espaço. Lançado em agosto de 2015, esse satélite tinha como principal objetivo qualificar engenheiros, estudantes e pesquisadores no Brasil. O Serpens operou com sucesso até março de 2016. Outros *cubesats* estão sendo desenvolvidos no País, como é o caso do Itasat-1, do 14-BISat e do NanoSatC-Br2. Há também uma concepção de constelação de *cubesats*, chamada Conasat, que visa a qualificar um *transponder* de coleta de dados desenvolvido no Inpe. Até o momento, as aplicações a que foram dedicados os *cubesats* nacionais se restringiram ao teste de algumas tecnologias de interesse do setor espacial brasileiro, à exploração de alguns temas científicos e ao treinamento de estudantes universitários. Esse panorama nacional é consistente com o que ocorreu nos EUA nas primeiras missões *cubesats* daquele país.

Diferentes instituições ao redor do mundo estão envolvidas no desenvolvimento e na utilização de *cubesats*. Universidades continuam sendo um grande motor desse desenvolvimento, mas, atualmente, empresas como Planet Labs, Skybox e OneWeb têm alterado essa situação e devem revolucionar o mercado de satélites com o oferecimento de serviços em áreas tradicionalmente dominadas por grandes companhias comerciais. Demandas por aplicações espaciais, como sensoriamento remoto da Terra, telecomunicações e defesa, podem, na atualidade, ser atendidas por alternativas interessantes às formas tradicionais, com a possibilidade de utilização de satélites mais baratos e de curto tempo de desenvolvimento. O Gráfico 3 exibe a distribuição de *cubesats* lançados em função do tipo de organização que liderou o desenvolvimento e a integração desses satélites. É importante ressaltar que a participação de organizações comerciais já abarca mais de 40% da frota de *cubesats*. No Brasil, organizações governamentais e instituições de ensino superior têm participado diretamente no desenvolvimento de *cubesats*. Dentre estas, encontram-se o Inpe, a AEB, o Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), o Instituto Federal Fluminense (IFF), o Instituto Mauá de Tecnologia, a Universidade de Brasília (UnB) e as demais

universidades federais de Santa Maria (UFSM), do ABC (UFABC), de Minas Gerais (UFMG) e de Santa Catarina (UFSC).

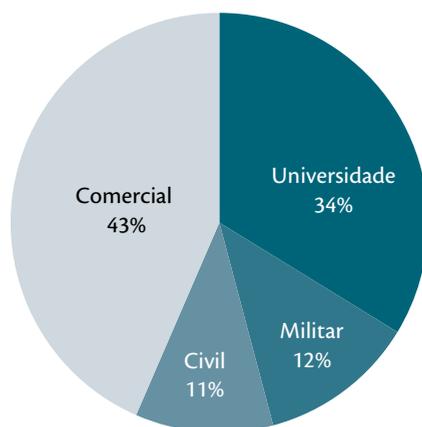


Gráfico 3. Distribuição de *cubesats* lançados no período entre 2005 e 2015 em função do tipo de organização que liderou o desenvolvimento e a integração do satélite.

Fonte: Saint Louis University cubesat database.

Apesar de, nos últimos anos, a tendência do uso de *cubesats* ter aumentado consideravelmente, ainda persistem desconfiças sobre a eficácia da nova metodologia de projeto, construção e testes adotada no desenvolvimento desses satélites. O índice de falhas nos lançamentos pode preocupar, uma vez que vários artefatos podem ser destruídos ao mesmo tempo. Cerca de 30% dos objetos inseridos em órbita não cumpriram satisfatoriamente suas missões. Esse número ainda justifica a relutância de alguns críticos quanto à confiabilidade das missões espaciais que empregam *cubesats*. Os Gráficos 4a, 4b e 4c expõem a estatística de sucessos dessas missões. É interessante notar que as falhas de *cubesats* em voo diminuiram nos últimos anos. Contudo, os insucessos no lançamento permanecem altos devido à estratégia de lançamentos múltiplos. Por exemplo, em outubro de 2014, a empresa Planet Labs perdeu 26 *cubesats* em um único lançamento.

Outra maneira de examinar a tendência de emprego de *cubesats* para missões espaciais é inspecionar a produção técnico-científica, da última década, relativa a esse tema. No período entre 2005 e 2015, a base de dados Scopus registra 1.337 documentos técnico-científicos publicados por meio de artigos em periódicos e anais de congressos. Foi utilizado como palavra-chave de busca apenas o termo *cubesat*⁵. O Gráfico 5 exibe as áreas do conhecimento relacionadas ao uso de *cubesats* nessas publicações.

5 Não foram considerados como palavras-chave os termos nanossatélite e picossatélite. Ao se adicionar tais termos, o número total de documentos passa para 1.801. Assim, foi feita a opção de manter como palavra-chave apenas o termo *cubesat* para padronizar buscas sobre outros indicadores, como patentes e evolução temporal de termos.

