



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

**[Referente ao período: 01/04/2018 a 30/09/2018]**

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

**Número do Processo Individual: [303425/2016-4]**

**Bolsista: [Paulo José Simões de Almeida]**

**Supervisor: [Marco Antônio Strobino]**

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

**Vigência original da bolsa: [01/04/2018 a 31/08/2019]**

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

## RELATÓRIO TÉCNICO

### MONITORAMENTO E CONTROLE DOS EQUIPAMENTOS PARA OS ENSAIOS CBERS4A E AMAZÔNIA 1

#### 1. HISTÓRICO

O Laboratório de Integração e Testes (LIT) do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) foi especialmente projetado e construído para atender às necessidades do Programa Espacial Brasileiro. Além de desenvolver atividades no ramo espacial, atualmente, o LIT é considerado um dos instrumentos mais sofisticados e poderosos na qualificação de produtos industriais que exijam alto grau de confiabilidade.

LIT desenvolve e/ou participa de um conjunto de complexos programas espaciais, assumindo a responsabilidade direta ou indireta, de realizar a etapa de Montagem, Integração e Testes dos sistemas em desenvolvimento.

O LIT está capacitado para realizar ensaios dinâmicos (vibração, acústica, separação e abertura de apêndices) e ensaios térmicos em vácuo e ciclagem térmica. Também realiza testes de compatibilidade e interferência eletromagnéticas, verifica o desempenho de antenas, faz o alinhamento mecânico, ensaios de vazamento em sistemas de propulsão de satélites e a determinação das propriedades de massa de equipamentos espaciais, medidas de contaminação para garantir o grau de limpeza de suas áreas limpas e câmaras vácuo-térmicas.



Figura 1 – Hall de Testes LIT



Nos programas espaciais da instituição a Área de Interferência Eletromagnética e Compatibilidade Eletromagnética (EMI/EMC) tem como objetivo realizar ensaios de EMI/EMC que visam medir o nível de interferência produzido por um equipamento verificando seu comportamento quando submetido a certos níveis de campo, pré-determinados por normas, tentando-se simular as condições críticas do ambiente para se assegurar que o equipamento está apto a operar em um determinado ambiente, verificando se equipamentos emitem ou são suscetíveis a perturbações eletromagnéticas estão aptos a operar num determinado ambiente, com outros equipamentos ao seu redor e sob fatores ambientais presentes neste meio.

O Laboratório de Compatibilidade Eletromagnética do LIT possui uma infraestrutura de ensaios subdividida em três áreas de atividades:

#### Área 1: Ensaios de Compatibilidade Eletromagnética em Câmara Anecóica

##### Meios de Teste:

- ✓ Câmara Blindada Anecóica: 15,4 x 7,7 x 7,7 (m);
- ✓ Sala de Controle Blindada: 4,5 x 3,0 x 2,5 (m);
- ✓ Sistema de Ensaios de Imunidade Conduzida e Radiada até 18GHz;
- ✓ Sistemas de Ensaios de Emissão Conduzida e Radiada até 40GHz;
- ✓ Mesa Giratória (Diâmetro 2m / Capacidade 1ton.).



Figura 2 – Câmara CBA1

## Área 2: Ensaios de Compatibilidade Eletromagnética em Câmara Anecóica

### Meios de Teste:

- ✓ Câmara Blindada Anecóica: 28,0 x 15,0 x 12,0 (m);
- ✓ Sala de Controle Blindada: 8,0 x 4,0 x 3,0 (m);
- ✓ Sistema de Ensaios de Imunidade Conduzida e Radiada até 40GHz;
- ✓ Sistemas de Ensaios de Emissão Conduzida e Radiada até 40GHz;
- ✓ Mesa Giratória 1 (Diâmetro 2m / Capacidade 1ton.);
- ✓ Mesa Giratória 2 (Diâmetro 9m / Capacidade 25ton.).



