



PCI/MCTIC/INPE  
RELATÓRIO TÉCNICO DE ATIVIDADES  
<v9>

**[Referente ao período: 01/01/2017 a 31/03/2018]**

**Número do Processo Institucional: [454779/2015-1]**

**Número do Processo Individual: [313152/2016-0]**

**Bolsista: [José Lucas Ferraz Marques]**

**Supervisor: [Homero Anchieta Furquim de Souza]**

**Área: [LIT - Laboratório de Integração e Testes]**

**Vigência original da bolsa: [01/01/2017 a 30/06/2018]**

**Modalidade da bolsa: [PCI-DE]**



## RELATÓRIO TÉCNICO

### **RELATÓRIO TÉCNICO DE ATIVIDADES – BOLSA CNPq ENSAIOS MECÂNICOS-DINÂMICOS DE SISTEMAS ESPACIAIS**

#### **1. HISTÓRICO**

O Laboratório de Integração e Testes (LIT) foi especialmente projetado e construído para atender às necessidades do Programa Espacial Brasileiro, realizando o ciclo completo de montagem, integração e testes de sistemas espaciais, desde o nível de componentes até o de sistema integrado. Foi inaugurado em 1987, tendo atuado ativamente no desenvolvimento e qualificação dos primeiros Satélites de Coletas de Dados desenvolvidos no Brasil dentro do programa espacial MECB. Ao longo de sua história o LIT atuou no desenvolvimento e qualificação de diversos satélites de programas especiais nacionais e internacionais como o CBERS: programa de cooperação com a China que teve início em 1988 e vem se desenvolvendo até hoje, resultando no lançamento de 5 satélites e com previsão de lançamento do sexto modelo de voo (CBERS 4A) no próximo ano.

Para garantir o grau de confiabilidade exigido pelos programas espaciais, as atividades desenvolvidas pelo LIT requerem instalações e meios especiais, equipamentos de suporte específicos e uma força de trabalho em constante treinamento e aperfeiçoamento. Disponibilizando suas instalações também para o setor produtivo nacional, o LIT representa um dos instrumentos mais sofisticados e poderosos na qualificação dos produtos industriais.

O Laboratório de Integração e Testes tem como atribuições principais a realização de:

- Testes de qualificação nas áreas de vibração e acústica, termo-vácuo, climático e interferência/compatibilidade eletromagnética;
- Medidas nas áreas de antenas, de propriedades de massa e alinhamento de sistemas mecânicos;
- Aferição e calibração de sensores e equipamentos eletrônicos;
- Integração e testes de sistemas e subsistemas espaciais e
- Testes de confiabilidade de componentes.

Na área de Ensaio Dinâmico do LIT são realizados ensaios de vibração, choque mecânico e excitação acústica que simulam as condições dinâmicas a que os satélites são submetidos, durante o lançamento ao espaço. No âmbito de aplicação geral, os ensaios dinâmicos constituem uma ferramenta de extrema importância para a qualificação e aprimoramento de um produto em suas fases de projeto e desenvolvimento. São os ensaios dinâmicos que permitem que se conheça o comportamento estrutural de dispositivos, componentes, equipamentos e sistemas completos, sob condições dinâmicas de vibração e choque a que são submetidos durante as fases de operação, utilização e transporte.



A área de Ensaio Dinâmico do LIT dispõe de três vibradores do tipo eletrodinâmico (13, 80 e 160 kN) que permitem a realização de ensaios de vibração e choque mecânico segundo as normas nacionais, internacionais (Normas MIL-STD, IEC, ASTM, SAE, etc.) ou normas específicas aplicáveis aos equipamentos dos programas espaciais. Uma câmara acústica reverberante de alta intensidade para simulação do ambiente vibro-acústico a que o satélite está sujeito durante o lançamento e completa os meios de teste mecânicos-dinâmicos atualmente instalados no LIT. Além dos vibradores, câmara acústica e seus sistemas de controle agregados, a área de ensaios dinâmicos possui um sistema de aquisição de dados com capacidade para até 324 canais de medidas entre acelerômetros, microfones e extensômetros.