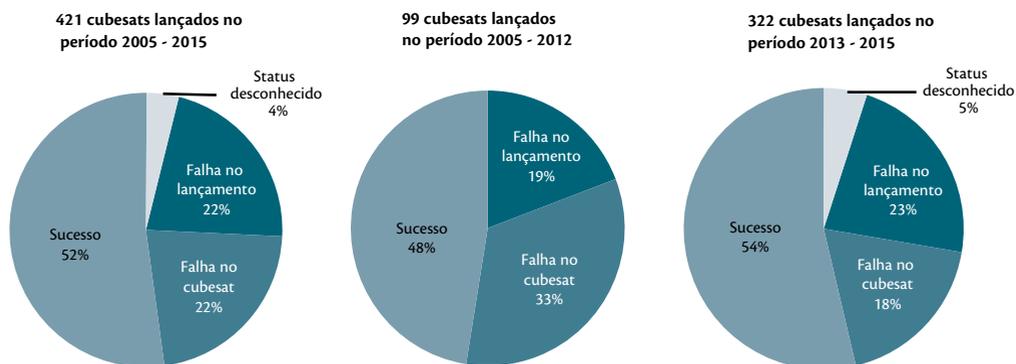


Gráfico 4. (4a, 4b e 4c) -Estatísticas de falhas e sucessos das missões *cubesats*.

Fonte: Saint Louis University cubesat database.

Nota: O Gráfico 4a mostra a estatística relativa ao período entre 2005 e 2015; o Gráfico 4b representa o período entre 2005 e 2012; e o Gráfico 4c expõe o período entre 2013 e 2015, quando houve um aumento substancial do número de lançamentos de *cubesats*, conforme apresentado no Gráfico 1.

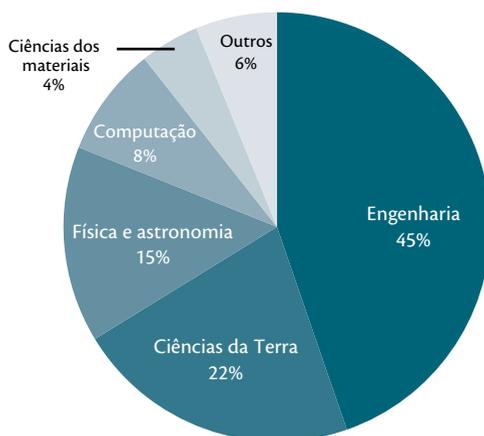


Gráfico 5. Áreas do conhecimento relacionadas ao uso de *cubesats* citadas em publicações técnico-científicas no período entre 2005 e 2015.

Fonte: Scopus.

É possível perceber, por meio do Gráfico 6, o crescimento do número de contribuições técnico-científicas relacionadas a *cubesats* neste mesmo período. Esses dados corroboram a tendência de aumento de interesse por esse tipo de artefato no setor espacial.

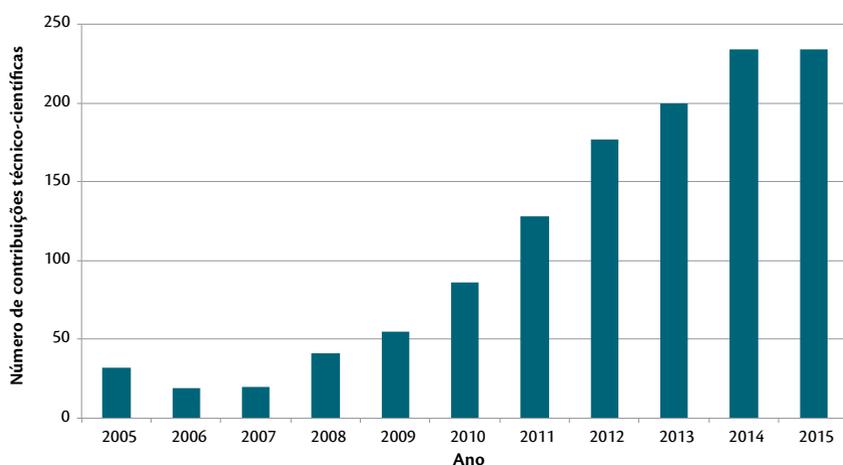


Gráfico 6. Distribuição do número de contribuições técnico-científicas relacionadas a *cubesats* no período entre 2005 e 2015. O gráfico evidencia um total de 1337 documentos técnico-científicos publicados em artigos em periódicos e anais de congressos.

Fonte: Scopus.

O Gráfico 7 apresenta o número de contribuições técnico-científicas por país. O Brasil apresenta uma participação que pode ser considerada boa nesse cenário, apesar de não ser muito expressiva.