Figura 3 – Câmara CBA2

## Área 3: Ensaios de Compatibilidade Eletromagnética em Bancada:

### Meios de Teste:

- ✓ Sistema de Ensaios de Imunidade aos Surtos de Tensão;
- ✓ Sistema de Ensaios de Imunidade aos Transitórios Elétricos Rápidos;
- ✓ Sistema de Ensaios de Imunidade à Redução e Variação de Tensão;
- ✓ Sistema de Ensaios de Imunidade aos Campos Magnéticos;
- ✓ Sistema de Ensaios de Imunidade às Descargas Eletrostáticas - ESD;
- ✓ Sistema de Ensaios de Emissão de Harmônicos e Flickers;
- ✓ Sistema de Ensaios de Emissão Conduzida de Radiofrequência- RF e Transientes Elétricos.





## **2. RESUMO DO PROJETO**

O projeto Monitoramento e Controle dos Equipamentos para os Ensaios CBERS4A e AMAZÔNIA1 consiste nas atividades de monitorar e controlar os equipamentos que serão utilizados nos ensaios dos satélites e seus subsistemas.

Os equipamentos utilizados nos ensaios dos satélites necessitam estar frequentemente calibrados para realização dos testes. Visto que o monitoramento constante e o controle é essencial no dia a dia do laboratório, com isso é possível garantir a confiabilidade nos resultados dos ensaios realizados.

No plano de trabalho proposto é prevista a participação do bolsista nas seguintes atividades específicas:

- 1 - Efetuar a análise crítica dos certificados de calibração, incorporar e adequar as incertezas de medidas aos resultados dos ensaios;
- 2 - Realizar a caracterização dos dispositivos de interface entre o satélite e subsistemas com o banco de testes de Rádio Frequência;
- 3 - Participar da configuração e realização dos ensaios de Interferência e Compatibilidade e Autocompatibilidade Eletromagnética dos satélites CBERS e Amazônia.

## **3. OBJETIVO**

O principal objetivo desse projeto é prover suporte às atividades desenvolvidas no laboratório durante a realização dos ensaios dos satélites Amazônia e CBERS, assegurando o atendimento aos requisitos de testes e a confiabilidade dos resultados de ensaios. O objetivo da contratação desse bolsista foi inserir no laboratório de EMI/EMC do LIT, um profissional qualificado para apoiá-lo nas suas atividades.

O monitoramento e controle consistem em garantir que cada equipamento utilizado no ensaio esteja calibrado e apto para os testes.

## 4. ATIVIDADES DESENVOLVIDAS DURANTE O PERÍODO DA BOLSA

### 4.1. Efetuar a análise crítica dos certificados de calibração, incorporar e adequar as incertezas de medidas aos resultados dos ensaios.

Todos os equipamentos utilizados para a realização de ensaios, que afetam a qualidade dos resultados, são calibrados em intervalos definidos, em relações a padrões nacionais ou internacionalmente reconhecidas. Os certificados são analisados de acordo com certificados anteriores, com a especificação do fabricante e/ou com critérios definidos pelo laboratório.

Tais calibrações garantem a confiabilidade dos resultados, o certificado de calibração é de suma importância no âmbito laboratorial, pois permite adequar e apropriar os instrumentos de medidas para a realização dos ensaios.

Com a análise crítica do certificado de calibração é possível calcular as incertezas de medidas e inseri-las aos resultados obtidos, garantindo a confiabilidade dos mesmos.

As figuras 4 e 5 ilustram um exemplo de Análise de certificado de calibração:

## Análise de Certificado

<b>Equipamento:</b>	Analisador de Sinais	
<b>Fabricante:</b>	R&S	
<b>Nº de Série:</b>	100337	<b>Nº do Certificado:</b> LIT06-LIT03-CC-10150
<b>Modelo:</b>	FSQ26	<b>Data:</b> 08/02/2017
<b>Patrimônio:</b>	048.059	<b>Laboratório:</b> LIT

	<p><b>OK</b> = O Valor Medido mais a Incerteza da Medida estão de acordo com Especificação.</p> <p><b>OK1</b> = O Valor Medido está de acordo com a Especificação, porém com a Incerteza da Medida em algum ponto ele fica fora dos limites da Especificação.</p> <p><b>OBS:</b> <b>OK2</b> = O Valor Medido não está de acordo com a Especificação, porém com a Incerteza da Medida ele fica dentro dos limites estipulados na Especificação. A utilização do equipamento nesses pontos fica a critério do técnico responsável.</p> <p><b>NÃO OK</b> = O Valor Medido não está de acordo com a Especificação em nenhum ponto, incluindo a Incerteza da Medida.</p>
--	---