Atualmente o LIT está em plena execução do seu projeto de ampliação que tem como objetivo expandir suas capacidades para realizar a montagem, integração e testes de sistemas espaciais complexos e de grande porte, contribuindo para viabilizar o PNAE 2012 – 2021, o PESE (Programa Estratégico de Sistemas Espaciais) e especialmente o desenvolvimento no Brasil dos futuros satélites do programa SGDC. A ampliação das capacidades atuais do LIT adquire caráter estratégico e singular para o desenvolvimento de um importante setor definido no ENCTI 2016-2019 como um dos setores portadores de futuro no Brasil. Essas novas capacidades incluem:

- Sala de integração para satélites de até 6.000 kg e 6,00 metros da altura e instalações de suporte.
- Ensaio de vibração em satélite de até 6.000 kg e 6,00 metros da altura.
- Medidas de antenas para satélites de telecomunicações e radar.
- Ampliação da instrumentação para manutenção da rastreabilidade metrológica.
- Ampliação e adequação do laboratório de componentes eletrônicos.
- Ampliação e adequação da instrumentação geral.

## 2. RESUMO DO PROJETO

O projeto Ensaio Mecânico-Dinâmico de Sistemas espaciais abrange atividades que são desenvolvidas pelo laboratório em preparação e atendimento às solicitações de ensaios de vibração, choque mecânico e acústicos para os programas espaciais e engloba o plano de atualização e ampliação dos meios de teste da área de Ensaio Dinâmico em função do projeto de expansão do LIT, para dar suporte ao programa de desenvolvimento de satélites de grande porte tais como o satélite de telecomunicações e defesa SGDC. No plano de trabalho proposto é prevista a participação do bolsista nas seguintes atividades específicas:

- Elaboração de setups, preparação e instalação da instrumentação para a realização de ensaios de vibração e choque mecânico dos modelos de qualificação e voo dos subsistemas dos satélites Amazônia 1, Lattes, CBERS-4A e dos programas de Nanosatélites em andamento na instituição;



- Elaboração de setup's, preparação e instalação da instrumentação para a realização dos ensaios de vibração e acústico dos modelos de voo dos satélites Amazônia 1, Lattes e CBERS-4A;
- Participação na análise para atualização dos meios de teste, da definição das especificações técnicas, infra-estrutura, da elaboração e execução do plano para instalação de novos equipamentos no âmbito do projeto de expansão do LIT;
- Participação na análise, desenvolvimento e implantação de meios de teste para simulação de eventos tipo pirochoque, aplicáveis a subsistemas espaciais e Nanosatélites.

### 3. OBJETIVO

O objetivo principal do projeto proposto é fornecer suporte às atividades desenvolvidas no âmbito do PNAE, assegurando a capacitação e provocando o desenvolvimento e implantação de novas tecnologias e métodos na área de Ensaios Dinâmicos do LIT em suas atividades para qualificação e aceitação de sistemas espaciais. O objetivo desta concessão de bolsa foi inserir na equipe de Ensaios Dinâmicos do LIT, um profissional qualificado para apoiá-la nas suas atividades.

### 4. ATIVIDADES DESENVOLVIDAS DURANTE O PERÍODO DA BOLSA

O plano de trabalho elaborado para o bolsista abrange atividades que são desenvolvidas pelo laboratório para atendimento às solicitações de ensaios para os programas espaciais e engloba também o plano de atualização e ampliação dos meios de teste do laboratório. Este relatório apresenta as atividades realizadas durante o período de 01 de Janeiro de 2017 a 31 de Março de 2018.