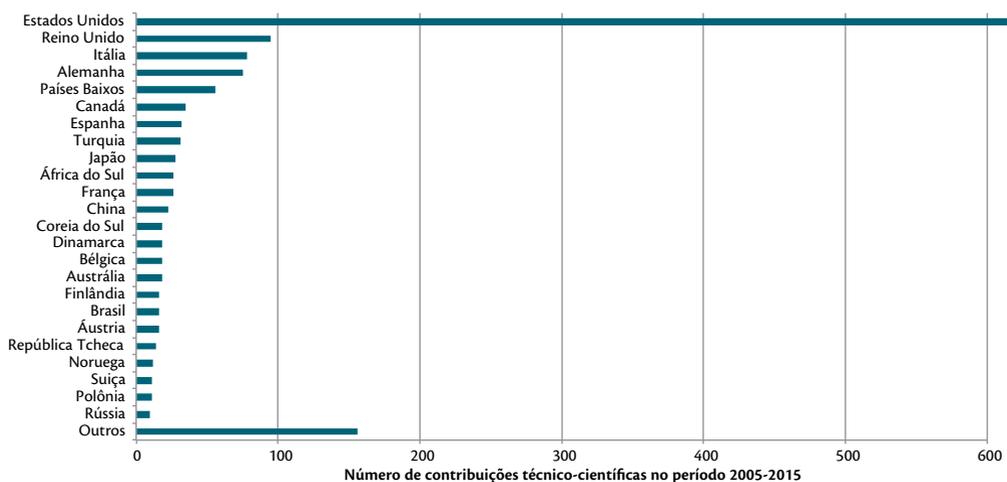


Gráfico 7. Número de contribuições técnico-científicas por país, no período entre 2005 e 2015. Alguns artigos internacionais foram contabilizados para mais de um país.

Fonte: Scopus.

O número de depósitos de patentes relacionadas a *cubesats* também vem aumentando nos últimos anos, acompanhando, de forma similar, a tendência de aumento 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) registra, no período compreendido entre 2005 e 2015, um total de 112 depósitos desses documentos, nos quais a palavra-chave de busca foi *cubesat*⁶. Houve um aumento considerável desse número entre 2005, quando apenas 2 patentes foram registradas, e 2015, quando houve 47 depósitos. O Gráfico 8 expõe esses dados. Nenhuma dessas patentes é de autoria de instituição ou inventor brasileiros.

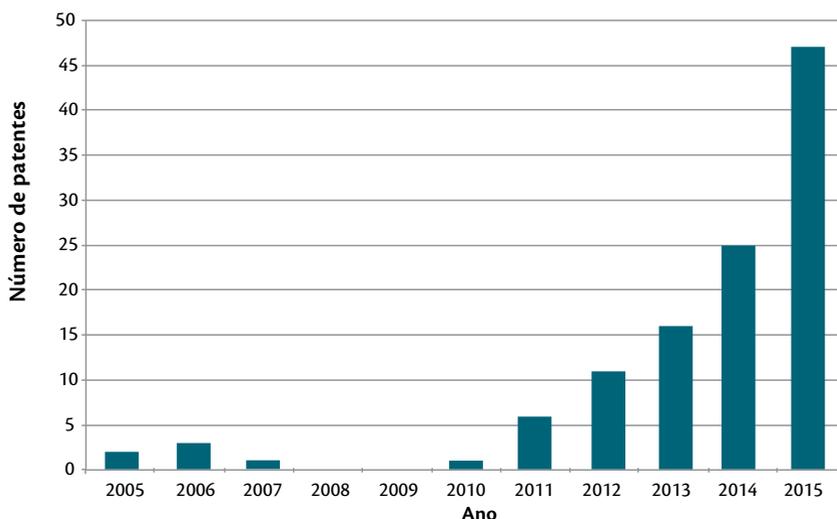


Gráfico 8. Número de patentes depositadas por ano no período entre 2005 e 2015, totalizando 112 relacionadas a *cubesats*.

Fonte: *European Patent Office*.

O Gráfico 9 revela os principais detentores de patentes relacionadas a *cubesats*. É interessante notar, entre esses, a presença de empresas privadas, como *Raytheon*, *Aerospace Corporation*, *Northrop Grumman* e *Skybox*. Esta última, por exemplo, tem planos ambiciosos para explorar o nicho relacionado a *cubesats*.

⁶ Não foram considerados como palavras-chave os termos nanossatélite e picossatélite. Ao se adicionar tais termos, o número total de patentes passou para 135. Foi feita a opção de manter como palavra-chave apenas o termo *cubesat* para padronizar buscas sobre outros indicadores, como publicações e evolução temporal de termos.

