



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

[Referente ao período: 01/05/2017 a 31/05/2018]

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

Número do Processo Individual: [300578/2017-2]

Bolsista: [Anderson Lima da Rocha]

Supervisor: [Alberto de Paula Silva]

Área: [LIT - Laboratório de Integração e Testes]

Vigência original da bolsa: [01/05/2017 a 30/06/2018]

Modalidade da bolsa: [PCI-DE]



RELATÓRIO TÉCNICO

Título do Projeto Científico: **Automação da calibração de frequencímetros no INPE/LIT.**

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. Visando atender tais necessidades, o Laboratório de Metrologia Elétrica (MTE) do LIT é essencial para assegurar a confiabilidade metrológica dos sistemas e equipamentos de medida, além disso, também presta suporte necessário para as demais áreas do LIT.

Devido ao grande número de clientes que o Laboratório de Metrologia Elétrica obteve desde 1991, quando foi acreditado pela Cgcre, que faz parte da RBC (Rede Brasileira de Calibração), o laboratório sempre busca capacitar-se para manter-se atualizado com o desenvolvimento de novos métodos de calibração, utilizar ferramentas por meio de automações das medidas para aumentar a confiabilidade dos resultados na execução da calibração de Tempo e Frequência, otimizar o tempo e recursos gastos, implementar melhorias nos procedimentos de calibração seguindo a norma NBR ISO/IEC 17025:2005 “Requisitos gerais para competência de laboratórios de Ensaio e Calibração”, planilhas de cálculo de incerteza baseado no “Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement”, adotar melhorias nos processos para garantir a rastreabilidade e qualidade dos instrumentos utilizados para a Montagem, Integração e Testes dos Satélites (CBERS 4 e Amazônia 1) entre outros e atualizações no escopo para atender aos Programas Espaciais e outros.



2. RESUMO DO PROJETO

Visando atender uma necessidade do Laboratório de Integração e Testes em adequar o processo de calibração executados no Laboratório de Metrologia Elétrica, é necessário implementar melhorias nos processos de calibração para garantir rastreabilidade e qualidade dos instrumentos utilizados na Montagem, Integração e Teste de Satélite.

Este trabalho visa dar continuidade ao processo de automatização da calibração de frequencímetros, sendo a primeira fase para a automação do sistema de calibração de Tempo e Frequência do INPE/LIT.

Desta forma, o bolsista participou das seguintes atividades:

- 1) Desenvolvimento e validação de planilhas de cálculos de incerteza de calibração automatizada de frequencímetros.
- 2) Execução de calibrações para validar os métodos implementados para calibração de frequencímetros.
- 3) Treinamento de operadores para realização dos serviços de calibração.
- 4) Melhorias no software

3. OBJETIVO

O objetivo do projeto proposto é fornecer suporte e desenvolver atividades na área de metrologia do LIT assim garantindo a capacitação e promovendo desenvolvimento e implantação de novos testes, métodos de calibração e novas melhorias nos procedimentos técnicos do laboratório, com o intuito de apoiar as atividades espaciais do LIT. O objetivo desta concessão de bolsa foi inserir na equipe de Metrologia Elétrica do LIT, um profissional qualificado para apoiá-la nas suas atividades e assim garante a eficácia de todas as atividades prestada pelo mesmo.

- a) Ampliar a capacidade do laboratório para atender a necessidade da realização de calibração de equipamentos de Tempo e Frequência, principalmente aqueles utilizados pelo INPE/LIT para a montagem, integração e testes de dispositivos espaciais.
- b) Desenvolver e realizar melhorias em seu sistema de calibração de Tempo e Frequência por meio de automação para otimizar tempo e recursos do Laboratório.

4. ATIVIDADES DESENVOLVIDAS DURANTE O PERÍODO DA BOLSA

As atividades desenvolvidas pelo bolsista no laboratório tiveram o objetivo de atender às solicitações de calibração para os programas espaciais e também do Laboratório de Metrologia do LIT para se capacitar em calibração de equipamentos, medidores e sensores usados na Integração e Testes de Satélites. A Área busca implementar melhorias em seu sistema de calibração de Tempo e Frequência por meio de automação para otimizar tempo e recursos respeitando o plano de trabalho proposto, sendo assim são descritas abaixo.

4.1 DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO DE PLANILHAS DE CÁLCULOS DE INCERTEZA DE CALIBRAÇÃO AUTOMATIZADA DE FREQUENCÍMETROS.

