



## **Desenvolvimento e Implementação de um de plano AIT para NanoSatelites**

Helcio Carvalho Targino

*Programa de Pós-Graduação em Engenharia Aeroespacial, Universidade Federal do Rio Grande do Norte.  
Campus Universitário. Lagoa Nova, Natal, RN, Brasil. CEP 59078.970*

### **Resumo**

Desenvolvimento de um plano de AIT (Assembly, Integration and Test / Montagem, Integração e Teste) para obter um alto grau de confiança no funcionamento de Nanosatélites, quando este estiver em órbita e garantir que todos os parâmetros de projeto e de desempenho especificados serão alcançados e assim poder determinar que a missão seja executada dentro do tempo projetado. utilizando métodos de AIT sistêmico proposto e baseado na adaptação de normas europeias ECSS.

**Palavras-chave:** CubeSat, Nanosatélites, AIT, Montagem, Integração e Teste, plano AIT para CubSat.

### **1. INTRODUÇÃO.**

Este artigo é uma abordagem sobre plano de AIT (Assembly, Integration and Test / Montagem, Integração e Teste) para Nanosatélites – CubeSat que tem por características. A montagem, integração e plano de teste é o plano principal para o processamento AIT. Ele descreve o processo AIT completo e demonstra junto com o plano de verificação como os requisitos são verificados por inspeção e teste. Ele contém as atividades gerais da AIT e as ferramentas de verificação relacionadas (GSE e instalações), a documentação envolvida, a gestão e organização AIT. Ele também contém a programação AIT. e uma das principais entradas do cronograma do projeto e é usado para fornecer uma base para revisão e avaliação da eficácia do AIT Aplicação de montagem, integração e teste para os nanosatélites com o objetivo de levar confiança e garantia de que a missão será bem sucedida. A própria norma ECSS-E-ST-10-03C de 1 junho 2012 relata que experiência anteriores demonstrou que testes de solo incompletos ou inadequados aumenta significativamente os riscos do projeto, levando à

descoberta tardia do problema (s) de mão de obra ou falha em órbita. Levando a perda da missão.

A proposta desse plano AIT para nanoSatelites aborda a importância do plano AIT já no princípio de projeto para evitar possíveis falhas de execução futuras e com esse plano AIT fazer a validação de todo o projeto do nanosatélite.

### **2. NANOSATELITES**

Ao falar sobre o assunto relacionado ao mundo espacial nos leva a lembrar dos altos custos das missões espaciais que houve no início da corrida espacial entre o fim dos anos 1950 e início dos anos 1960. que foram baseadas nas novas tecnologias necessárias para completar missões e exploração espacial. Não seria diferente com os satélites, principalmente, pelos custos de seus lançamentos, que 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 [1]

Com a evolução no setor tecnológico que vive em constante desenvolvimento e melhorias, cada vez mais sofrendo minutarização e melhorando a capacidade de execução e melhores performances e desempenho, era esperado que essas revoluções tecnológicas chegasse para o mundo dos satélites onde com essas evoluções possibilitou a criação de satélites de exploração acessíveis e democráticos em níveis mais fáceis de implementação sendo um deles conhecido como CubeSat's Criados em 1999 como uma ferramenta educacional, os cubesats – nanossatélites em forma de cubo com 10 centímetros de aresta, medida que engloba altura, largura e profundidade. Ainda de acordo com o documento Cubesat Design Specification [2], a dimensão básica de um Cubesat é 10x10x11,35 cm (em alguns textos, descrito como sendo um cubo com 10 cm de aresta), que corresponde a uma unidade (1U) com massa de até 1,33 kg. Várias unidades podem ser colocadas juntas para formar configurações de satélites maiores como 2U, 3U, 6U, 8U tornaram-se um instrumento relativamente barato e rápido para coletar dados espaciais. Eles são usados para diversas finalidades, que vão da detecção de sinais eletromagnéticos que antecedem os terremotos a sistemas de sensoriamento de condições atmosféricas, passando pelos testes de sistemas biológicos, como a produção de proteínas bacterianas no espaço, até a observação de fenômenos no solo, entre outras aplicações. Desde os primeiros cubesats lançados em 2003, quando seis projetos pegaram carona no veículo de lançamento russo Rockot.[3].

