



PCI/MCTIC/INPE
RELATÓRIO TÉCNICO DE ATIVIDADES

<v9>

[Referente ao período: 01/04/2018 a 31/12/2018]

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

Número do Processo Individual: [300400/2018-7]

Bolsista: [Clayton Rodrigo do Prado]

Supervisor: [Marco Antonio Stobrino]

Área: [LIT - Laboratório de Integração e Testes]

Vigência original da bolsa: [01/04/2018 a 31/12/2018]

Modalidade da bolsa: [PCI-DD]

RELATÓRIO TÉCNICO

Modelamento e Simulação dos testes nos Ensaios de EMI/EMC/Ant. e Telecom

1) Histórico

1.1. Laboratório de Integração e Testes - LIT

O LIT - Laboratório de Integração e Testes, situado no INPE em São José dos Campos – SP, foi especialmente projetado e construído para atender as necessidades de Programas Espaciais Brasileiros e representa, atualmente, 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 desenvolvimento, 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 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.

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.

2) Resumo do Projeto

No Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE estão em andamento os projetos dos satélites CBERS 4-A e Amazônia 1, um dos projetos é totalmente nacional e o outro está sendo desenvolvido em parceria com a China, os testes dos dois projetos estão sendo realizados no LIT.

O bolsista participou de atividades de análise, verificações funcionais de instrumentos de medição utilizados nos ensaios de EMI/EMC e Antenas, nos testes de Telecomunicações e no modelamento e simulação, sendo essa participação de forma direta ou auxiliando no andamento do projeto.

Durante o período da bolsa, o bolsista auxiliou no processo de ensaios de Compatibilidade Eletromagnética (EMI/EMC) proposto no projeto, partindo do início da análise primária, verificação funcional, configuração dos equipamentos, montagem e validação de setups de testes e execução de ensaios.

3) Objetivo

O objetivo principal desse projeto é a configuração dos sistemas de monitoração do instrumental do laboratório assegurando a garantia da validade dos resultados dos ensaios

As atividades foram desenvolvidas no Laboratório de Integração e Testes – LIT, que se encontra no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, especificamente na área de Interferência e Compatibilidade Eletromagnética (EMI/EMC).

4) Atividades Desenvolvidas durante o período da bolsa

Esse relatório apresenta as atividades desenvolvidas pelo bolsista durante a vigência da bolsa, no período de 01 de abril de 2018 a 31 de dezembro de 2018.

1 – Configurar os sistemas de monitoração do instrumental do laboratório, implementar o controle de realimentação dos níveis de sinais aplicados ao satélite nos testes de susceptibilidade irradiada;

2 - Efetuar medidas comparativas de verificação da efetividade dos materiais utilizados no isolamento das interfaces do satélite;

3 - Participar da configuração, disposição dos equipamentos e realização dos ensaios de Interferência e Compatibilidade e Autocompatibilidade Eletromagnética dos satélites CBERS e Amazônia.

A seguir estão descritas as atividades desenvolvidas pelo bolsista durante o período da bolsa:

Etapa 1 - Configurar os sistemas de monitoração do instrumental do laboratório, implementar o controle de realimentação dos níveis de sinais aplicados ao satélite nos testes de susceptibilidade irradiada:

A configuração e verificação nos testes de susceptibilidade irradiada são feitas com base em métodos e padrões, tendo níveis e frequências variadas para aplicação dos mesmos.

Neste teste são observadas as reações do ESE durante os testes, podendo ser mau funcionamento, degradação de desempenho ou desvio de indicações nas especificações individuais do ESE ou subsistema, quando submetido aos campos irradiados polarizados (vertical e horizontal) com níveis de potência diferentes de acordo com o teste.