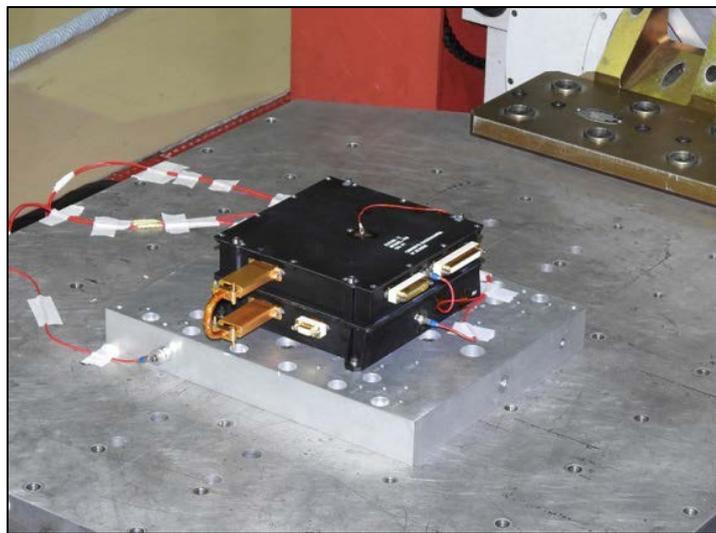
#### **4.1. Elaboração de setup's, preparação e instalação da instrumentação para a realização de ensaios de vibração e choque mecânico dos modelos de qualificação e voo dos subsistemas dos satélites Amazônia 1, Lattes, CBERS-4A e dos programas de Nanosatélites em andamento na instituição**

Como integrante da equipe técnica o bolsista participou direta ou indiretamente de todas as campanhas de ensaios realizados pela Área de Ensaios Dinâmicos para os programas espaciais, dando suporte na preparação e execução dos ensaios, na elaboração de setup's de testes, realizando a instrumentação (instalação de sensores de vibração) e apoiando a equipe na elaboração de relatórios de ensaios.

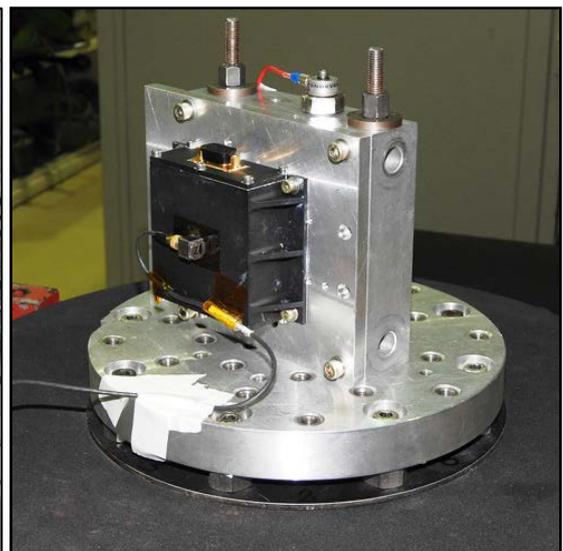
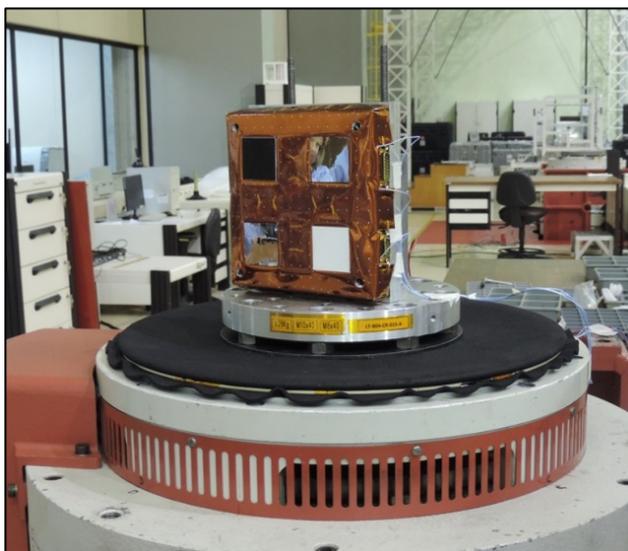
No período abrangido por este relatório, a Área de Ensaios Dinâmicos do LIT realizou ensaios de aceitação e qualificação nos seguintes equipamentos/sistemas espaciais:

- Modelos de Qualificação e Voo do AWDT SDC (Subsystem Distribution Controller – Subsistema do Satélite AMAZÔNIA-1);

