



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS



IMPLANTAÇÃO DE PROCEDIMENTO PARA CALIBRAÇÃO DE PAQUÍMETROS E MICRÔMETROS UTILIZADOS NA MONTAGEM E INTEGRAÇÃO DE SATÉLITES DO INPE/LIT

**RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
(PIBIC/CNPq/INPE)**

Marcelo Vinícius Bianco de Castro (UNIP, Bolsista PIBIC/CNPq).
E-mail: marcelo.castro@lit.inpe.br

Dr. Ricardo Suterio (LIT/INPE, Orientador).
E-mail: suterio@lit.inpe.br

COLABORADORES

Angela Akemi Tatekawa Silva (LIT/INPE)

Julho de 2015

SUMÁRIO

1. RESUMO DO PLANO INICIAL	4
2. RESUMO DAS ETAPAS REALIZADAS	5
2.1 Paquímetro.....	6
2.2 Micrômetro	7
3. DETALHAMENTO DOS PROCESSOS REALIZADOS	8
3.1. Método de Calibração	8
3.2. Equipamentos Utilizados.....	8
3.3. Condições Ambientais	9
3.4. Atividades Preliminares	9
3.5. Execução da Calibração de Paquímetros	9
3.5.1. Sequência que deve ser feita na calibração de Paquímetros	10
3.6. Incerteza de medição.....	11
3.7. Cálculos utilizados na calibração de Paquímetro.....	11
3.8. Execução da Calibração de Micrômetros Externos	14
3.9. Cálculos utilizados na calibração de Micrômetros Externos	16
3.9.1 Incerteza de Medição de Micrômetros (Erro de paralelismo)	19
3.9.2 Incerteza de Medição de Micrômetros (Erro de planeza na haste fixa)	22
3.9.3 Incerteza de Medição de Micrômetros (Erro de planeza na haste móvel)	24
4. CRONOGRAMA DE ATIVIDADES	27
4.1. Conclusão.....	27
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	28

FIGURAS

Figura 1 – Calibração de micrômetro externo	5
Figura 2 – Calibração de paquímetro	5
Figura 3 – Paquímetro digital	6
Figura 4 – Micrômetro digital	7
Figura 5 – Padrões utilizados na calibração de paquímetros e micrômetros externos	9

TABELAS

Tabela 1 – Incertezas utilizadas na calibração de paquímetro.....	11
Tabela 2 – Incertezas utilizadas na calibração de micrômetros externos	16
Tabela 3 – Incertezas utilizadas na calibração de micrômetros (Erro de paralelismo) ..	19
Tabela 4 – Incertezas utilizadas na calibração de micrômetros (Erro de planeza na haste fixa)	22
Tabela 5 – Incertezas utilizadas na calibração de micrômetros (Erro de planeza na haste móvel)	24

1. RESUMO DO PLANO INICIAL

O Laboratório de Metrologia Mecânica do LIT/INPE é responsável pela calibração de equipamentos mecânicos nas áreas de Força e Torque, Massa e Dimensional e busca constantemente aprimorar seu padrão de excelência quanto às atividades de montagem, integração e testes de satélites, de modo a atender a crescente demanda por serviços especializados decorrentes dos programas espaciais e também das indústrias. Para atender a essa exigência foi proposto este trabalho de iniciação científica na área de metrologia dimensional (Calibração de Paquímetros e Micrômetros).

O trabalho foi dividido em fases, a primeira delas foi adquirir embasamento teórico dos tópicos de metrologia, normalização e qualidade. A segunda foi pesquisar sobre a calibração de paquímetros e micrômetros. A terceira foi desenvolver o procedimento para a calibração dos equipamentos. A última fase foi realizar experimentos práticos para validação dos procedimentos e cálculos desenvolvidos neste trabalho.