O padrão nanossatélite CubeSat (Figura 1) foi criado em 1999 através de uma parceria entre o Prof. Jordi Puig-Suari da California Polytechnic State University (Cal Poly), em San Luis Obispo, e Prof. Robert Twiggs da Stanford University's Space Systems Development Laboratory (SSDL). O objetivo inicial do projeto era a criação de uma plataforma padronizada com intuito de reduzir custos, tempo de desenvolvimento, aumentar o acesso ao espaço e manter lançamentos frequentes de pequenas cargas úteis ao espaço [4].

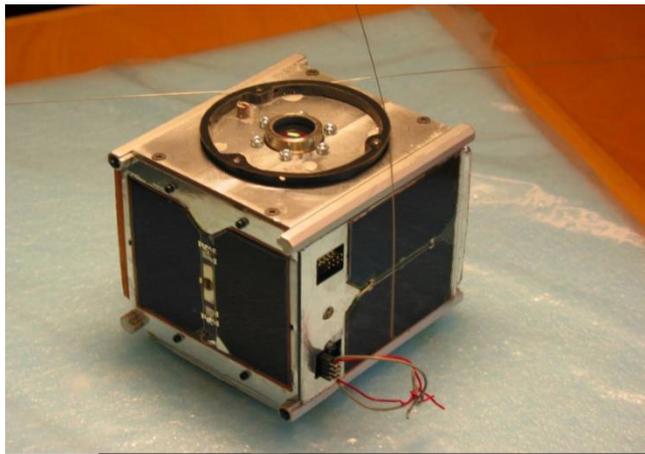


Figura 1.0 - CubeSats da Universidade de Tóquio. Fonte:[5].

Os CubeSats como uma inovação na área espacial, capaz de proporcionar a democratização, a instituições e países que atualmente tinham dificuldades de usar as aplicações nas áreas espaciais em seu benefício, hoje podem ter oportunidades

concretas de acesso ao espaço para atender a essas demandas [6]. Essas dificuldades se devem, principalmente, aos altos custos de uma missão espacial tradicional e à necessidade de contar com ampla infraestrutura de testes e equipes numerosas para validação, montagem e integração dos sistemas e subsistemas.

De acordo com Twiggs [11], os CubeSats (é um dos padrões mais consolidados de nanossatélites) foram desenvolvidos com o intuito de reduzir o tempo de missões espaciais para no máximo dois anos. Devido ao sucesso no lançamento e operação das primeiras missões, baixos custos, baixos riscos (devido ao baixo impacto) e curto período de desenvolvimento, esta tecnologia está sendo usada como plataforma in situ (no ambiente espacial) para testar novas tecnologias por agências espaciais (NASA e ESA), agências militares, organizações comerciais, além de ser um método muito difundido em universidades como um meio prático no ensino de disciplinas aeroespaciais [12].

Um fator importante a ser considerado é que os CubeSats além de usar os chamados matérias conhecidos como COTS (commercially available off-the-shel em portuguesas disponíveis em prateleira comercialmente), aquece esse mercado e geram uma demanda constante junto às empresas. Que desenvolve esse tipo de material embora os valores monetários sejam menores que os usuais do setor espacial. Porém o fluxo contínuo de pedidos garante a manutenção de equipes e a sustentabilidade de empresas [1]. Atualmente, o número de empresas ativas que desenvolvem atividades relacionadas com nanossatélites chega a quinhentas e duas, de acordo com dados apresentados em [7].com a grande facilidade e baixo custo para ser lançados em relação a sistemas complexos espaciais podemos ver na figura 02 uma projeção de quantos nanosatélites já foram lançados por ano e as expectativas para os próximos anos dados obtidos segundo [7].