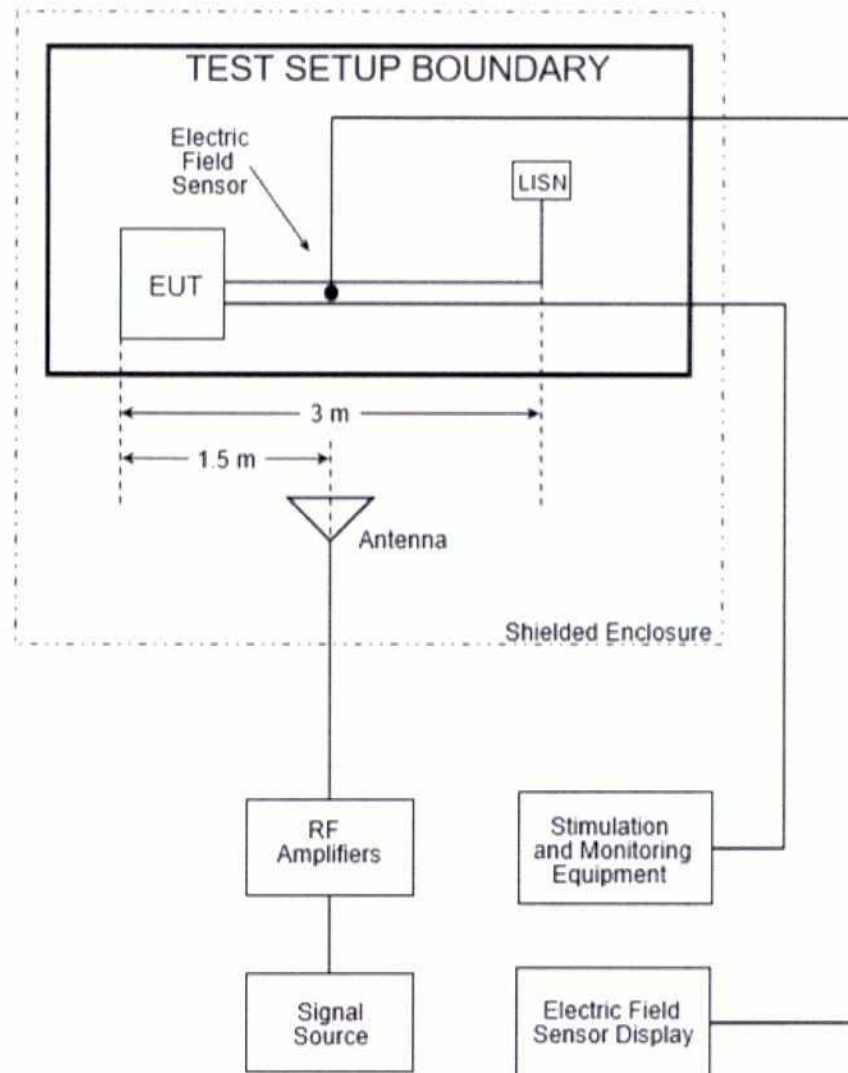


Figura 1 – Modelo de Setup de ensaio de susceptibilidade com realimentação.

No setup e grado o campo, os instrumentos de medição analisam o campo de acordo com sua configuração, o campo resultante gera uma realimentação de dados e sistema no qual esta ação entra em loop até o resultado dos níveis serem satisfatório de acordo com o requerido.

Etapa 2 – Efetuar medidas comparativas de verificação da efetividade dos materiais utilizados no isolamento das interfaces do satélite:

Durante a realização dos testes de EMC no satélite é necessário isolar a contribuição do ruído oriundo de equipamentos de suporte utilizados em sua configuração operacional.

Para tanto são utilizadas técnicas de filtragem nas interfaces, com o uso de blindagens ou então é necessário dispor estes instrumentos de tal forma a minimizar o acoplamento dos sinais. O objetivo é assegurar que as medidas estejam sendo realizadas apenas sobre o satélite.

Uma técnica, bastante efetiva, é envolver o cabo de interface com material ferromagnético apropriado de modo que o acoplamento magnético imponha uma relutância magnética, reduzindo e atenuando a propagação de um sinal indesejado. A determinação do tipo de material utilizado é função do sinal que se deseja eliminar e para tanto a escolha precisa estar sintonizada para que o isolamento seja efetivo.