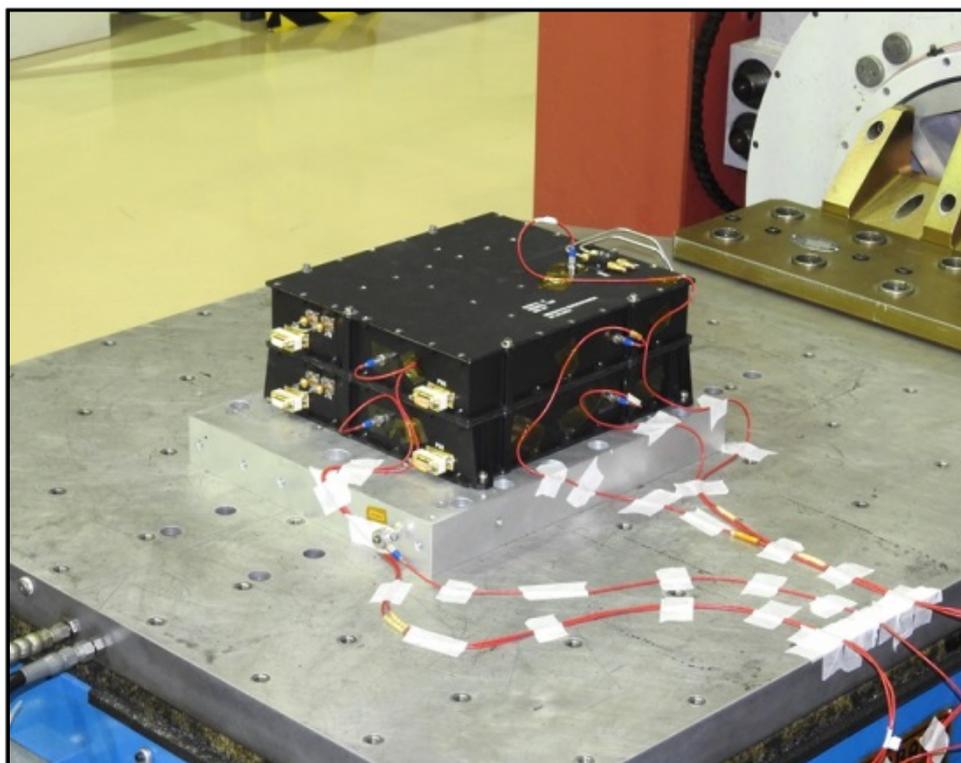
- Modelos de Qualificação e Voo do AWDT QPSK-TX (Subsistema do Satélite AMAZÔNIA-1);
- Modelo de Qualificação da OSR (Optical Solar Reflector – Placas e Unidade Eletrônica), experimento do Satélite CBERS-4A;
- Adaptador de vibração e Modelo de Voo do SAG (Solar Array Generator) do Satélite CBERS-4A;
- Modelos de Voo dos equipamentos DC-DC CONVERTER #1, #2 e #3 (subsistemas do Satélite CBERS-4A);
- Modelo de Voo do DC-DC CONVERTER #1 (subsistema do Satélite AMAZÔNIA-1).



**FOTO 01** – Vista geral do AWDT SDC (subsistema do Amazônia-1), modelo de Qualificação, montado na interface para os ensaios de vibração e choque.