As etapas concluídas são: (1) revisão bibliográfica, realização do trabalho de pesquisa, com intuito de adquirir embasamento teórico dos tópicos de metrologia e da preparação e execução de calibração de paquímetros e micrômetros, (2) avaliação e desenvolvimento da técnica de medição, elaboração de como analisar e apresentar os resultados, elaboração da documentação necessária para operação e configuração da técnica de medição, (3) utilizando o conhecimento adquirido nas etapas anteriores foi possível desenvolver o procedimento para a calibração de micrômetro externo, e fazer o aprimoramento no procedimento de calibração de paquímetro, (4) foram feitas comparações dos resultados das calibrações de paquímetro e micrômetro externo do laboratório de metrologia mecânica do LIT/INPE com a de laboratórios externos ao INPE e com isso foi possível validar os procedimentos de calibração.

2. RESUMO DAS ETAPAS REALIZADAS

Nas primeiras fases do projeto buscou-se o embasamento teórico dos tópicos de metrologia, normalização e qualidade através da leitura de procedimentos, das normas existentes no laboratório e de literaturas específicas da área de metrologia.

Em seguida pesquisou-se especificamente sobre a calibração de paquímetros e micrômetros, através de livros e apostilas.

Após isso se iniciou o desenvolvimento do procedimento para calibração de micrômetros externos e o aprimoramento do procedimento de paquímetros.

Com os procedimentos de calibração de paquímetros e micrômetros externos prontos, finalizou-se o processo de desenvolvimento dos cálculos de incertezas.

O bolsista teve participação nos processos de calibração de paquímetros e calibrações de micrômetros externos onde se buscou o melhor método que atendesse a norma técnica de referência (Figuras 1 e 2).|



Figura 1 – Calibração de Micrômetro externo.



Figura 2 – Calibração de paquímetro

2.1 Paquímetro

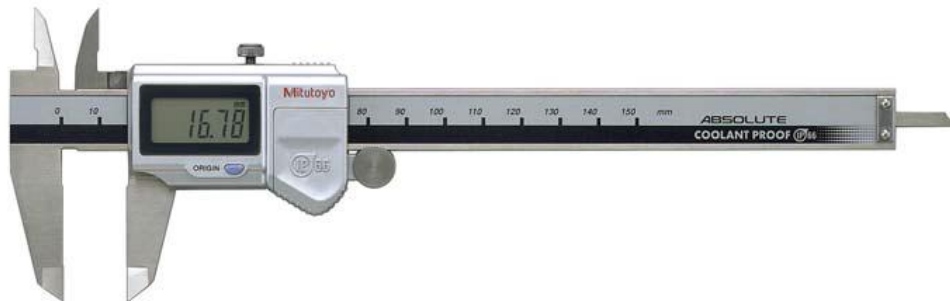


Figura 3 – Paquímetro digital

É um instrumento de medição que apresentam larga aplicação na medição em geral devido a sua grande versatilidade e precisão. Tais instrumentos são fabricados com altos padrões de qualidade a fim de se obter as melhores características possíveis. No paquímetro devemos identificar:

Faixa de Medição: É definida como a faixa de utilização do instrumento, dentro do qual se admite que o erro do instrumento de medição mantenha se dentro dos limites especificados. Os paquímetros geralmente são fabricados com faixa de operação de 150 mm a 2000 mm ou no sistema inglês de 6”a 80”.

Valor de divisão: Menor diferença entre indicações de um dispositivo mostrador que pode ser significativamente percebida, ou seja, menor leitura do instrumento.

O valor de divisão da escala do paquímetro é obtida por:

$$\text{Valor de divisão} = \frac{\text{valor da menor divisão da escala fixa}}{\text{número de divisões da escala móvel}}$$

2.2 Micrômetro



Figura 4 – Micrômetro digital

O micrômetro é um instrumento de medição onde se faz necessário uma exatidão superior à exigida para o paquímetro, ou seja, quando se necessita medir com tolerâncias mais apertadas daquelas que o paquímetro pode oferecer, usa-se o micrômetro. Os micrômetros obedecem ao “princípio de Abbe”. Segundo “Abbe”, um instrumento de medição deve possuir como condição ideal a escala alinhada com a posição na qual o objeto a medir é colocado.

No micrômetro, devemos identificar:

Faixa de Medição: É definida como a faixa de utilização do instrumento, dentro do qual se admite que o erro do instrumento de medição mantenha-se dentro dos limites especificados.