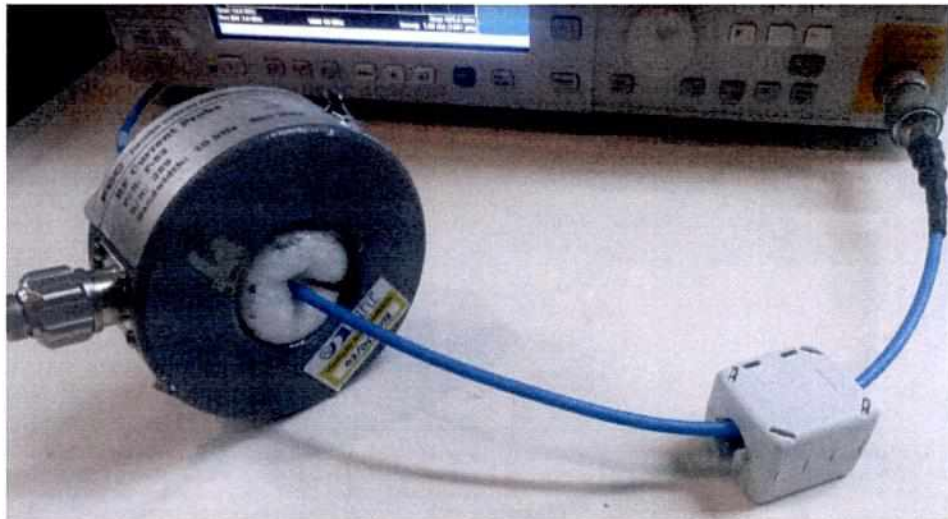


Figura 2 – Setup de medição com probe de corrente – análise de ruído.

Para o setup de medição utilizando a probe de corrente, o ideal é que o cabo esteja perpendicular a probe posicionado o mais próximo possível do centro, garantindo assim uma melhor uniformidade do campo.

Etapa 3 – Participar da configuração, disposição dos equipamentos e realização dos ensaios de Interferência e Compatibilidade e Autocompatibilidade Eletromagnética dos satélites CBERS e Amazônia:

A participação nas configurações e disposição dos equipamentos consiste no auxílio e na análise e verificação dos instrumentos de medição que são

utilizados nos ensaios de Compatibilidade e Incompatibilidade Eletromagnética (EMI/EMC) executados no laboratório.

A verificação e validação dos instrumentos de medição, confirmando aptidão dos mesmos para os testes são de extrema importância, desta forma é possível garantir a confiabilidade e certeza dos resultados para análise do EUT que esta sob teste.

Equipamentos verificados:

- Antena Horn (ETS Lindgren) – Série: 119427
- Gerador de sinais (Rohde & Schwarz – SMB 100A) – Série:107258
- Conjunto RACK EMS (30MHz–100MHz) Antena Bicônica– Série: 00154081

5) Resultados Obtidos em função do Plano de Trabalho proposto

O principal resultado obtido em função do plano de trabalho foi à capacitação do Laboratório de Integração e Testes, atendendo o plano de análise, verificação, montagem e testes do projeto.

O resultado foi obtido devido às análises, verificações e configuração dos instrumentos de medição para os ensaios em questão.

Análises e verificações:

- Antena Horn (ETS Lindgren) – Série: 119427 – Verificação intermediária;

Polarização Horizontal

HORN 1117 SN00119627

Certificado ETS (log99)		ID: 11787172017	
INCENTIVA	0,1	1,36	
FREQUÊNCIA	AF (dB) PV	MEDIDO	EM NORMALIZADO
(MHz)		AF (dB)	
1,000	28,400	28,899	-0,357
1,500	28,500	28,093	
2,000	31,700	32,638	-0,700
2,500	32,600	32,748	-0,105
3,000	33,400	33,460	-0,042
3,500	34,450	33,647	0,344
4,000	33,700	34,259	0,396
4,500	34,000	34,996	0,705
5,000	34,500	35,029	0,374
5,500	34,800	35,348	0,388
6,000	35,300	35,830	0,376
6,500	35,800	36,468	0,473
7,000	35,800	36,075	0,195
7,500	36,000	36,295	0,309
8,000	36,000	36,185	0,131
8,500	36,200	36,178	0,111
9,000	36,700	36,766	0,047
9,500	37,000	37,076	0,054
10,000	37,600	37,374	0,215
10,500	38,300	37,826	0,710
11,000	38,400	38,433	0,023
11,500	39,500	39,051	0,249
12,000	39,500	39,351	0,115
12,500	39,300	39,293	-0,005
13,000	38,800	38,844	0,006
13,500	38,700	38,652	-0,013
14,000	39,100	38,380	-0,010
14,500	39,500	38,428	-0,194
15,000	40,200	39,250	-0,041
15,500	40,800	40,027	0,000
16,000	41,100	41,200	0,071
16,500	41,400	41,194	-0,001
17,000	41,400	41,109	-0,039
17,500	41,300	40,804	-0,117
18,000	41,400	41,032	-0,170

Figura 3 – Verificação intermediária HORN - Resultado numérico – Polarização Horizontal.