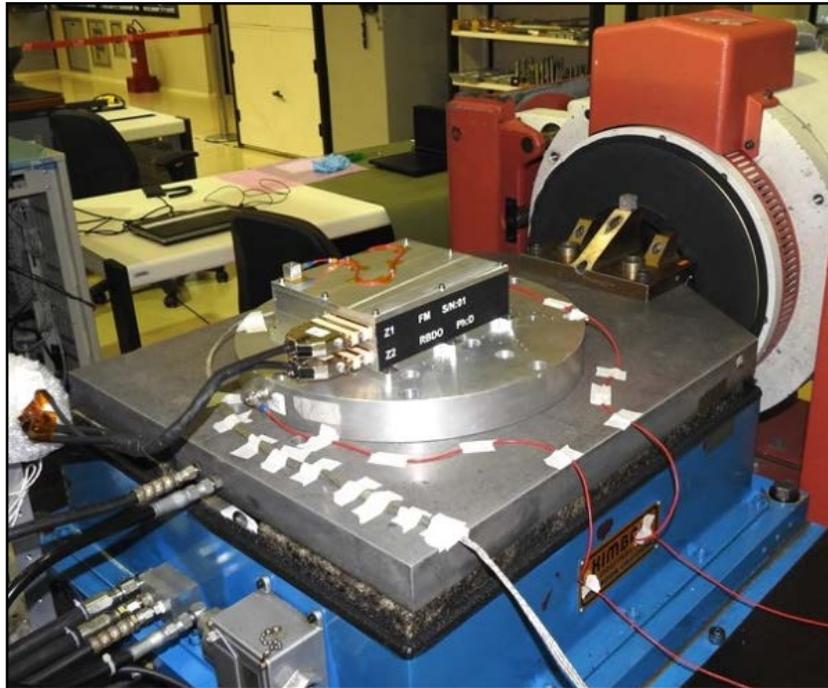
**FOTO 02** – Vista geral dos equipamentos do experimento OSR (Placas e Unidade Eletrônica) do satélite CBERS-4A que foram submetidos aos ensaios de vibração e choque mecânico.



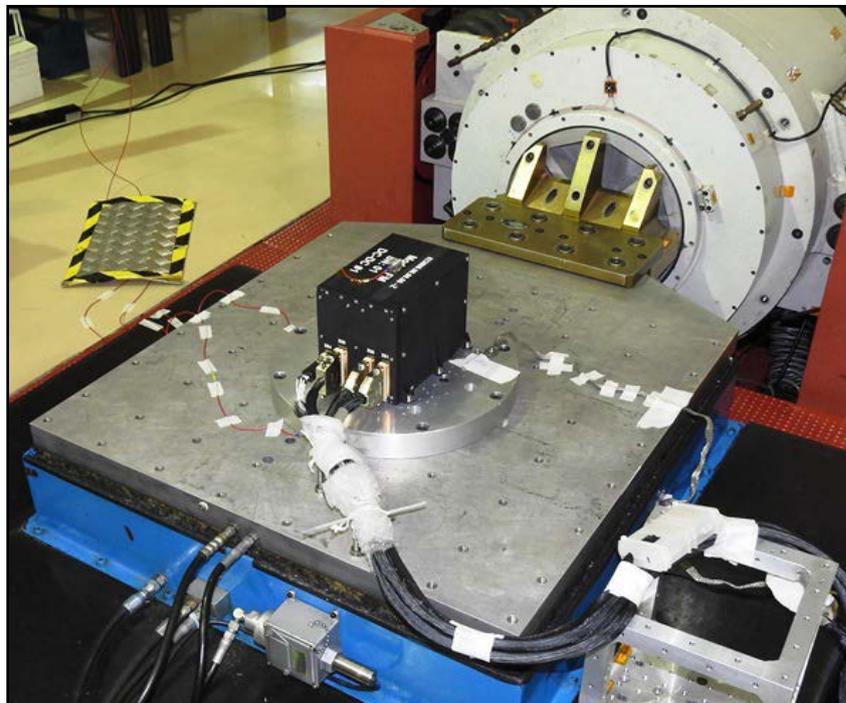
**FOTO 03** – Vista geral do AWDT QPSK-TX (Subsistema do Satélite Amazônia), modelo de Qualificação, preparado para os testes de vibração e choque.



**FOTO 04** – Vista do conjunto adaptador + Painéis do satélite CBERS-4A sobre a mesa transversal para os testes de vibração



**FOTO 05** – Vista geral dos DC-DC CONVERTER #2 (CBERS-4A) montado sobre a mesa de deslizamento do para ensaios de vibração.



**FOTO 06** – Vista geral do modelo de voo do DC-DC CONVERTER #1 (Amazônia-1) montado sobre a mesa de deslizamento para ensaios de vibração.