Faixa Nominal: É a faixa de indicação que se pode obter em uma posição específica de um instrumento de medição.

Valor de divisão: Menor diferença entre indicações de um dispositivo mostrador que pode ser significativamente percebida, ou seja, menor leitura do instrumento.

3. DETALHAMENTO DOS PROCESSOS REALIZADOS

Com os estudos bibliográficos realizados, foi possível fazer a elaboração do procedimento de calibração de micrômetros externos e a implantação da calibração de paquímetros.

Com os procedimentos prontos foram feitos alguns testes que envolvem a calibração de paquímetros e micrômetros externos para comparar os resultados das tais, com outros laboratórios de metrologia.

As calibrações de micrômetros externos e paquímetros são feitas pelo método de comparação com padrões calibrados.

Os procedimentos englobam desde a definição dos equipamentos utilizados (padrões) até os métodos e a sequência de operações necessárias para a calibração de paquímetros e micrômetros externos como detalhado a seguir:

3.1 Métodos de Calibração:

O paquímetro e o micrômetro são calibrados pelo método de comparação com blocos padrões calibrados.

3.2 Equipamentos Utilizados (Padrões):

Conjunto Bloco Padrão MITUTOYO – Código 516-106-10 – Set BM1-10M-0/D – s/n 507237

Conjunto Bloco Padrão MITUTOYO – Código 516-939 – Set BM1-112-1 – s/n 239004

Conjunto Bloco Padrão MITUTOYO – Código 611682-03 – s/n 890003 / 890041 / 890055 / 890063 e 890069

Paralelo Óptico MITUTOYO – Código 157-101 – (Para micrômetro).

Jogo de Paralelo Óptico MITUTOYO – Código 157-903 – s/n 014278 / 004789 / 004895 / 005086 (Para micrômetro)



Figura 5 – padrões utilizados na calibração de paquímetros e micrômetros externos

3.3 Condições Ambientais:

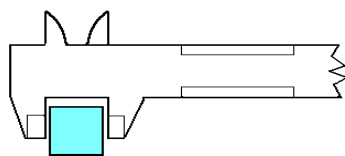
A calibração deve ser realizada em laboratório com temperatura e umidade controladas.

3.4 Atividades Preliminares:

Deve ser observado o tempo de estabilização térmica, limpeza dos equipamentos, verificação inicial do equipamento.

3.5 Execução da calibração de Paquímetros

- Fazer a verificação do ponto zero;
- Fazer a verificação do paralelismo entre as faces do bico (através de bloco padrão).
- Calibrar os bicos dos paquímetros em 20%, 40%, 60%, 80% e 100% da escala ou valores próximos adequados conforme a disponibilidade dos padrões do laboratório;
- Deverão ser efetuadas 3 séries sequenciais de medições;

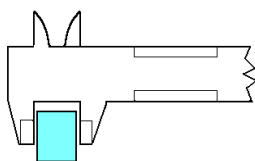


- Calibrar orelhas, hastes e ressaltos em 30% da escala ou valores próximos adequados conforme a disponibilidade dos padrões do laboratório;
- Deverão ser realizadas 3 repetições nas orelhas, hastes e ressaltos

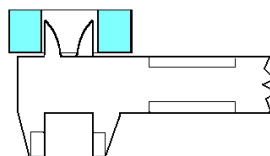
3.5.1 Sequência de calibração de paquímetros

A calibração deve ser realizada conforme a sequência abaixo nos pontos definidos em 3.5

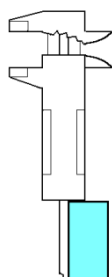
Calibração externa (Bicos):



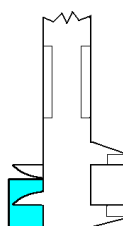
Calibração interna (Orelhas):



Calibração da haste:



Calibração do encosto (Para ressaltos):



Observações: A força de medição deve ser constante durante toda a calibração;

Deve se evitar qualquer tipo de choque mecânico (quedas, batidas, etc) dos blocos padrões;

Após o uso os padrões devem ser limpos com benzina ou similar e untados com uma camada de vaselina. Este material de limpeza deve ser de preferência de uso exclusivo dos blocos padrões;

Os padrões devem ser sempre armazenados nas suas respectivas embalagens quando fora de uso.