Polarização Horizontal

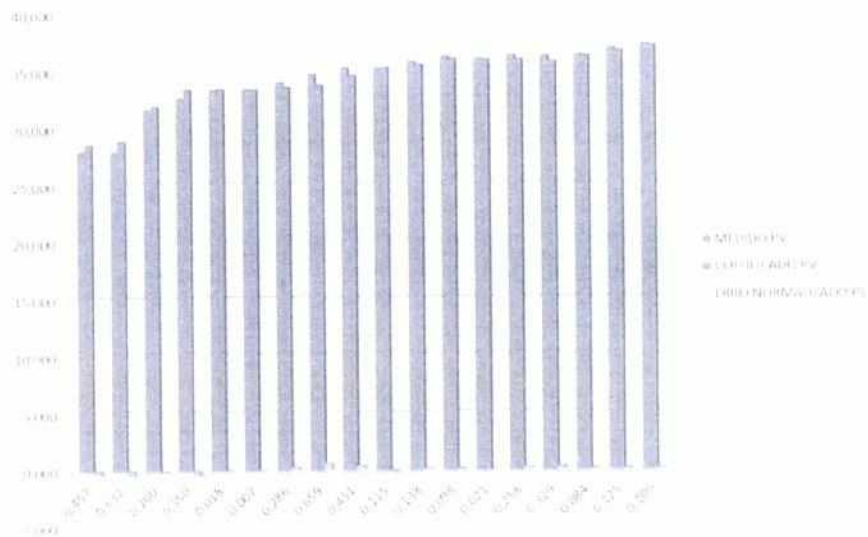


Figura 4 – Verificação intermediária HORN - Resultado gráfico – Polarização Horizontal.

Polarização Vertical

HORN 3117 5N00119427			
Certificado ETS-Undgren ID: 117871 / 2017			
INCERTEZA	0,3	1,38	
FREQUÊNCIA (MHz)	AF (dB) PV	MEDIDO	ERRO NORMALIZADO
		AF (dB)	
1.000	28,500	27,854	-0,457
1.500	28,800	27,908	-0,637
2.000	31,800	31,518	-0,200
2.500	33,300	32,523	-0,550
3.000	33,300	33,275	-0,110
3.500	32,300	33,309	0,007
4.000	33,500	33,904	0,286
4.500	33,700	34,631	0,659
5.000	34,500	35,109	0,431
5.500	35,200	35,038	-0,115
6.000	35,500	35,695	0,138
6.500	36,000	36,138	0,098
7.000	35,900	35,930	0,021
7.500	35,900	36,265	0,258
8.000	35,700	36,165	0,329
8.500	36,200	36,318	0,084
9.000	36,700	36,876	0,125
9.500	37,100	37,241	0,100
10.000	37,700	37,709	0,006
10.500	38,300	37,861	-0,111
11.000	38,600	38,318	0,200
11.500	38,600	38,541	0,043
12.000	39,500	39,246	-0,180
12.500	39,900	39,253	-0,450
13.000	39,100	38,654	-0,316
13.500	38,900	39,012	0,080
14.000	39,300	38,845	-0,322
14.500	40,100	39,293	-0,522
15.000	40,300	39,295	-0,712
15.500	41,400	40,322	-0,763
16.000	42,000	41,090	-0,644
16.500	42,500	40,869	-1,155
17.000	41,400	41,154	-0,174
17.500	41,500	40,684	-0,577
18.000	41,400	41,332	-0,046

Figura 5 – Verificação intermediária HORN - Resultado numérico – Polarização Vertical.