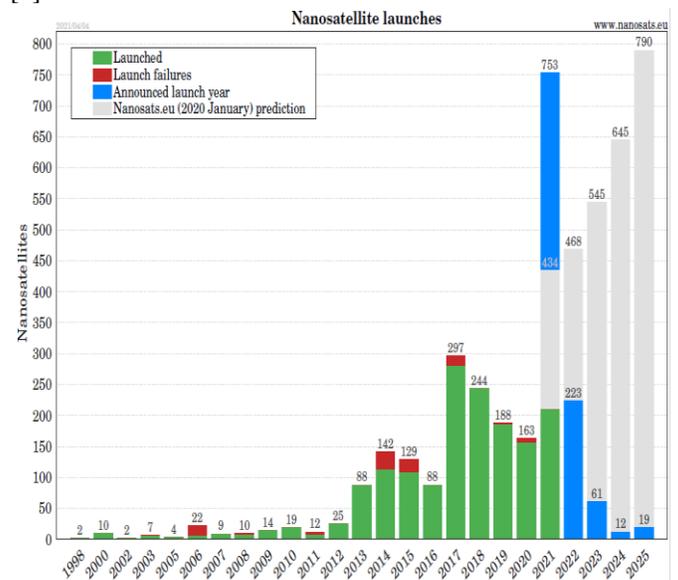


Figura 02. Fonte: Adaptado [7]

O total de nanosatélites lançado até 04 de abril de 2021 é de aproximadamente 1684 de acordo com o [7]

Segundo Palkovitz [8], devido à grande demanda e procura por nanosatélites, as empresas inseridas nesse mercado, assim como a indústria espacial como um todo, precisam obedecer a normas e regulamentos, o que representa um desafio no projeto de satélites de pequeno porte.

Com a busca crescente e interesse na utilização de pico e nanosatélites em vários ramos de atividades, faz-se necessário a melhoria na confiabilidade destes sistemas que atualmente é muito baixa.[13] afirma que a taxa de sucesso do lançamento de pico e nanosatélites é de 68%, dentre os que tiveram lançamento bem sucedido.

O desenvolvimento de um nanosatélite passa por inúmeros testes de validação desde o seu início de projeto junto a engenharia de sistemas onde se projeta o nanosatélite. Esses testes compõem o que se chama de desenvolvimento de um plano de AIT (ASSEMBLY, INTEGRATION AND TEST / MONTAGEM, INTEGRAÇÃO E TESTE). O que veremos no capítulo seguinte.

### 3. AIT.

Os AITS (ASSEMBLY, INTEGRATION AND TEST / MONTAGEM, INTEGRAÇÃO E TESTE) correspondem aos conjuntos de procedimentos e à execução de uma sequência de eventos logicamente inter-relacionados, cujo propósito é obter um alto grau de confiança no funcionamento do satélite, quando este estiver em órbita, ou seja, garantia de que todos os parâmetros de projeto e de desempenho especificados serão alcançados [10]. E para que isso ocorra é necessário submeter os nanosatélites a dezenas de testes e verificações de todos os materiais que compõe o corpo do nanosatélite.

#### 3.1 MONTAGEM E INTEGRAÇÃO

O termo montagem está relacionado às operações mecânicas executadas para posicionar, fixar e interligar cada uma das unidades de subsistemas pertencentes ao satélite, desde os painéis solares a parafusos da estrutura que compõe todo o nanosatélite. Os processos de montagem e integração do nanosatélites são inter-relacionados, ou seja, a medida que os subsistemas são montados, são integrados no sistema através de breves testes funcionais por meio do EGSE (Electronic Ground Support Equipment ou Equipamento Eletrônico de Apoio Terrestre). Atividades de teste de mecanismos e inspeção também são incluídas nos processos de montagem e integração sendo chamadas de testes mecânicos.