Nesta etapa o bolsista desenvolveu uma planilha eletrônica com os devidos cálculos de incerteza para calibração de frequencímetros. Algumas das incertezas para a calibração de frequencímetros são: Variância de Allan; Certificado do Padrão utilizado para a calibração do frequencímetro; Manual do Padrão e Resolução do frequencímetro. O resultado de todos os cálculos apresenta-se na forma de tabela conforme figura 2. Também foi realizada a validação da planilha e a mesma se encontra arquivada no laboratório.

PREPARAÇÃO DA PLANILHA

Tipo: REC

Quantidade de Pontos a Serem Calibrados: Padrão

Faixa de Operação:

| | |
|----------------------------------|-------|
| Frequência Mínima da calibração: | 1 Hz |
| Frequência Máxima da calibração: | 10 Hz |

Desabilitar MACROS

Equipamentos: Padrões Utilizados:

Padrão de Frequência de Césio Agilent Modelo: 5071A, S/N: US4432097, Nº Certificado: LIT06-LIT06-CC-10174, Validade: 31/03/2019

GERADOR 1: Sintetizador de Sinais Agilent Modelo: R1150A, S/N: M141C12293, Nº Certificado: LIT06-LIT06-CC-10258, Validade: 31/10/2018

GERADOR 2:

TÍTULO DO TESTE: MEDIÇÃO DE FREQUÊNCIA:

PARA ANÁLISE DE ESPECTRO

SPAN: RBW: VBW: Ref. LEVEL:

| MEDIDAS MANUAIS | Frequência | Padrão de Frequência Utilizado | Gerador Utilizado | GATE TIME | Resolução | MEDIDAS REALIZADAS | | | | | Unidade |
|-----------------|------------|--------------------------------|-------------------|-----------|-----------|--------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------|
| | | | | | | 1ª Medida | 2ª Medida | 3ª Medida | 4ª Medida | 5ª Medida | |
| | 1 Hz | CESIO 5071A | R1150A | 10 | | | | | | | Hz |
| | 5 Hz | CESIO 5071A | R1150A | 10 | | | | | | | Hz |
| | 10 Hz | CESIO 5071A | R1150A | 10 | | | | | | | Hz |

Configuração do Equipamento:

COLOQUE O TÍTULO E OS VALORES QUE DEVER SAIR NO CERTIFICADO.

Distribuição de Probabilidade = Normal
 Coef. Sensibilidade ct = 1
 Número de medidas = 5

| Estimativa | Erro Relativo de Freq | | | |
|------------|-----------------------|-----------|-----------|-----------|
| | Y1 (AR) | Y2 (AR) | Y3 (AR) | Y4 (AR) |
| MCV/D | -1.00E+00 | -1.00E+00 | -1.00E+00 | -1.00E+00 |
| MSV/D | -1.00E+00 | -1.00E+00 | -1.00E+00 | -1.00E+00 |
| MCV/D | -1.00E+00 | -1.00E+00 | -1.00E+00 | -1.00E+00 |

Figura 1 – Planilha para calibração de frequência (Autor, 2018).

RESULTADO

| Valor Convencional | Valor Indicado | Incerteza Padrão Combinado U _c | Grav de Liberdade Efetivo (v _{eff}) | Fator de Abrangência (k) | Incerteza Expandida (U _k) | Incerteza de acordo com a Relação de Serviços Credenciados | Incerteza de acordo com a Relação de Serviços Credenciados | Incerteza Expandida da Medição | Unidade |
|--------------------|----------------|---|---|--------------------------|---------------------------------------|--|--|--------------------------------|---------|
| 1 | 1 | 5,7735E-06 | infinito | 2,00 | 1,1547E-05 | 8,00E-12 | 8,00E-12 | 1,1547E-05 | Hz |
| 5 | 5 | 5,7735E-06 | infinito | 2,00 | 1,1547E-05 | 8,00E-12 | 8,00E-11 | 1,1547E-05 | Hz |
| 10 | 10 | 5,7735E-06 | infinito | 2,00 | 1,1547E-05 | 8,00E-12 | 8,00E-11 | 1,1547E-05 | Hz |

MEDIÇÃO DE FREQUÊNCIA:

| Valor de Referência | Valor Medido | Incerteza de Medição Expandida | k | v _{eff} |
|---------------------|--------------|--------------------------------|------|------------------|
| 1,000000 Hz | 1,000000 Hz | 8,000012 Hz | 2,00 | infinito |
| 5,000000 Hz | 5,000000 Hz | 8,000012 Hz | 2,00 | infinito |
| 10,000000 Hz | 10,000000 Hz | 8,000012 Hz | 2,00 | infinito |

INserir BORDA

Figura 2 – Tabela com o resultado final da calibração de Frequencímetros (Autor, 2018).