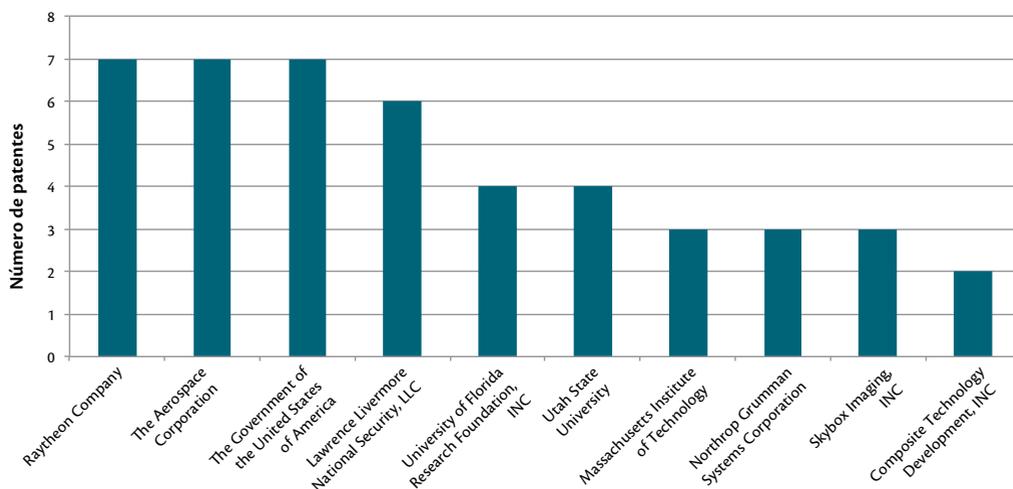


Gráfico 9. Principais detentores de patentes depositadas no período entre 2005 e 2015.

Fonte: European Patent Office.

Ainda no período de 2005 e 2015, os EUA aparecem como o país que mais depositou patentes (87%), por meio de instituições públicas, universidades e empresas. A China vem na sequência (4%). O Gráfico 10 mostra a distribuição de patentes por país.

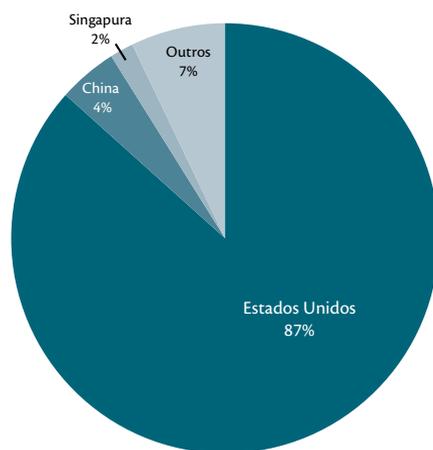


Gráfico 10. Principais países detentores de patentes depositadas no período entre 2005 e 2015.

Fonte: European Patent Office.

Com o intuito de fazer um levantamento da evolução temporal de termos relacionados a *cubesats* em alguns tipos de publicações, como artigos técnico-científicos divulgados em periódicos especializados e anais de congressos, foi utilizada a ferramenta *insightData* do CGEE,

que é capaz de ser ajustada para fazer buscas em diversas fontes de informação e gerar um banco de dados de acordo com as expressões utilizadas para realizar tais buscas. O aumento da frequência de termos na literatura técnico-científica é um indicador do interesse que um dado tema, identificado por certos termos ou expressões textuais, vem despertando na comunidade técnico-científica. Foram analisados 509.272 documentos referentes ao período compreendido entre 2005 e 2015 e que se encontram na base de dados do CGEE relacionados a *cubesats*. Desses, 1976 referiam-se a sistema de controle de atitude e órbita (AOCS, do inglês, *attitude and orbit control system*), que é uma das tecnologias de interesse do Programa Espacial Brasileiro. Dentro dessa categoria, a expressão “*attitude control*” foi utilizada para ilustrar a evolução temporal dessa tecnologia no âmbito dos *cubesats*. O Gráfico 11 ilustra essa evolução.

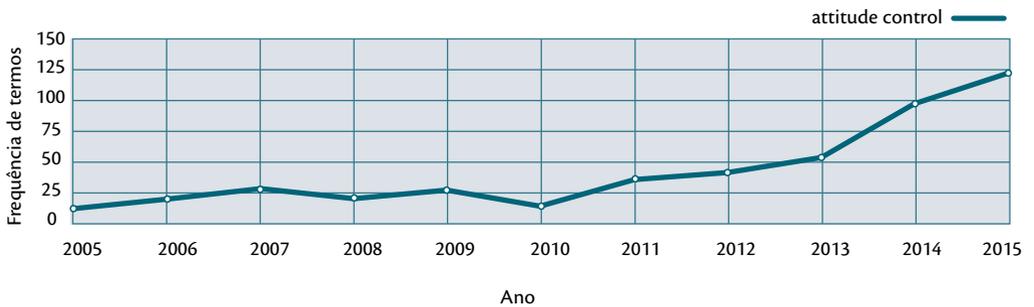


Gráfico 11. Evolução temporal da expressão “*attitude control*” relacionada a *cubesats* no período 2005-2015.