3.6 Incerteza de medição

Apresentação dos cálculos das incertezas consideradas na calibração dos equipamentos em questão.

3.7 Cálculos utilizados na calibração de paquímetro

Na tabela a seguir estão listadas as fontes de incerteza consideradas na calibração de paquímetros.

i	Componente	Fonte de Incerteza	Tipo	Distribuição de Probabilidade
1	u (x1)	Repetibilidade das medições	A	normal
2	u (x2)	Incerteza do padrão	B	normal
3	u (x3)	Valor de divisão do objeto	B	retangular
4	u (x4)	Estabilidade temporal	B	retangular
5	u (x5)	Temperatura	B	retangular

Tabela 1 – Incertezas utilizadas na calibração de paquímetro

Avaliação das Incertezas Padrão Tipo A

Calcular a estimativa ou média aritmética dos valores individuais observados no objeto sob calibração, x_1 :

$$x_1 = \frac{(L_1 + L_2 + \dots + L_n)}{n} \text{ [mm]}$$

$n \Rightarrow$ número de medidas realizadas

Calcular o desvio padrão experimental da média, $s(x_1)$ e a incerteza padrão associada à estimativa de entrada, $u(x_1)$ (Avaliação Tipo A) :

$$s(x_1) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (L_i - x_1)^2}{n-1}} \text{ [mm]}$$

$$u(x_1) = \frac{s(x_1)}{\sqrt{n}} \text{ [mm]}$$

Avaliação das Incertezas Padrão Tipo B

Calcular a incerteza padrão associada ao certificado do padrão, $u(x_2)$:

$$u(x_2) = \frac{U(x_2)}{k} \text{ [mm]}$$

onde: $U(x_2) \Rightarrow$ incerteza expandida declarada no certificado de calibração

$k \Rightarrow$ fator de abrangência declarada no certificado de calibração

Calcular a incerteza padrão associada à resolução do objeto sob calibração, $u(x_3)$:

$$u(x_3) = \frac{U(x_3)}{\sqrt{q}} \text{ [mm]}$$

onde: $U(x_3) \Rightarrow$ resolução do objeto sob calibração

$q = 3$ para distribuição retangular

$q = 6$ para distribuição triangular

Calcular a incerteza padrão associada à estabilidade ao longo do tempo do padrão (deriva), $u(x_4)$:

$$u(x_4) = \frac{U(x_4)}{\sqrt{3}} \text{ [mm]}$$

onde: $U(x_4) \Rightarrow$ incerteza associada à estabilidade ao longo do tempo do padrão

Calcular a incerteza padrão associada à diferença entre a temperatura de referência e a temperatura durante a calibração, $u(x_5)$:

$$u(x_5) = \frac{U(x_5)}{\sqrt{3}} \text{ [mm]}$$

onde: $U(x_5) \Rightarrow L \times \alpha \times dt$

L = comprimento do padrão

α = coeficiente de dilatação térmica linear do aço

dt = diferença de temperatura (referência/calibração)

Cálculo da Incerteza Padrão Combinada

A incerteza padrão combinada, u_C , é a raiz quadrada positiva da variância combinada u_C^2 , que é dada por:

$$u_C^2 = u^2(x_1) + u^2(x_2) + u^2(x_3) + u^2(x_4) + u^2(x_5)$$

Cálculo da Incerteza Expandida

Calcular o grau de liberdade efetivo, ν_{eff} :

$$\nu_{eff} = \frac{u_C^4}{\sum_{i=1}^N \frac{u_i^4(y)}{\nu_i}} \quad \text{onde } \nu_i \text{ são os graus de liberdade.}$$

Obter o fator de abrangência, k , para um nível de confiança de 95,45%, através do Guia para a Expressão da Incerteza de Medição;

Calcular a Incerteza Expandida de Medição, U :

$$U = u_C * k$$

Arredondar o valor numérico do valor indicado (para cada ponto calibrado) para o último algarismo significativo do valor da incerteza expandida atribuída a este resultado.