#### **4.2. Elaboração de setup's, preparação e instalação da instrumentação para a realização dos ensaios de vibração e acústico dos modelos de voo dos satélites Amazônia 1, Lattes e CBERS-4A**

As atividades de integração do modelo de voo do satélite CBERS-4A tiveram início em agosto de 2017 e antes da montagem da câmera WPM foram instalados em 16/03/2018 dois acelerômetros sobre a mesma. Conforme o cronograma de execução do projeto, as atividades complementares referentes à preparação estão programados para serem realizados a partir de Julho de 2018 e os ensaios de vibração e acústico do satélite estão programados para serem realizados em Novembro de 2018.

O cronograma de execução do projeto AMAZÔNIA 1 prevê que as atividades referentes à preparação dos ensaios de vibração e acústico do modelo de voo terão início a partir de meados de 2019 e portanto não fazem parte do escopo deste relatório.

#### **4.3. Participação na análise para atualização dos meios de teste, da definição das especificações técnicas, infra-estrutura, da elaboração e execução do plano para instalação de novos equipamentos no âmbito do projeto de expansão do LIT**

Com o objetivo de garantir a capacitação e promover desenvolvimento e implantação de novas tecnologias e métodos, a área de Ensaios Dinâmicos do LIT tem se empenhado em melhorar sua infraestrutura, adquirir e instalar novos equipamentos de maneira a manter-se sempre atualizada e em sintonia com o estado da arte. No período compreendido por este relatório, o bolsista participou dos seguintes processos de melhoria, aquisição e implantação de novos equipamentos:

##### **Projeto de painéis de conexão de instrumentação com umbilicais.**

O plano de expansão do laboratório engloba a melhoria e ampliação do sistema de aquisição de dados de ensaios de vibração e acústico. Atualmente o sistema tem capacidade de adquirir até 324 canais de medidas de sensores (acelerômetros, microfones e extensômetros). A conexão da cablagem dos sensores ao sistema de aquisição é feita diretamente no painel traseiro do rack deste sistema, o qual necessita estar próximo ao item a ser ensaiado e conseqüentemente próximo ao meio de ensaio. Parte dos sinais que são direcionados para o sistema de aquisição também precisam ser derivados para o sistema de controle de vibração. Na configuração atual do sistema, esta derivação é realizada por meio de adaptadores BNC tipo "T" conectados nos painéis traseiros dos racks, o que, devido ao espaço reduzido, torna esta conexão bastante difícil e com riscos significativos de falhas.

Outro fator que deve ser considerado, é que para ensaios de satélites carregados com álcool-isopropílico (caso dos satélites de comunicação SGDC) a área no entrono do satélite deve estar desimpedida e nenhum equipamento elétrico deve estar na sua proximidade.

Considerando o exposto acima e prevendo-se a ampliação do sistema de aquisição de dados para adquirir até 594 canais, um estudo tem sido realizado de maneira a descentralizar as conexões dos sensores por meio de painéis remotos e cabos umbilicais. Neste estudo, que foi realizado com a participação ativa do bolsista principalmente na concepção mecânica das propostas, buscou-se a configuração mais versátil e com a maior confiabilidade e segurança possível. Tal estudo resultou numa configuração composta de 3 painéis remotos para conexão de 198 canais cada um. Cada painel terá um cabo umbilical dedicado com o número correspondente de vias e comprimento de 15 metros cada um. Com o intuito de minimizar custos e aproveitar os potenciais recursos disponíveis, está sendo avaliada a possibilidade de reutilização dos cabos coaxiais de baixo ruído que encontram-se instalados nas longas linhas inativas do antigo sistema de aquisição de dados.

#### **Recebimento e testes de aceitação de novos acelerômetros adquiridos pela Área**

Em junho de 2017, foram recebidos 30 acelerômetros triaxiais para atender a demanda para os ensaios de vibração e acústico do modelo de voo do satélite CBERS-4A e em agosto foi recebido 1 acelerômetro sísmico para ser utilizado no monitoramento e verificação das condições de vibração nas áreas do laboratório onde atividades relativas a medidas de alinhamento óptico são realizadas. A conferência dos itens recebidos e os testes de aceitação destes acelerômetros foram realizados com a participação do bolsista.