De forma a avaliar os recursos humanos no Brasil que já estejam desenvolvendo trabalhos relacionados a *cubesats*, foi utilizada a ferramenta *InsightNet* do CGEE para formar a rede de conhecimento sobre esse tema, com base nas informações curriculares que constam na Plataforma Lattes do CNPq. Tais informações registram contribuições efetivamente realizadas pelos autores, de modo que se constituem em um indicador confiável sobre a capacidade técnico-científica nacional em diferentes áreas do conhecimento. No total, a ferramenta encontrou 157 pessoas, em diferentes níveis de especialização, cujas informações curriculares evidenciam contribuições relacionadas ao tema *cubesat*. Os níveis de formação desses profissionais são: 31 graduados, 27 mestres, 66 doutores, 4 especialistas e 29 estudantes de graduação. A Figura 2 ilustra como se dão os relacionamentos nessa rede.

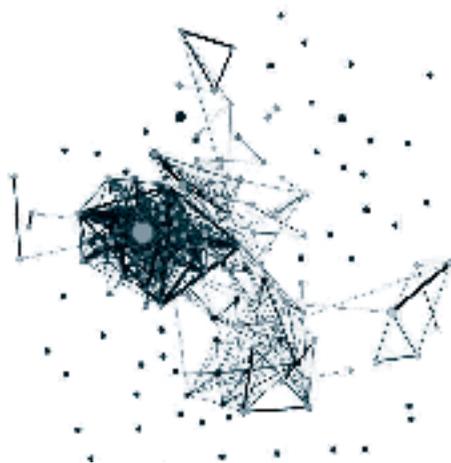


Figura 2. Rede de conhecimento relacionada a *cubesats* no Brasil.

Nota: O diâmetro dos círculos representa a produção técnico-científica da pessoa e as cores dos círculos identificam as sub-áreas do tema em que elas atuam. A análise das redes obtidas por essa ferramenta é fundamental para selecionar profissionais que possam desenvolver trabalhos relacionados a *cubesats*. A rede representada nesta figura é composta por um total de 157 profissionais.

3. Oportunidades que os *cubesats* representam para o setor espacial brasileiro

As diferentes aplicações para as quais os *cubesats* foram dedicados, as instituições e países envolvidos nos seus desenvolvimentos, o número de objetos lançados e a produção técnico-científica, incluindo patentes, mostram que o interesse nesse tipo de artefato tem aumentado de forma significativa nos últimos anos e que essa tendência tem se consolidado nos EUA e transbordado para diversos outros países.

Tomando como base de comparação o ano de 2005, por exemplo, verifica-se que, após uma década de atividades, o número de *cubesats* colocados em operação experimentou um aumento que variou de 1 novo *cubesat* em operação a cada 4 meses para 1 novo *cubesat* em operação a cada 3 dias. Nesse mesmo período, o número de publicações técnico-científicas, de acordo com a base de dados Scopus, aumentou de 32 para 234 e o número de depósitos de patentes, de acordo com a base EPO, passou de 2 para 47.

Os *cubesats* deixaram de ser uma tecnologia desenvolvida com fins meramente educacionais e acadêmicos para se tornar uma tecnologia atrativa para uso por parte de organizações comerciais (SPACEWORKS, 2016) e militares (GALLIAND, 2010). Esses números e fatos indicam que os *cubesats* se tornaram uma forte tendência no setor espacial e, além disso, trazem consigo um considerável potencial inovador disruptivo, pois, em função de seus baixos custos de desenvolvimento e de lançamento, diversas aplicações espaciais passaram a ser acessíveis a países e instituições que não tinham acesso ao espaço.

Os números apresentados neste trabalho sugerem que a tendência de uso de pequenos satélites está se estabelecendo de forma sustentável. Tal tendência cria inúmeras oportunidades no uso de aplicações espaciais para atender a diferentes demandas, assim como oportunidades de negócios para empresas privadas. Tais oportunidades podem ser exemplificadas pela situação das empresas nos EUA. De acordo com a *Satellite Industry Association* (SIA, 2016), dos 119 satélites que foram construídos pelos EUA e lançados em 2015, 89 eram *cubesats*. Os *cubesats* foram responsáveis por dobrar a participação da indústria dos EUA na construção dos satélites lançados em 2015, que saltou de 32% para 64%, embora tal fato não tenha se traduzido em aumento significativo de receita (o aumento foi menor que 1%).

Ademais, em 2005, as universidades foram responsáveis por 100% dos *cubesats* construídos. Desde então, elas veem dando lugar às empresas que, em 2015, desenvolveram 62% desses artefatos. Assim, percebe-se que o conceito de privatização do espaço tem nos *cubesats* um exemplo interessante.