3.8 Execução da calibração de Micrômetros Externos

A calibração de micrômetros deve ser realizada conforme segue:

- Fazer a verificação visual do ponto zero do tambor e da bainha (contra luz).
- Caso necessário, ajustar o micrômetro antes de iniciar a calibração.

- Fazer a inspeção da planeza das superfícies de medição por meio de um plano óptico (se as superfícies não são perfeitamente planas um certo número de franjas de interferência coloridas será visto em suas superfícies). O plano óptico deve ser colocado em contato com uma superfície de cada vez (haste fixa e haste móvel) e aplicado de tal forma que o número mínimo de franjas seja obtido. Anotar o número de franjas encontrado na planilha de cálculo de incertezas. Deverão ser realizadas 3 leituras em cada uma das superfícies.

- Fazer a inspeção de paralelismo das superfícies de medição por meio de um conjunto de 3 ou 4 planos ópticos de espessura que difiram aproximadamente de $\frac{1}{4}$ do passo do fuso. Os paralelos ópticos devem ser colocados em contato com ambas as superfícies de medição sob a pressão da catraca. Mover cuidadosamente o paralelo óptico entre as superfícies até obter o menor número de franjas de interferência visíveis em uma das faces e contar o número de franjas na superfície oposta. Anotar o número de franjas encontrado na planilha de cálculo de incertezas. Deverão ser realizadas 3 leituras. Esse procedimento deve ser repetido com cada paralelo óptico do conjunto.

- Calibrar o fuso micrométrico através de bloco padrão. A sequência de blocos padrões deve ser selecionada de tal forma a avaliar o fuso em voltas completas e em posições intermediárias. Para micrômetros com passo de rosca 0,5 mm utilizar a seguinte sequência de blocos: 2,5; 5,1; 7,7; 10,3; 12,9; 15,0; 17,6; 20,2; 22,8 e 25,0 mm. Deverão ser realizadas 3 séries (sequenciais e crescentes) de leitura.

Observações: A força de medição deve ser constante durante toda a calibração;

Deve-se evitar qualquer tipo de choque mecânico (quedas, batidas, etc) dos blocos padrões;

Após o uso os padrões devem ser limpos e untados com uma camada de vaselina. Este material de limpeza deve ser de preferência de uso exclusivo dos blocos padrões;

Os padrões devem ser sempre armazenados nas suas respectivas embalagens quando fora de uso.

3.9 Cálculos utilizados na calibração de micrômetros externos

Na tabela a seguir estão listadas as fontes de incerteza consideradas na calibração de micrômetros.

i	Componente	Fonte de Incerteza	Tipo	Distribuição de Probabilidade
1	u (x1)	Repetibilidade das medições	A	normal
2	u (x2)	Incerteza do padrão	B	normal
3	u (x3)	Valor de divisão do objeto	B	retangular
4	u (x4)	Estabilidade temporal	B	retangular
5	u (x5)	Temperatura	B	retangular

Tabela 2 – Incertezas utilizadas na calibração de micrômetros externos

Avaliação das Incertezas Padrão Tipo A

Calcular a estimativa ou média aritmética dos valores individuais observados no objeto sob calibração, x_1 :

$$x_1 = \frac{(L_1 + L_2 + \dots + L_n)}{n} \quad [\text{mm}]$$

$n \Rightarrow$ número de medidas realizadas

Calcular o desvio padrão experimental da média, $s(x_1)$ e a incerteza padrão associada à estimativa de entrada, $u(x_1)$ (Avaliação Tipo A) :

$$s(x_1) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (L_i - x_1)^2}{n-1}} \quad [\text{mm}]$$

$$u(x_1) = \frac{s(x_1)}{\sqrt{n}} \quad [\text{mm}]$$

Avaliação das Incertezas Padrão Tipo B

Calcular a incerteza padrão associada ao certificado do padrão, $u(x_2)$:

$$u(x_2) = \frac{U(x_2)}{k} \quad [\text{mm}]$$

onde: $U(x_2) \Rightarrow$ incerteza expandida declarada no certificado de calibração