#### 3.2 TESTES

O termo teste que está relacionado a toda sequência de ensaios realizados com o intuito de verificar se os requisitos de projeto são satisfatórios e se o satélite sobreviverá tanto aos esforços de lançamento, quanto a operação em órbita, durante o tempo de vida estimado do satélite. Essa fase é considerada uma das fases mais importantes para determinar e verificar se todos os itens que compõe o satélite estão validados e habilitados para uma missão espacial. a tabela 01 abaixo mostra um exemplo de um plano de teste para o modelo de qualificação.

Tabela 01 Plano de testes para o modelo de qualificação – fonte [9]

1	Teste de Medidas Físicas
2	Testes Funcionais Iniciais
3	Teste de Choque Mecânico
4	Testes Funcionais Pós Choques Mecânicos
5	Teste se Aceleração
6	Testes Funcionais Pós Aceleração
7	Teste de Vibração Senoidal
8	Testes Funcionais Pós Vibração Senoidal
9	Teste de Vibração Randômica
10	Testes Funcionais Pós Vibração Randômica
11	Testes de Ciclagem Termovácuo
12	Testes Funcionais Pós Termovácuo
13	Teste de Descargas Elétricas
14	Teste Funcionais Finais

As normas ECSS-E-ST-10-02C e ECSS-E-ST-10-03 abrange um enorme padrão de teste e procedimentos de verificação para desenvolvimento de plano de AIT. O padrão ECSS é uma junção cooperativa da agência espacial Europeia e as industriais europeias com o propósito de desenvolver e manter padrões comuns ligados ao setor aeroespacial. Há outras normas existentes porém o padrão atualmente adotado por várias instituições inclusive Brasil é o ECSS.

A execução dos métodos propostos para criação de um plano AIT é adquirida por meio da realização de um conjunto de documentos que apoiam as atividades de planejamento e execução do AIT. A Figura 3 expõe a estrutura geral da documentação de AIT aplicada no processo desenvolvido em um CubeSat. Esta documentação é o mínimo necessário para obter um planejamento e execução do AIT de pico e nanosatélites de forma segura e eficiente, assim como para obter os resultados apresentados de forma apropriada [14].

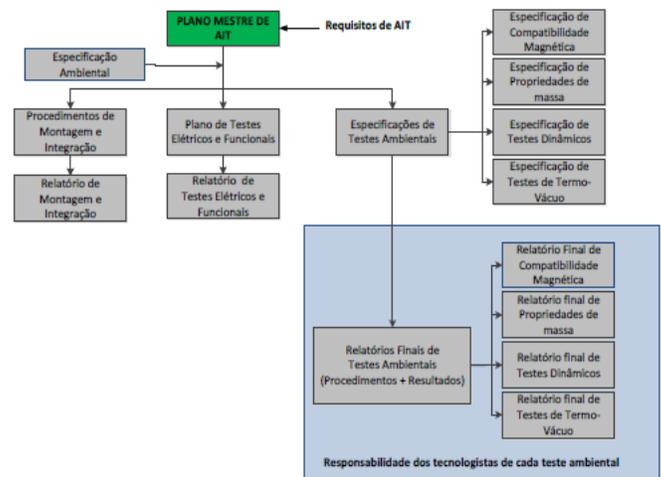


Figura 4.1 - Estrutura da documentação de AIT fonte – [14].

De fato, ter um bom Plano de execução de AIT é garantir que todos os sistemas e subsistemas venham desempenhar toda a performances necessárias para não haver falhas quando o nanosatélite já estiver em orbitas e para isso é necessário seguir todas as recomendações descritas principalmente nas normas baseadas em experiências práticas e consolidadas. Além da qualificação necessária de recursos humanos para excutar todos esses procedimentos.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

É importante admitir que há as condições essenciais mínimas para desenvolvimento 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,[1]

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 [1].

Dessa forma a importância da elaboração de um plano de AIT bem sucedido vai além de apenas ter a garantia de um bom sucesso na missão. Há também dentro desse paradigma de teste , montagens e integração a formação recursos humanos cada vez mais capacitados para desenvolver as tecnologia para nanosatélites dentro do país e com isso a implantação de novos horizontes para o Brasil.