Os *cubesats* mostram-se como uma oportunidade excelente 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 instituições nacionais, poderia ser uma possibilidade cada vez menos utilizada, o que geraria oportunidades de negócios para empresas nacionais.

Por obedecerem a uma nova lógica, na qual a confiabilidade e, conseqüentemente, os custos de construção e de testes podem ser diminuídos, o tempo de desenvolvimento como um todo é igualmente reduzido. Os riscos associados ao uso de artefatos espaciais com confiabilidade menor que a exigida pela atual geração de satélites são amplamente compensados pela possibilidade de rápida reposição desses artefatos, em caso de falhas. Mais ainda, por se configurarem como alternativa rápida e de baixo custo de acesso ao espaço, os *cubesats* podem prover dados de forma muito mais ágil e a um custo muito menor em relação à atual forma de explorar as aplicações espaciais por meio de satélites de maior porte.

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. Convém destacar que setores brasileiros potencialmente beneficiários, de forma direta, das aplicações espaciais, como os de defesa e de monitoramento ambiental, podem ter nos *cubesats* uma forma bastante objetiva de atendimento rápido de suas necessidades de informações sobre o território nacional e a um custo muito mais baixo que os inerentes à forma tradicional de acesso ao espaço.

Há um exemplo recente no Brasil que pode ser citado para ilustrar o fato de que *cubesats* poderiam ter sido utilizados para ajudar no monitoramento do território nacional: em abril de 2010, o satélite CBERS 2B parou de funcionar. No entanto, só foi possível colocar em órbita outro satélite para desempenhar função semelhante em dezembro de 2014. Caso tivesse havido uma resposta rápida do setor espacial brasileiro, por meio do lançamento de pequenos satélites – mesmo com tempos curtos de vida útil no espaço e com instrumentos mais simples que os utilizados por satélites de grande porte –, teria sido possível gerar informações básicas sobre o território nacional, evitando, dessa forma, o hiato temporal de falta de dados. Evidentemente, há sempre a possibilidade de compra de dados ou recebimento gratuito de dados de outros satélites estrangeiros, mas a capacidade nacional de gerar dados próprios para atender, de forma autônoma, os interesses do País, deve ser perseguida.

Além das vantagens da arquitetura aberta, a padronização de métodos de teste e de aceitação de subsistemas e sistemas relacionados a *cubesats* certamente impulsionará ainda mais o desenvolvimento desse tipo de artefato e facilitará o acesso de novos atores ao mercado de satélites de pequeno porte. Atualmente, está em discussão a norma ISO/TC20/SC14, que visa à padronização de testes para os “*lean satellites*”. Outra norma em discussão é a ISO/CD/19683 (*Design Qualification and Acceptance Tests of Lean Satellites and Units*), que descreverá os requisitos mínimos de teste e os métodos para qualificação de satélites comerciais, incluindo a aceitação do produto final. O objetivo desta última é contribuir para a redução das falhas que podem ocorrer imediatamente após a colocação do satélite em órbita, mantendo as premissas de baixo custo e rapidez para o acesso ao espaço. O estabelecimento dessas normas ISO é uma clara demonstração de que um novo paradigma está se firmando no setor espacial. Esse novo modelo traz consigo várias oportunidades com potencial de serem exploradas pelo setor espacial brasileiro, principalmente por empresas. A qualidade dos equipamentos colocados em órbita tem também preocupado algumas instituições, como a *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), que atualizou uma publicação sobre o estado da arte de tecnologias empregadas em satélites de pequeno porte e seus respectivos níveis de maturidade tecnológica

(NASA, 2015). Um estudo da Academia Nacional de Ciências dos Estados Unidos recomendou, recentemente, o aumento do apoio financeiro para criação de oportunidades de uso de plataformas *cubesats* (NAS, 2016).

Ao confrontar as informações do cenário internacional com as do nacional, vê-se que o Brasil segue os passos que os EUA deram no início da era desses pequenos satélites, no que diz respeito ao envolvimento de universidades. 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 Brasil não possui patente referente a *cubesats*, apesar de já terem sido depositadas 131 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, onde, por exemplo, está sediada a empresa ISIS, fornecedora de partes e equipamentos para algumas das iniciativas brasileiras. Essas informações indicam que o Brasil ainda não despertou totalmente para as oportunidades que os *cubesats* oferecem, tanto para atender demandas objetivas por aplicações espaciais quanto para empresas se inserirem nesse novo mercado.

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 Agência Espacial Brasileira (AEB) em 2008. Tal iniciativa se materializou em 2009, na forma de um convênio com a Associação do LSI-TEC, ligada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, com a finalidade de “promover estudos para a elaboração de plano estratégico para iniciativas de capacitação nacional em satélites de pequeno porte”. Na justificativa de celebração desse convênio (AEB, 2009), 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.