$k \Rightarrow$ fator de abrangência declarada no certificado de calibração

Calcular a incerteza padrão associada à resolução do objeto sob calibração, $u(x_3)$:

$$u(x_3) = \frac{U(x_3)}{\sqrt{3}} \quad [\text{mm}]$$

onde: $U(x_3) \Rightarrow$ resolução do objeto sob calibração

Calcular a incerteza padrão associada à estabilidade ao longo do tempo do padrão (deriva), $u(x_4)$:

$$u(x_4) = \frac{U(x_4)}{\sqrt{3}} \quad [\text{mm}]$$

onde: $U(x_4) \Rightarrow$ incerteza associada à estabilidade ao longo do tempo do padrão

Calcular a incerteza padrão associada à diferença entre a temperatura de referência e a temperatura durante a calibração, $u(x_5)$:

$$u(x_5) = \frac{U(x_5)}{\sqrt{3}} \quad [\text{mm}]$$

onde: $U(x_5) \Rightarrow L \times \alpha \times dt$

L = comprimento do padrão

α = coeficiente de dilatação térmica linear do aço

dt = diferença de temperatura (referência/calibração)

Cálculo da Incerteza Padrão Combinada

A incerteza padrão combinada para medições externas, u_{C1} , é a raiz quadrada positiva da variância combinada u_C^2 , que é dada por:

$$u_{C1}^2 = u^2(x_1) + u^2(x_2) + u^2(x_3) + u^2(x_4) + u^2(x_5)$$

Cálculo da Incerteza Expandida

Calcular o grau de liberdade efetivo, ν_{eff1} :

$$\nu_{\text{eff1}} = \frac{u_{C1}^4}{\sum_{i=1}^N \frac{u_i^4(y)}{\nu_i}} \quad \text{onde } \nu_i \text{ são os graus de liberdade.}$$

Obter o fator de abrangência, k , para um nível de confiança de 95,45%, através do Guia para a Expressão da Incerteza de Medição;

Calcular a Incerteza Expandida de Medição, U:

$$U1 = uC1 * k$$

Arredondar o valor numérico do valor indicado (para cada ponto calibrado) para o último algarismo significativo do valor da incerteza expandida atribuída a este resultado.

3.9.1 Incerteza de medição de micrômetros (Erro de paralelismo)

i	Componente	Fonte de Incerteza	Tipo	Distribuição de Probabilidade
1	u (x6)	Repetibilidade das medições	A	normal
2	u (x7)	Plano óptico	B	retangular
3	u (x8)	Temperatura	B	retangular

Tabela 3 – Incertezas utilizadas na calibração de micrômetros (desvio de paralelismo)

Avaliação das Incertezas Padrão Tipo A

Calcular a estimativa ou média aritmética dos valores individuais observados no objeto sob calibração, x6 :

$$X6 = \frac{(L_1 + L_2 + \dots + L_n)}{n} \quad [\text{mm}]$$

n \Rightarrow número de medidas realizadas

Calcular o desvio padrão experimental da média, $s(x_6)$ e a incerteza padrão associada à estimativa de entrada, $u(x_6)$ (Avaliação Tipo A) :

$$s(x_6) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (L_i - x_6)^2}{n-1}} \quad [\text{mm}]$$

$$u(x_6) = \frac{s(x_6)}{\sqrt{n}} \quad [\text{mm}]$$

Avaliação das Incertezas Padrão Tipo B

Calcular a incerteza padrão associada ao certificado do padrão, $u(x_7)$:

$$u(x_7) = \frac{U(x_7)}{k} \quad [\text{mm}]$$

onde: $U(x_7) \Rightarrow$ incerteza expandida declarada no certificado de calibração