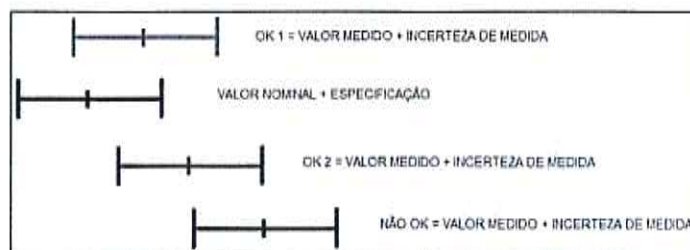


Figura 4 – Análise de Certificado de Calibração (Parte 1)



**RESULTADO DA ANÁLISE:**

MEDIÇÃO DE NÍVEL DE POTÊNCIA - RESPOSTA EM FREQUÊNCIA (0 dBm):							
Frequência	Valor de Referência	Valor Medido	Incerteza de Medição Expandida	Especificação	Status		
100 kHz	0.00 dBm	-0.12 dBm	0.55 dB	0.50	OK	1	
1 MHz	0.00 dBm	-0.03 dBm	0.40 dB	0.50	OK		
10 MHz	0.00 dBm	0.00 dBm	0.45 dB	0.50	OK		
50 MHz	0.00 dBm	0.11 dBm	0.32 dB	0.50	OK		
100 MHz	0.00 dBm	0.09 dBm	0.31 dB	0.50	OK		
200 MHz	0.00 dBm	0.01 dBm	0.31 dB	0.50	OK		
300 MHz	0.00 dBm	-0.01 dBm	0.31 dB	0.50	OK		
400 MHz	0.00 dBm	0.02 dBm	0.31 dB	0.50	OK		
500 MHz	0.00 dBm	0.04 dBm	0.31 dB	0.50	OK		
800 MHz	0.00 dBm	0.02 dBm	0.31 dB	0.50	OK		
900 MHz	0.00 dBm	0.01 dBm	0.31 dB	0.50	OK		
1 GHz	0.00 dBm	0.03 dBm	0.31 dB	0.50	OK		
5 GHz	0.00 dBm	0.28 dBm	0.32 dB	2.00	OK		
6 GHz	0.00 dBm	0.18 dBm	0.32 dB	2.00	OK		
7 GHz	0.00 dBm	0.39 dBm	0.32 dB	2.00	OK		
8 GHz	0.00 dBm	-0.13 dBm	0.32 dB	2.50	OK		
8.5 GHz	0.00 dBm	0.29 dBm	0.32 dB	2.50	OK		
11 GHz	0.00 dBm	-0.12 dBm	0.32 dB	2.50	OK		
15 GHz	0.00 dBm	-0.36 dBm	0.37 dB	2.50	OK		
18 GHz	0.00 dBm	-0.69 dBm	0.40 dB	3.00	OK		

Obs: Especificação retirada do datasheet, considerar:  
 $f < 3.6 \text{ GHz} = 0.5 \text{ dB};$   
 $3.6 \text{ GHz} \leq f < 8 \text{ GHz} = 2.0 \text{ dB};$   
 $8 \text{ GHz} \leq f < 18 \text{ GHz} = 2.5 \text{ dB};$   
 $18 \text{ GHz} \leq f < 26.5 \text{ GHz} = 3.0 \text{ dB};$   
 $26.5 \text{ GHz} \leq f < 40 \text{ GHz} = 3.0 \text{ dB}.$

Figura 5 – Análise de Certificado de Calibração (Parte 2)

A partir da análise do certificado de calibração é possível elaborar o cálculo de incerteza de medição conforme ilustra a figura 6.