#### AGRADECIMENTO

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Aeroespacial (PPGEA), da Escola de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Assim também como ao INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAL (INPE). E ao meu Orientador Professor Doutor GIULIANI PAULINELI GARBI pelo incentivo na pós graduação.

#### REFERENCIAS

- [1] (CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS - CGEE. CubeSats. Brasília, DF: 2018. 46 p.). Disponível em: <[https://www.cgее.org.br/documents/10195/734063/CGEE\\_resumoexecutivo\\_CubeSats\\_Web.pdf](https://www.cgее.org.br/documents/10195/734063/CGEE_resumoexecutivo_CubeSats_Web.pdf)> Acesso em: 17 agosto. 2021
- [2] CalPoly (2015), 'Cubesat design specification rev. 13'. URL: [http://www.cubesat.org/s/cds\\_rev13\\_final2.pdf](http://www.cubesat.org/s/cds_rev13_final2.pdf)
- [3] ERENO, Dinorah. Pequenos ganham o espaço: nanossatélites. 2014. 5 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Eletrica, Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, São Paulo/sp, 2021. Cap. 1. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/pequenos-ganham-o-espaco/>. Acesso em: 21 jan. 2021 More than Six Authors
- [4] PIGNATELLI, D. et al. CubeSat design specification. California Polytechnic State University CubeSat Project. Disponível em: <[http://www.cubesat.org/images/developers/cds\\_rev13\\_draft\\_c.pdf](http://www.cubesat.org/images/developers/cds_rev13_draft_c.pdf)>. cesso em: 13 nov. 2013.
- [5] INTELLIGENT SPACE SYSTEMS LABORATORY. Central and Eastern Europe make history with small satellites. Disponível em: <[http://www.esa.int/Education/Central\\_and\\_eastern\\_Europe\\_make\\_history\\_wit\\_h\\_small\\_satellites](http://www.esa.int/Education/Central_and_eastern_Europe_make_history_wit_h_small_satellites)>. Acesso em: 25 mar. 2013.
- [6] ] 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.
- [7] Kulu, Erik (2019a), 'Nanosatellite database', <https://www.nanosats.eu>. Acesso em: 19 ago. 2021
- [8] Palkovitz, Neta (2016), Small satellites: Innovative activities, traditional laws, and the industry perspective, em I.Marboe, ed., 'Small Satellites: Regulatory Challenges and Chances', *Studies in space law*, Brill Nijhoff.
- [9] EUROPEAN COOPERATION FOR SPACE STANDARD. ECSS-E-10-02: system engineering - Verification. Noordwijk, 1996a
- [10] TOSNEY, B.; PAVLICA, S. A Successful strategy for satellite development and testing. Crosslink Fall: Los Angeles Aerospace Corporation. 2005.
- [11] TWIGGS, R. et al. CubeSats as responsive satellites. In: AIAA RESPONSIVE SPACE CONFERENCE, 3., 2005, Los Angeles, CA. Proceedings... Los Angeles: NASA/JPL: AIAA, 2005. (AIAA-RS3 2005-3001).
- [12] HANSEN, F. Impressions from 15th Annual AIAA/USU Conference on Small Satellites. Logan, USA: Danish Small Satellite Programme. Danish Space Research Institute, 2001.
- [13] BOUWMEESTER, J.; GUO, J. Survey of worldwide pico-and nanosatellite missions, distributions and subsystem technology. *Acta Astronautica*. v. 67, p. 854–862, 2010
- [14] BÜRGER, Eduardo Escobar. PROPOSTA DE MÉTODO PARA AIT DE PICO E NANOSSATÉLITES: proposta de método para ait de pico e nanossatélites. 2014. 308 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia Espaciais/ Gerenciamento de Sistemas Espaciais, Engenharia, Inpe, São José dos Campos, 2014. Cap. 42.