$k \Rightarrow$ fator de abrangência declarada no certificado de calibração

Calcular a incerteza padrão associada à diferença entre a temperatura de referência e a temperatura durante a calibração, $u(x_8)$:

$$u(x_8) = \frac{U(x_8)}{\sqrt{3}} \quad [\text{mm}]$$

onde: $U(x_8) \Rightarrow L \times \alpha \times dt$

L = comprimento do padrão

α = coeficiente de dilatação térmica linear do acrílico

dt = diferença de temperatura (referência/calibração)

Cálculo da Incerteza Padrão Combinada

A incerteza padrão combinada para o desvio de paralelismo, u_{C2} , é a raiz quadrada positiva da variância combinada u_{C2}^2 , que é dada por:

$$u_{C2}^2 = u^2(x_6) + u^2(x_7) + u^2(x_8)$$

Cálculo da Incerteza Expandida

Calcular o grau de liberdade efetivo, ν_{eff2} :

$$\nu_{eff2} = \frac{u_{C2}^4}{\sum_{i=1}^N \frac{u_i^4(y)}{\nu_i}} \quad \text{onde } \nu_i \text{ são os graus de liberdade.}$$

Obter o fator de abrangência, k , para um nível de confiança de 95,45%, através do Guia para a Expressão da Incerteza de Medição;

Calcular a Incerteza Expandida de Medição, U :

$$U = u_{C2} * k$$

Arredondar o valor numérico do valor indicado (para cada ponto calibrado) para o último algarismo significativo do valor da incerteza expandida atribuída a este resultado.

3.9.2 Incerteza de medição de micrômetros (Erro de planeza na haste fixa)

i	Componente	Fonte de Incerteza	Tipo	Distribuição de Probabilidade
1	u (x9)	Repetibilidade das medições	A	normal
2	u (x10)	Plano óptico	B	retangular
3	u (x11)	Temperatura	B	retangular

Tabela 4 – Incertezas utilizadas na calibração de micrômetros (desvio de planeza na haste fixa)

Avaliação das Incertezas Padrão Tipo A

Calcular a estimativa ou média aritmética dos valores individuais observados no objeto sob calibração, x_9 :

$$\bar{x}_9 = \frac{(L_1 + L_2 + \dots + L_n)}{n} \quad [\text{mm}]$$

$n \Rightarrow$ número de medidas realizadas

Calcular o desvio padrão experimental da média, $s(x_9)$ e a incerteza padrão associada à estimativa de entrada, $u(x_9)$ (Avaliação Tipo A) :

$$s(x_9) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (L_i - \bar{x}_9)^2}{n-1}} \quad [\text{mm}]$$

$$u(x_9) = \frac{s(x_9)}{\sqrt{n}} \quad [\text{mm}]$$

Avaliação das Incertezas Padrão Tipo B

Calcular a incerteza padrão associada ao certificado do padrão, $u(x_{10})$:

$$u(x_{10}) = \frac{U(x_{10})}{k} \quad [\text{mm}]$$

onde: $U(x_{10}) \Rightarrow$ incerteza expandida declarada no certificado de calibração

$k \Rightarrow$ fator de abrangência declarada no certificado de calibração

Calcular a incerteza padrão associada à diferença entre a temperatura de referência e a temperatura durante a calibração, $u(x_{11})$:

$$u(x_{11}) = \frac{U(x_{11})}{\sqrt{3}} \quad [\text{mm}]$$

onde: $U(x_{11}) \Rightarrow L \times \alpha \times dt$

$L =$ comprimento do padrão

$\alpha =$ coeficiente de dilatação térmica linear do acrílico

$dt =$ diferença de temperatura (referência/calibração)

Cálculo da Incerteza Padrão Combinada

A incerteza padrão combinada para o desvio de planeza do batente fixo, u_{C3} , é a raiz quadrada positiva da variância combinada u_{C3}^2 , que é dada por:

$$u_{C3}^2 = u^2(x_9) + u^2(x_{10}) + u^2(x_{11})$$

Cálculo da Incerteza Expandida

Calcular o grau de liberdade efetivo, $veff_3$:

$$v_{\text{eff}3} = \frac{u_{C3}^4}{\sum_{i=1}^N \frac{u_i^4(y)}{v_i}} \quad \text{onde } v_i \text{ são os graus de liberdade.}$$

Obter o fator de abrangência, k, para um nível de confiança de 95,45%, através do Guia para a Expressão da Incerteza de Medição;

Calcular a Incerteza Expandida de Medição, U:

$$U3 = u_{C3} * k$$

Arredondar o valor numérico do valor indicado (para cada ponto calibrado) para o último algarismo significativo do valor da incerteza expandida atribuída a este resultado.