Equipamento: R&S FSQ 26 10MHz até 3,6GHz		N° Série: 100337		Fabricante: Rohde & Schwarz			
Grandeza:	dB	Data Calibração:	2/6/2017				
Descrição:		Vencimento Calibração:	2/6/2019				
Tipo	Grandeza de influência (xi)	Unidade	Valor	Distribuição	Incerteza padrão (u(xi))	Coefficiente de sensibilidade (ci)	Contribuição (ci*u(xi))
B	Descrição			Tipo	Divisor (d)		
B	Especificação do fabricante - Analisador de Espectro R&S FSQ 26	dB	0.50	Retangular	1.732	0.29	1
B	Certificado de calibração - Analisador de Espectro R&S FSQ 26	dB	0.34	Normal 2	2.000	0.17	1
						Incerteza Padrão Combinada	0.34
						Incerteza Expandida para intervalo de confiança -95 % (k=2) =	0.68
						Incerteza Final Considerada =	0.70
<b>Comentários:</b>							
1	Incerteza retirada do Datasheet FSQ pdf - Pagina 8, tabela Total measurement uncertainty considerando o pior caso para cada faixa de frequência.						
2	Incerteza retirada do certificado de calibração n° L1106-L1103-CC-10150 Pagina 10, Tabela Medição de Nível de Potência - Resposta em Frequência (0 dBm). Foi considerado o pior caso obtendo na faixa de calibração entre 10MHz a 3.6GHz, o valor de incerteza é igual a 0.34 dB						

Equipamento: R&S FSQ 26 3,6GHz até 8GHz		N° Série: 100337		Fabricante: Rohde & Schwarz			
Grandeza:	dB	Data Calibração:	2/6/2017				
Descrição:		Vencimento Calibração:	2/6/2019				
Tipo	Grandeza de influência (xi)	Unidade	Valor	Distribuição	Incerteza padrão (u(xi))	Coefficiente de sensibilidade (ci)	Contribuição (ci*u(xi))
B	Descrição			Tipo	Divisor (d)		
B	Especificação do fabricante - Analisador de Espectro R&S FSQ 26	dB	2.00	Retangular	1.732	1.15	1
B	Certificado de calibração - Analisador de Espectro R&S FSQ 26	dB	0.34	Normal 2	2.000	0.17	1
						Incerteza Padrão Combinada	1.16
						Incerteza Expandida para intervalo de confiança -95 % (k=2) =	2.32
						Incerteza Final Considerada =	2.40
<b>Comentários:</b>							
1	Incerteza retirada do Datasheet FSQ pdf - Pagina 8, tabela Total measurement uncertainty considerando o pior caso para cada faixa de frequência.						
2	Incerteza retirada do certificado de calibração n° L1106-L1103-CC-10150 Pagina 10, Tabela Medição de Nível de Potência - Resposta em Frequência (0 dBm). Foi considerado o pior caso obtendo na faixa de calibração entre 3.6GHz a 8GHz, o valor de incerteza é igual a 0.34 dB						

Equipamento: R&S FSQ 26 8GHz até 18GHz		N° Série: 100337		Fabricante: Rohde & Schwarz			
Grandeza:	dB	Data Calibração:	2/6/2017				
Descrição:		Vencimento Calibração:	2/6/2019				
Tipo	Grandeza de influência (xi)	Unidade	Valor	Distribuição	Incerteza padrão (u(xi))	Coefficiente de sensibilidade (ci)	Contribuição (ci*u(xi))
B	Descrição			Tipo	Divisor (d)		
B	Especificação do fabricante - Analisador de Espectro R&S FSQ 26	dB	2.50	Retangular	1.732	1.44	1
B	Certificado de calibração - Analisador de Espectro R&S FSQ 26	dB	0.40	Normal 2	2.000	0.29	1
						Incerteza Padrão Combinada	1.45
						Incerteza Expandida para intervalo de confiança -95 % (k=2) =	2.90
						Incerteza Final Considerada =	2.90
<b>Comentários:</b>							
1	Incerteza retirada do Datasheet FSQ pdf - Pagina 8, tabela Total measurement uncertainty considerando o pior caso para cada faixa de frequência.						
2	Incerteza retirada do certificado de calibração n° L1106-L1103-CC-10150 Pagina 10, Tabela Medição de Nível de Potência - Resposta em Frequência (0 dBm). Foi considerado o pior caso obtendo na faixa de calibração entre 8GHz a 18GHz, o valor de incerteza é igual a 0.40 dB						

Figura 6 – Cálculo de incerteza

## 4.2. Realizar a caracterização dos dispositivos de interface entre o satélite e subsistemas com o banco de testes de Rádio Frequência.