Polarização Vertical

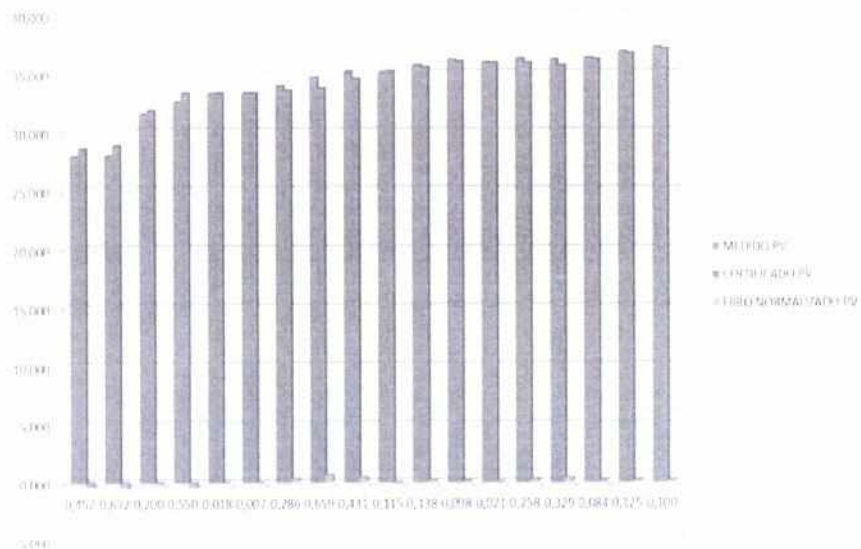


Figura 6 – Verificação intermediária HORN - Resultado gráfico – Polarização Vertical.

- Gerador de Sinais (Rohde & Schwarz – SMB 100A) – Série: 107258 –
 Verificação intermediária;

GERAÇÃO DE NÍVEL DE POTÊNCIA												
Frequência	Valor Medido Cert. 2017		Valor Medido V.I. 2018		Incerteza de Medição Expandida Cert. 2017		Especificação	Desvio Absoluto		Erro Normalizado	Status	
100 kHz	-25,04	dBm	-25,09	dBm	0,77	dB	1	dB	0,05	dB	0,039616468	OK
	-10,16	dBm	-10,22	dBm	0,77	dB	1	dB	0,06	dB	0,047539761	OK
	-0,14	dBm	0,20	dBm	0,77	dB	1	dB	0,06	dB	0,047539761	OK
1 MHz	-25,42	dBm	-25,48	dBm	0,39	dB	0,5	dB	0,06	dB	0,094620277	OK
	-10,67	dBm	-10,73	dBm	0,39	dB	0,5	dB	0,06	dB	0,094620277	OK
	-0,6	dBm	0,65	dBm	0,39	dB	0,5	dB	0,05	dB	0,078850231	OK
10 MHz	-40,16	dBm	-40,18	dBm	0,75	dB	0,5	dB	0,02	dB	0,022188006	OK
	-20,38	dBm	-20,42	dBm	0,29	dB	0,5	dB	0,04	dB	0,069202495	OK
	-0,38	dBm	-0,44	dBm	0,29	dB	0,5	dB	0,06	dB	0,103803743	OK
50 MHz	-40,05	dBm	-40,1	dBm	0,29	dB	0,5	dB	0,05	dB	0,086503119	OK
	-20,25	dBm	-20,3	dBm	0,29	dB	0,5	dB	0,05	dB	0,086503119	OK
	-0,3	dBm	-0,35	dBm	0,29	dB	0,5	dB	0,05	dB	0,086503119	OK
100 MHz	-40,11	dBm	-40,19	dBm	0,29	dB	0,5	dB	0,08	dB	0,13840499	OK
	-20,26	dBm	-20,32	dBm	0,29	dB	0,5	dB	0,06	dB	0,103803743	OK
	-0,31	dBm	-0,36	dBm	0,29	dB	0,5	dB	0,05	dB	0,086503119	OK
1 GHz	-40,04	dBm	-40,2	dBm	0,23	dB	0,5	dB	0,16	dB	0,290716945	OK
	-20,24	dBm	-20,3	dBm	0,29	dB	0,5	dB	0,06	dB	0,103803743	OK
	-0,27	dBm	-0,34	dBm	0,29	dB	0,5	dB	0,07	dB	0,121104366	OK
1,1 GHz	-40,32	dBm	-40,27	dBm	0,23	dB	0,5	dB	0,05	dB	0,090849045	OK
	-20,46	dBm	-20,48	dBm	0,29	dB	0,5	dB	0,02	dB	0,034601248	OK
	-0,53	dBm	0,59	dBm	0,29	dB	0,5	dB	0,06	dB	0,103803743	OK
Especificação segundo o fabricante: $9 \text{ kHz} \leq f < 200 \text{ kHz} < 1,0 \text{ dB}$ $200 \text{ kHz} < f < 3 \text{ GHz} < 0,5 \text{ dB}$												

Figura 7 – Verificação intermediária Gerador de Sinais SMB 100A - Análise de potência.