4.2 EXECUÇÃO DE CALIBRAÇÕES PARA VALIDAR OS MÉTODOS IMPLEMENTADOS PARA CALIBRAÇÃO DE FREQUENCÍMETROS.

Em seguida, o bolsista realizou a calibração de freqüencímetro para validação dos métodos implementados neste serviço. Os processos documentados e os resultados da calibração, mais os relatórios, evidenciam que o laboratório segue e cumpre rigidamente com as normas de qualidade como a ISO 9000, ANSI Z540, ISO/IEC 17025 etc.

Laboratório de Calibração acreditado pela COC/PR de acordo com o ABNT NBR ISO/IEC 17025, sob nº. 022.

NÚMERO: **LIT06-LIT06-CC-10293** FOLHA: 3 / 5

RESULTADOS DA CALIBRAÇÃO:
 CALIBRATION RESULTS:

MEDIÇÃO DE FREQUÊNCIA – CANAL 1:

| Valor de Referência | Valor Medido | Incerteza de Medição Expandida | k | Vier |
|---------------------|--------------------|--------------------------------|------|------|
| 1.000000 Hz | 0,999999 Hz | 0,000002 Hz | 2,87 | 4 |
| 5.000000 Hz | 5,000000 Hz | 0,000024 Hz | 2,87 | 4 |
| 10.000000 Hz | 10,000004 Hz | 0,000054 Hz | 2,87 | 4 |
| 50.000000 Hz | 49,999991 Hz | 0,000047 Hz | 2,87 | 4 |
| 100.000000 Hz | 99,999996 Hz | 0,000042 Hz | 2,87 | 4 |
| 500.0000000 Hz | 500,000023 Hz | 0,0000010 Hz | 2,87 | 4 |
| 1.000000000 kHz | 1,0000000454 kHz | 0,000000038 kHz | 2,87 | 4 |
| 5.000000000 kHz | 5,0000002393 kHz | 0,000000058 kHz | 2,87 | 4 |
| 10.000000000 kHz | 10,0000004644 kHz | 0,000000051 kHz | 2,87 | 4 |
| 50.000000000 kHz | 50,0000023177 kHz | 0,000000063 kHz | 2,87 | 4 |
| 100.000000000 kHz | 100,000046282 kHz | 0,000000062 kHz | 2,85 | 5 |
| 500.000000000 kHz | 500,0000231402 kHz | 0,000000069 kHz | 2,12 | 22 |
| 1.000000000 MHz | 1,000000046289 MHz | 0,0000000033 MHz | 2,32 | 9 |
| 5.000000000 MHz | 5,000000231406 MHz | 0,0000000087 MHz | 2,17 | 16 |
| 10.000000000 MHz | 10,00000046282 MHz | 0,0000000040 MHz | 2,43 | 7 |
| 50.000000000 MHz | 50,0000023142 MHz | 0,000000011 MHz | 2,21 | 13 |
| 100.000000000 MHz | 100,000046282 MHz | 0,000000045 MHz | 2,52 | 6 |
| 225.000000000 MHz | 225,000104182 MHz | 0,000000035 MHz | 2,03 | 88 |

Laboratório de Calibração acreditado pela COC/PR de acordo com o ABNT NBR ISO/IEC 17025, sob nº. 022.

NÚMERO: **LIT06-LIT06-CC-10293** FOLHA: 4 / 5

MEDIÇÃO DE FREQUÊNCIA – CANAL 2:

| Valor de Referência | Valor Medido | Incerteza de Medição Expandida | k | Vier |
|---------------------|--------------------|--------------------------------|------|------|
| 1.000000 Hz | 1,000012 Hz | 0,000070 Hz | 2,87 | 4 |
| 5.000000 Hz | 4,999995 Hz | 0,000086 Hz | 2,87 | 4 |
| 10.000000 Hz | 10,000001 Hz | 0,000067 Hz | 2,87 | 4 |
| 50.000000 Hz | 50,000001 Hz | 0,000045 Hz | 2,87 | 4 |
| 100.000000 Hz | 100,000011 Hz | 0,000077 Hz | 2,87 | 4 |
| 500.0000000 Hz | 500,000023145 Hz | 0,00000011 Hz | 2,23 | 12 |
| 1.000000000 kHz | 1,0000000457 kHz | 0,000000075 kHz | 2,87 | 4 |
| 5.000000000 kHz | 5,0000002324 kHz | 0,000000063 kHz | 2,87 | 4 |
| 10.000000000 kHz | 10,000000463 kHz | 0,000000015 kHz | 2,87 | 4 |
| 50.000000000 kHz | 50,000023169 kHz | 0,000000096 kHz | 2,87 | 4 |
| 100.000000000 kHz | 100,000046250 kHz | 0,000000096 kHz | 2,87 | 4 |
| 500.000000000 kHz | 500,0000231410 kHz | 0,000000069 kHz | 2,01 | 241 |
| 1.000000000 MHz | 1,000000046282 MHz | 0,0000000039 MHz | 2,43 | 7 |
| 5.000000000 MHz | 5,000000231384 MHz | 0,0000000087 MHz | 2,11 | 24 |
| 10.000000000 MHz | 10,00000046284 MHz | 0,0000000020 MHz | 2,04 | 60 |
| 50.000000000 MHz | 50,000023141 MHz | 0,000000012 MHz | 2,32 | 9 |
| 100.000000000 MHz | 100,000046284 MHz | 0,000000022 MHz | 2,08 | 34 |
| 225.000000000 MHz | 225,000104136 MHz | 0,000000050 MHz | 2,21 | 13 |

MEDIÇÃO DE FREQUÊNCIA – CANAL 3:

| Valor de Referência | Valor Medido | Incerteza de Medição Expandida | k | Vier |
|---------------------|--------------------|--------------------------------|------|------|
| 100.000000000 MHz | 100,000046232 MHz | 0,000000036 MHz | 2,37 | 8 |
| 500.000000000 MHz | 500,0000231484 MHz | 0,000000091 MHz | 2,13 | 20 |
| 1.000000000 GHz | 1,000000046282 GHz | 0,0000000007 GHz | 2,18 | 15 |
| 2.000000000 GHz | 2,000000092582 GHz | 0,00000000036 GHz | 2,09 | 29 |
| 2.500000000 GHz | 2,500000115700 GHz | 0,00000000038 GHz | 2,03 | 85 |

Figura 3 – Certificado de calibração de freqüencímetro (Autor, 2018).

4.3 TREINAMENTO DE OPERADORES PARA REALIZAÇÃO DOS SERVIÇOS DE CALIBRAÇÃO.

Durante a vigência do projeto, o bolsista treinou a equipe para a realização do serviço de forma automatizada.

4.4 REALIZAÇÃO DE MELHORIAS NO SOFTWARE

Esta etapa não foi finalizada devido ao pedido de encerramento da bolsa antes do prazo vigente.

5. RESULTADOS OBTIDOS EM FUNÇÃO DO PLANO DE TRABALHO PROPOSTO

O principal resultado obtido foi a garantia da capacitação da área de metrologia elétrica (MTE) do laboratório de integração e testes (LIT) para o desenvolvimento de métodos automatizados sem perder a qualidade de prestar serviços de calibração com êxito a fim de atender as demandas dos programas espaciais, são algumas das metas concluídas com sucesso:

- Ter a confiabilidade metrológica e agilidade na calibração de frequencímetros.
- Ter as planilhas de cálculo de incertezas de medição validadas.
- Ter a equipe treinada no novo método.



6. CONCLUSÕES GERAIS

Conclui-se que no período vigente deste projeto, o bolsista realizou as atividades contempladas com êxito satisfazendo os itens propostos 4.1, 4.2 e 4.3.

Devido ao pedido de encerramento da bolsa antes do prazo vigente, o item 4.4 não foi concluído.

Este projeto somou grande conhecimento à equipe de trabalho como um todo, levantando discussões, debates e estudos pertinentes.

O projeto acrescentou ao laboratório mais um serviço disponível de calibração automatizada, uma equipe treinada para calibração de equipamentos de Tempo e Frequência e a confiabilidade e agilidade na calibração.

Por fim, também é creditado o sucesso do projeto ao supervisor e toda a equipe de trabalho que tiveram contribuições significativas no desenvolvimento do bolsista e do trabalho desenvolvido.

São José dos Campos-SP, 31 de maio de 2018

Anderson Lima da Rocha

Bolsista: [Anderson Lima da Rocha]

Supervisor(a): [Alberto de Paula Silva]

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

Ricardo Sutério
Coordenador do PCI/LIT