As caracterizações dos dispositivos de interface entre o satélite e subsistemas com base nos testes de Rádio Frequência (RF), que necessitam ser realizadas podem ser observadas nas etapas subsequentes:

- **Teste Imunidade Irradiada – RS103**

Objetivo deste teste é simular possíveis ruídos eletromagnéticos RF proveniente a partir dos outros subsistemas instalados dentro do satélite e que possam vir a perturbar o funcionamento do EST. Com isso o teste consiste em fazer com que uma antena irradie um sinal de RF sobre o EST varrendo-se uma faixa ampla de frequências, enquanto observa-se qualquer anomalia no funcionamento, ou seja, a sua sensibilidade a estes sinais. O campo é irradiado não somente sobre o EST, mas também sobre todos os cabos que irão interconectá-lo com os outros subsistemas dentro do satélite, como os cabos de alimentação, de sinais, de telecomando, etc.

O EST não deve apresentar falhas, degradação de eficiência ou desvios da especificação para além das tolerâncias indicadas para um equipamento individual ou o subsistema, quando submetido a uma intensidade do campo elétrico irradiado de 20 V/m sobre o EST, com exceção a frequência de sintonização de um receptor conectado a uma antena. O ensaio deve respeitar e não ultrapassar os limites da figura 7.

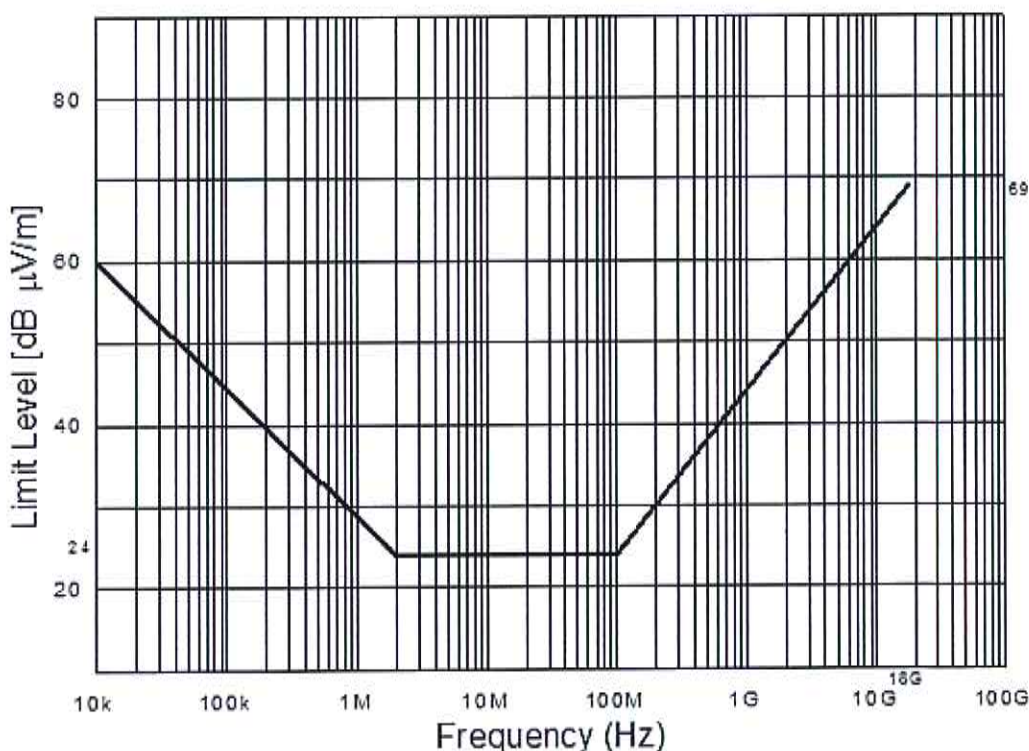


Figura 7 – Limite de Especificação



- **Teste Emissão Conduzida –CE102**

O objetivo deste ensaio é de medir o nível de tensão dos sinais espúrios gerados pelo equipamento e conduzidos na sua rede de alimentação. Neste ensaio mede-se o nível de tensão dos sinais espúrios gerados pelo equipamento e conduzidos na sua rede de alimentação. O ensaio deve respeitar e não ultrapassar os limites da figura 8.