GERAÇÃO DE NÍVEL RESPOSTA EM FREQUÊNCIA @ 0 dBm												
Frequência	Valor Medido Cert. 2017		Valor Medido V.I. 2018		Incerteza de Medição Expandida Cert. 2017		Especificação	Desvio Absoluto		Erro Normalizado	Status	
100 kHz	0,34	dBm	0,20	dBm	0,77	dB	1	dB	0,06	dB	0,047539761	OK
50 MHz	-0,3	dBm	-0,36	dBm	0,29	dB	0,5	dB	0,06	dB	0,103803743	OK
1 GHz	-0,27	dBm	-0,34	dBm	0,29	dB	0,5	dB	0,07	dB	0,121104366	OK
1,1 GHz	-0,51	dBm	-0,59	dBm	0,29	dB	0,5	dB	0,06	dB	0,103803743	OK
Especificação segundo o fabricante: $9 \text{ kHz} \leq f < 200 \text{ kHz} < 1,0 \text{ dB}$ $200 \text{ kHz} < f < 3 \text{ GHz} < 0,5 \text{ dB}$												

GERAÇÃO DE FREQUÊNCIA										
Valor Medido Cert. 2017	Valor Medido V.I. 2018	Incerteza de Medição Expandida Cert. 2017		Especificação	Desvio Absoluto		Erro Normalizado	Status		
9,0000000794 kHz	9,0000 kHz	0,0000000087	kHz	0,00001	kHz	7,94E-08	kHz	0,007939997	OK	
500,000004415 kHz	500,0000 kHz	0,0000000017	kHz	0,00001	kHz	4,41E-06	kHz	0,44149936	OK	
50,000000439 MHz	50,0000011 MHz	0,0000000000	MHz	0,00001	MHz	6,61E-07	MHz	0,06609984	OK	
500,000004416 MHz	500,0000087 MHz	0,0000000013	MHz	0,00001	MHz	4,28E-06	MHz	0,428399518	OK	
1,000000008848 GHz	1,000000175 GHz	0,000000000022	GHz	0,00001	GHz	8,65E-09	GHz	0,0008652	OK	
1,100000009702 GHz	1,100000183 GHz	0,000000000036	GHz	0,00001	GHz	8,6E-09	GHz	0,0008598	OK	
Considerar a especificação: 1×10^{-4}										

FREQUÊNCIA DE REFERÊNCIA							
Valor Medido Cert. 2017	Valor Medido V.I. 2018	Incerteza de Medição Expandida Cert. 2017		Desvio Absoluto	Erro Normalizado	Status	
10,00000008875 MHz	9,9999999735 MHz	0,00000000031	MHz	0,00001	MHz	0,000001	OK
Considerar a especificação: 1×10^{-3}							

Figura 8 – Verificação intermediária Gerador de Sinais SMB 100A - Análise de frequência.

- Conjunto Rack EMS (Antena Biconica) – Série: 00154081 – Verificação Funcional;

Dados da Verificação

GERADOR FREQUÊNCIA	SENSOR CAMPO MEDIDO (V/m)	POWER METER		VSWR
		FWD (W)	REV. (W)	
30.000	99.996	6620.796	2185.216	3.700
32.000	99.753	7123.413	2447.068	3.832
34.000	100.189	7556.879	3150.626	4.645
36.000	100.237	6834.741	2048.716	3.420
38.000	99.718	5052.787	882.252	2.436
40.000	100.758	4410.509	662.717	2.266
42.000	99.579	3459.897	230.925	1.697
44.000	100.936	3277.900	230.511	1.722
46.000	100.978	2834.192	139.198	1.569
48.000	100.816	2634.658	134.751	1.586
50.000	101.034	2552.755	115.256	1.540
52.000	101.005	2396.798	67.966	1.405
54.000	99.358	2045.068	68.714	1.449
56.000	101.003	2020.890	55.069	1.395
58.000	100.072	1695.836	38.034	1.352
60.000	100.108	1405.259	30.006	1.342
62.000	100.254	1282.412	43.723	1.453
64.000	100.478	1231.368	76.015	1.661
66.000	100.455	1190.963	102.753	1.832
68.000	100.311	1151.577	92.085	1.789
70.000	100.488	1069.466	106.422	1.926
72.000	100.823	933.841	135.593	2.231
74.000	100.853	961.152	195.322	2.447
76.000	100.675	990.693	174.847	2.449
78.000	100.770	915.834	183.119	2.618
80.000	100.892	861.546	208.403	2.936
82.000	100.899	888.569	205.664	2.854
84.000	100.714	903.163	181.783	2.627
86.000	100.802	886.754	181.337	2.651
88.000	100.765	875.758	192.657	2.787
90.000	100.842	920.469	171.917	2.522
92.000	100.980	967.834	129.471	2.153
94.000	100.567	976.447	104.731	1.974
96.000	100.942	998.168	78.233	1.778
98.000	100.920	1027.801	36.597	1.465
100.000	100.799	1065.699	15.379	1.273