Os satélites de pequeno porte, de modo geral, apresentam uma série de vantagens, do ponto de vista filosófico e político, que podem ser fundamentais para um rápido desenvolvimento do setor. Podem ser testadas novas metodologias de gestão de projetos, como o *design*

conjunto dos subsistemas, funcionando como um laboratório de concepções de soluções alternativas e inovadoras e melhorando as novas ferramentas de gestão de projetos.

As inovações normalmente ocorrem nas universidades, ao passo em que formam recursos humanos altamente qualificados, e seguem um padrão passando por centros de pesquisas e atingem a maturidade quando são transferidas para a indústria e posteriormente produzidas para a sociedade por meio dos *spins-offs*. Neste sentido, os satélites de pequeno porte são praticamente imbatíveis quando se trata da reutilização dos subsistemas e a utilização da inovação em um subsistema com redundância, onde está presente o novo sem deixar de lado o já qualificado, propiciando o desenvolvimento regional através de um acesso rápido e barato ao espaço, numa abordagem até então inexistente no Brasil.

Além da vocação de formação existente nos satélites de pequeno porte há também os objetivos técnicos, como científicos, meteorológicos e até sociais. Destacam-se as aplicações de ordem científica, meteorológica e também de sensoriamento remoto, as quais podem ser utilizadas em prol dos estudos demográficos, do manejo florestal, da defesa das fronteiras, do planejamento urbano, da agricultura e da defesa civil.

Por fim, o modelo de negócios envolvido nos programas de satélites de pequeno porte possui o foco voltado para a formação de recursos humanos e desenvolvimento de componentes realizado no País, fortalecendo a indústria e evitando problemas com embargos estrangeiros. Os subsistemas desenvolvidos são reutilizáveis, o que diminui o custo individual, com o aumento de missões, e o tempo de desenvolvimento, fabricação e integração, o que torna o programa menos propenso a rotatividade nas equipes envolvidas. No futuro, é possível tornar comercial este modelo proposto e iniciar vendas dos kits de satélites para países parceiros interessados.

Portanto, há cerca de 7 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, de uma forma estruturada, promovida pelo órgão responsável pela coordenação das atividades espaciais no Brasil, a AEB. Outras iniciativas, como a de grupos de pesquisa ligados ao Inpe, também foram feitas nessa época, sendo que, uma delas, resultou no projeto NanoSatC-Br1.

4. Considerações finais

O Brasil ainda não se engajou de forma clara nessa nova tendência tecnológica, como mostram os dados compilados neste trabalho. O País poderia se utilizar de satélites de pequeno porte para acelerar o domínio de várias tecnologias relevantes para o setor espacial brasileiro, além de treinar recursos humanos para esse setor (e.g. VILLELA *et al.*, 2014). Espera-se que seja possível haver um planejamento do setor espacial nacional que inclua a utilização de satélites de pequeno porte no rol de ações a serem levadas a cabo imediatamente, para que o Brasil possa usar em seu benefício as oportunidades apresentadas pelo novo paradigma que emerge no cenário mundial.

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 às maneiras como são lançados ao espaço. Diferentemente da lógica tradicional vigente, em que a maioria dos lançamentos de satélites se dá por meio de veículos dedicados, com poucos lançamentos compartilhados (múltiplos ou em modo piggy-back), os *cubesats*, em função da motivação de sua origem, não são os artefatos principais nos lançamentos. Por isso, estão gerando também uma inovação no mercado de lançadores. Com os cubesats, a utilização de lançamentos múltiplos teve um aumento considerável nos últimos anos. Essa nova tendência aponta claramente para a necessidade de 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 desses artefatos.

Nesse ponto em particular, parece haver uma grande oportunidade para o Brasil preencher esse nicho de mercado, uma vez que há uma sinergia com o projeto de construção do Veículo Lançador de Microsatélites (VLM). 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* que possa colocar em órbita tais artefatos a um custo inferior a US\$ 2 milhões por veículo lançador (NASA, 2013).

Os dados mostram também que o uso de *cubesats* para atender a diferentes tipos de aplicações espaciais (e.g. NSF, 2013) e para treinamento de pessoal vem se firmando nos EUA e já está influenciando outros países (e.g. MUYLEAERT *et al.*, 2010). Caso o aumento do número de *cubesats* lançados nos últimos 3 anos seja mantido, é de se esperar que algumas centenas desses objetos sejam lançados nos próximos 5 anos. Essa possível popularização dos *cubesats* traz à tona inúmeras oportunidades para países, instituições e empresas. Vários países já estão se adaptando a essa nova tendência, de forma que parece ser interessante ao Brasil também aproveitar essa oportunidade.