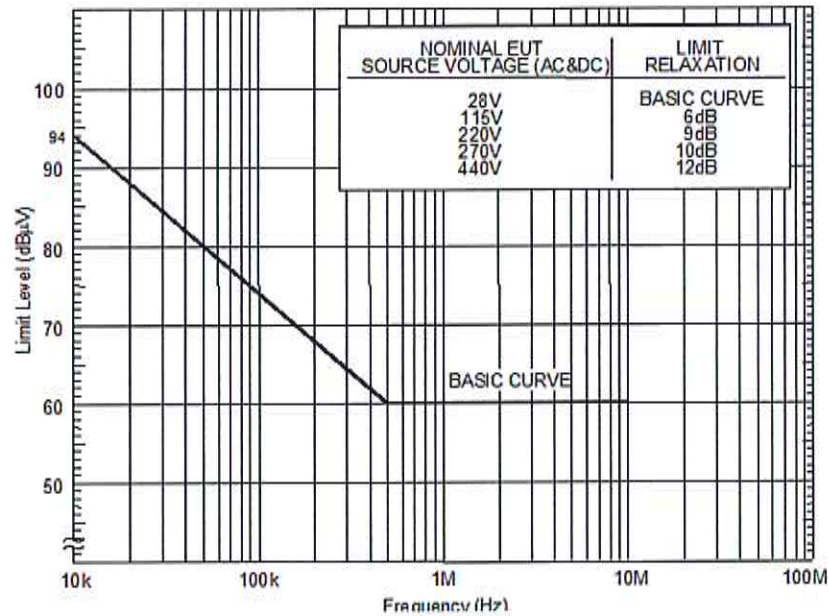


Figura 8 – Limite de Especificação

#### **4.3. Participar da configuração e realização dos ensaios de Interferência e Compatibilidade e Autocompatibilidade Eletromagnética dos satélites CBERS e Amazônia.**

Uma das etapas previstas para o bolsista iniciar era a de configuração e realização dos ensaios de Interferência e Compatibilidade e Autocompatibilidade Eletromagnética, no entanto com o atraso do projeto não foi possível iniciar nenhuma atividade até a presente data, porém o bolsista atuou ativamente nas demais atividades que prepararam o laboratório tecnicamente para desenvolver os ensaios nos Satélites Amazônia e CBERS.

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

De acordo com o plano de trabalho proposto, as atividades desenvolvidas pelo bolsista no que concerne efetuar a análise crítica dos certificados de calibração, incorporar e adequar as incertezas de medidas aos resultados dos ensaios foram satisfatórias, tendo em vista nos itens acima a descrição de tais atividades.



Dentro do plano de execução de trabalho proposto ao bolsista, foi capaz de apoiar na caracterização dos dispositivos de interface entre o satélite e subsistemas com o banco de testes de Rádio Frequência, assim garantindo uma confiabilidade dos resultados dos ensaios nos programas espaciais, viabilizando assim a rastreabilidade dos equipamentos utilizados em tais ensaios.

## 6. CONCLUSÕES GERAIS

Durante o período de início até o presente momento, mesmo sofrendo atrasos nos projetos as atividades realizadas no laboratório EMI/EMC do LIT, foram cumpridas dentro do cronograma de execução do plano de trabalho para o período de cada atividade designada. Visto que o objetivo desse projeto era prover suporte às atividades desenvolvidas no laboratório durante a realização dos ensaios dos satélites Amazônia e CBERS, assegurando o atendimento aos requisitos de testes e a confiabilidade dos resultados de ensaios. O bolsista conseguiu desenvolver as atividades de maneira satisfatória e relevante, atuando e colaborando em todas as atividades, incluindo o monitoramento e controle na quais consistem em garantir que cada equipamento utilizado no ensaio esteja calibrado e apto para os testes.

**São José dos Campos-SP, 30 de setembro de 2018**

**Bolsista: [Paulo José Simões de Almeida]**

**Supervisor(a): [Marco Antônio Strobino]**

*Ricardo Suterio*

*Coordenador do PCI/LIT*

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