Figura 9 – Verificação intermediária Conjunto de Rack EMS – Dados e resultados.

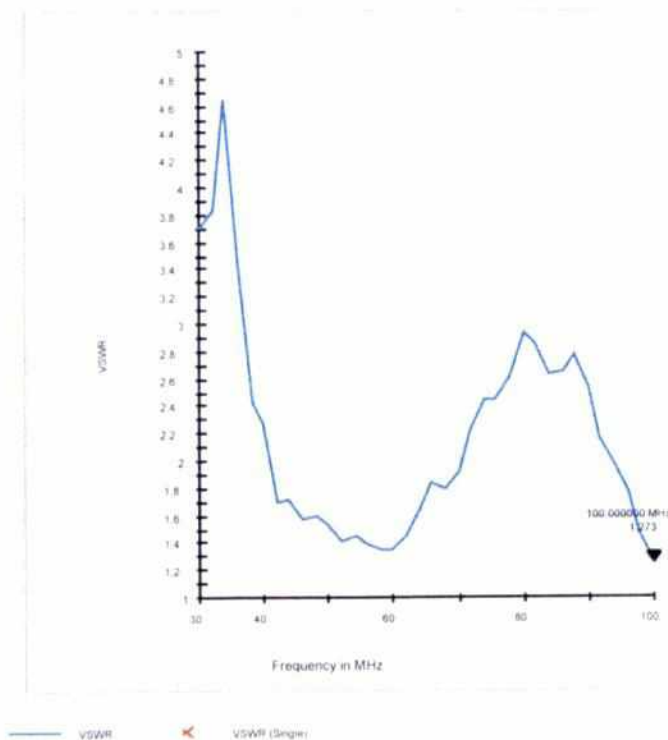


Figura 10 – Verificação intermediária Conjunto de Rack EMS – Resultado gráfico com referência em VSWR.



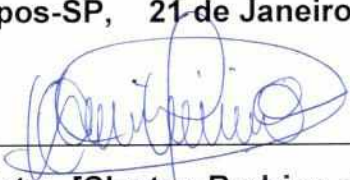
O bolsista também participou de atividades de configuração de equipamentos enviados ao laboratório para realização de ensaios. Para tanto se fez necessária a interpretação da forma de trabalho do equipamento, análise de funcionamento e enquadramento normativo, verificando as especificações e estudando os manuais dos produtos de forma a deixá-los configurados e aptos a serem ensaiados.

Durante a vigência da bolsa foram realizados os ensaios no satélite CBERS 4A e em seus subsistemas, o satélite Amazônia 1 ainda não foi testado até o momento por motivo de atraso no cronograma. Todavia não houve comprometimento ao plano de trabalho, pois, as atividades foram realizadas em outros equipamentos.


7) Conclusões Gerais

Conclui-se que durante o período vigente da bolsa as atividades previstas no cronograma de execução do projeto foram devidamente concluídas. O bolsista teve participação ativa na realização das atividades técnicas do laboratório de EMI/EMC. As atividades desenvolvidas pelo bolsista contribuíram para maior dinamismo na realização dos ensaios de EMI/EMC e para garantia da validade dos resultados de ensaios.

São José dos Campos-SP, 21 de Janeiro de 2019.


Bolsista: [Clayton Rodrigo do Prado]


Supervisor(a): [Marco Antônio Strobino]


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