É importante frisar que o Brasil reúne as condições essenciais mínimas para aproveitar tais oportunidades: há recursos humanos disponíveis no País 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 um projeto de lançador, como o VLM; há empresas com capacidades em vários setores tecnológicos; e, mais uma vez, há demandas claras do País, como as relacionadas ao meio ambiente, defesa, de domínio tecnológico, etc. Várias dessas demandas poderiam ser atendidas por meio do uso de *cubesats*, como, por exemplo, o desenvolvimento de sistemas de controle de atitude e órbita para satélites de grande porte, uma tecnologia que há anos vem sendo perseguida, que pode se beneficiar com testes reais em órbita com *cubesats* (e.g. TARABA *et al.*, 2009); o sensoriamento remoto do território nacional, foco constante do setor espacial brasileiro, também poderia testar várias soluções com *cubesats* (e.g. SELVA e KREJCI, 2012). Por outro lado, há ainda obstáculos que precisam ser transpostos, como o fato de as atividades com *cubesats* estarem ainda limitadas aos meios acadêmico e de pesquisa e a inexistência de iniciativas privadas de desenvolvimento de tais artefatos por meios próprios, sem participação governamental, como está ocorrendo em alguns países.

Assim, em vista do exposto, percebe-se que o setor espacial brasileiro pode se beneficiar do uso de *cubesats* caso acompanhe essa tendência tecnológica mundial e invista em uma estratégia de desenvolvimento de satélites de pequeno porte para atender algumas necessidades de interesse do setor espacial nacional, como o treinamento contínuo de pessoal, o acesso constante a aplicações espaciais, o desenvolvimento consistente da indústria e o domínio de tecnologias críticas.

Referências

- AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA – AEB. **BRASIL, SICONV 2016, Programa de desenvolvimento de satélites de pequeno porte** - Convênio AEB/LSI-TEC, 2009. Disponível em: <<https://www.convenios.gov.br/siconv/ConsultarProposta/ResultadoDaConsultaDeConvenioSelecionarConvenio.do?idConvenio=26140&destino=>>>. Acesso em: 25 ago. 2016.
- CALIFORNIA POLYTECHNIC STATE UNIVERSITY - Cal Poly. **CubeSat Design Specification (CDS Rev 13)**. Disponível em: <<http://www.cubesat.org>>. 2014
- CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS – CGEE. **Boletim OTE**, v. 1, n. 1, 2016.

- CHO, M. 2015: Nano-satellite reliability and standardization: introduction of lean satellite concept. In: 2015 INTERNATIONAL CONFERENCE ON SPACE SCIENCE AND COMMUNICATION, 10-12 August 2015, Langkawi, Malásia, 2015. **Conference Presentation...** Langkawi, Malásia, 2015.
- GALLIAND, C.L. Study of the small: potential for operational military use of Cubesats, SSC10-III-2, In: ANNUAL AIAA/USU Conference on Small Satellites, 24., 2010. **Conference presentation...** 2010.
- 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, 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. **Achieving Science with CubeSats: thinking inside the box.** Washington, DC: The National Academies Press. 2016. doi:10.17226/23503
- NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION – NASA. **Small spacecraft Technology State of Art**, NASA/TP–2015–216648/REV1, 2015.
- _____. Goddard Space Flight Center. **Goddard Tech Transfer News**, v. 11, n. 2, Spring 2013. Disponível em: <<http://itpo.gsfc.nasa.gov>>. Acesso em: 31 ago. 2016.
- NATIONAL SCIENCE FOUNDATION – NSF. **Cubesat-based science missions for geospace and atmospheric research**, Annual Report. 2013. Disponível em: <<http://www.nsf.gov/geo/ags/uars/cubesat/nsf-nasa-annual-report-cubesat-2013.pdf>>. Acesso em: 31 ago. 2016.
- SATELLITE INDUSTRY ASSOCIATION – SIA. **State of the satellite industry Report**, The Tauri Group, 2016.
- SELVA, D.; KREJCI, D. A survey and assessment of the capabilities of Cubesats for Earth observation. **Acta Astronautica**, v. 74, p. 50–68, 2012.
- SPACEWORKS. **2016 Nano/microsatellite market forecast**. Disponível em: <http://spaceworksforecast.com/docs/SpaceWorks_Nano_Microsatellite_Market_Forecast_2016.pdf>. Acesso em: 31 ago. 2016.
- 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 1 attitude determination design and on-orbit experience, SSC09-X-6. In: ANNUAL AIAA/USU Conference on Small Satellites, 23., 2009. **Apresentação...** 2009.

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

VILLELA, T.; BRANDÃO, A.M.; MAIA, J.M. Considerações sobre gerenciamento tecnológico e de recursos humanos na área especial. **Parcerias Estratégicas**, Brasília-DF, v. 19, n. 39, p. 99-118. jul-dez 2014