#### **4.4. Participação na análise, desenvolvimento e implantação de meios de teste para simulação de eventos tipo pirochoque, aplicáveis a subsistemas espaciais e Nanosatélites**

Satélites e subsistemas instalados em satélites e lançadores são sujeitos a choques de alta frequência e grandes amplitudes durante sua vida útil. Tais choques ocorrem especialmente na fase de lançamento destes equipamentos devido ao acionamento de dispositivos responsáveis por eventos de separação ou liberação que são disparados por processos pirotécnicos (explosões), resultando na denominação pirochoque. Estes choques pirotécnicos são conhecidos por poderem causar falhas em sistemas, que podem resultar na perda total ou parcial de toda uma missão espacial. Por este motivo, a qualificação dos subsistemas de um satélite a este tipo de ambiente torna-se necessária, porém, atualmente o LIT não possui um meio de ensaios capaz de reproduzir ou simular este tipo de ambiente.

No LIT, até o presente momento, todos os ensaios relacionados à qualificação dos equipamentos de um satélite tem se restringido a submeter tais equipamentos aos ambientes de pirochoque, montados na estrutura completa do satélite (modelo de qualificação ou de voo) e promovendo a atuação do artefato real na mesma condição que encontrarão durante sua vida útil. Embora este procedimento promova uma simulação real desta condição de choque, a complexidade da preparação e a difícil disponibilidade do setup a ser utilizado limitam a possibilidade de repetição do ensaio: dependendo do dispositivo, no máximo é possível realizar duas atuações.

Neste cenário, não é possível pré-qualificar para esta condição um equipamento antes de sua montagem no satélite. Por este motivo, a equipe da área de ensaios dinâmicos iniciou estudos e tem trabalhado no desenvolvimento de um meio de teste para simulação de eventos tipo pirochoque. Neste estudo iniciado em 2016, foi feito um levantamento dos principais meios instalados em alguns laboratórios espaciais internacionais. Neste levantamento foi observado que, por se tratar de um ensaio extremamente peculiar, tais meios foram desenvolvidos pelos próprios laboratórios e com diferentes concepções, como: placa ressonante, placa ressonante ajustável, barra de Hopkinson, viga ressonante ajustável, etc.

Na fase atual do projeto em que o bolsista tem participado, foi realizado estudo comparativo dentre as várias concepções possíveis para a definição do meio de ensaio em desenvolvimento e concluiu-se que a configuração de placa ressonante ajustável será a melhor opção, considerando-se a sua versatilidade para atender aos ambientes de pirochoque relacionados às condições para qualificação de “cubesats” e nanosatélites. Também foi definido que o choque será gerado por meio do impacto de uma massa montada em um mecanismo tipo pêndulo contra a placa sobre a qual o espécime estará montado.

## **5. RESULTADOS OBTIDOS EM FUNÇÃO DO PLANO DE TRABALHO PROPOSTO**

O principal resultado atingido foi a capacitação da área de Ensaio Dinâmico do LIT para atender às demandas impostas pelos programas espaciais, caracterizado pelos seguintes resultados específicos:

- Realização de ensaios de vibração e choque de sistemas e subsistemas em atendimento aos programas espaciais atualmente em desenvolvimento pelo INPE;
- Conhecimento dos meios usados para criar eventos do tipo pirochoque e definição dos principais componentes de uma máquina de choque em desenvolvimento para qualificação de subsistemas espaciais e Nanosatélites.
- Definição de melhorias para a ampliação do sistema de aquisição de dados da Área de Ensaio Dinâmico do LIT.



## 6. CONCLUSÕES GERAIS

O bolsista teve participação ativa na equipe técnica da área de Ensaio Dinâmico, realizando as atividades previstas no plano de trabalho em conformidade com as demandas que se apresentaram no período compreendido por este relatório.

O trabalho realizado pelo bolsista tem contribuído para a garantia da capacitação técnica e manutenção das atividades da área de Ensaio Dinâmico do LIT em atendimento às demandas impostas pelos programas espaciais e ao plano de ampliação do laboratório.

**São José dos Campos-SP, 31 de Março de 2018**

**Bolsista:[José Lucas Ferraz Marques]**

**Supervisor(a):[Homero Anchieta Furquim de Souza]**

**Coordenador(a) PCI da área:[Ricardo Sutério]**