3.9.3 Incerteza de medição de micrômetros (Erro de planeza na haste móvel)

i	Componente	Fonte de Incerteza	Tipo	Distribuição de Probabilidade
1	u (x12)	Repetibilidade das medições	A	normal
2	u (x13)	Plano óptico	B	retangular
3	u (x14)	Temperatura	B	retangular

Tabela 5 – Incertezas utilizadas na calibração de micrômetros (desvio de planeza na haste móvel)

Avaliação das Incertezas Padrão Tipo A

Calcular a estimativa ou média aritmética dos valores individuais observados no objeto sob calibração, x12 :

$$x_{12} = \frac{(L_1 + L_2 + \dots + L_n)}{n} \quad [\text{mm}]$$

$n \Rightarrow$ número de medidas realizadas

Calcular o desvio padrão experimental da média, $s(x_{12})$ e a incerteza padrão associada à estimativa de entrada, $u(x_{12})$ (Avaliação Tipo A) :

$$s(x_{12}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (L_i - x_{12})^2}{n-1}} \quad [\text{mm}]$$

$$u(x_{12}) = \frac{s(x_{12})}{\sqrt{n}} \quad [\text{mm}]$$

Avaliação das Incertezas Padrão Tipo B

Calcular a incerteza padrão associada ao certificado do padrão, $u(x_{13})$:

$$u(x_{13}) = \frac{U(x_{13})}{k} \quad [\text{mm}]$$

onde: $U(x_{13}) \Rightarrow$ incerteza expandida declarada no certificado de calibração

$k \Rightarrow$ fator de abrangência declarada no certificado de calibração

Calcular a incerteza padrão associada à diferença entre a temperatura de referência e a temperatura durante a calibração, $u(x_{14})$:

$$u(x_{14}) = \frac{U(x_{14})}{\sqrt{3}} \quad [\text{mm}]$$

onde: $U(x_{14}) \Rightarrow L \times \alpha \times dt$

L = comprimento do padrão

α = coeficiente de dilatação térmica linear do acrílico

dt = diferença de temperatura (referência/calibração)

Cálculo da Incerteza Padrão Combinada

A incerteza padrão combinada para o desvio de planeza do batente móvel, u_{C4} , é a raiz quadrada positiva da variância combinada u_{C4}^2 , que é dada por:

$$u_{C4}^2 = u^2(x_{12}) + u^2(x_{13}) + u^2(x_{14})$$

Cálculo da Incerteza Expandida

Calcular o grau de liberdade efetivo, v_{eff4} :

$$v_{eff4} = \frac{u_{C4}^4}{\sum_{i=1}^N \frac{u_i^4(y)}{v_i}} \quad \text{onde } v_i \text{ são os graus de liberdade.}$$

Obter o fator de abrangência, k, para um nível de confiança de 95,45%, através do Guia para a Expressão da Incerteza de Medição;

Calcular a Incerteza Expandida de Medição, U:

$$U4 = u_{C4} * k$$

Arredondar o valor numérico do valor indicado (para cada ponto calibrado) para o último algarismo significativo do valor da incerteza expandida atribuída a este resultado.

4. CRONOGRAMA DE ATIVIDADES

O bolsista está realizando o trabalho de iniciação científica de acordo com o cronograma apresentado abaixo:

PROGRAMA DE TRABALHO	ANO 01												ANO 02											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. Revisão Bibliográfica:	■	■	■	■	■	■					■	■	■											
2. Trabalho de Pesquisa:							■	■	■	■	■	■				■	■	■						
3. Documentação:													■	■	■			■	■					
4. Divulgação dos Resultados:					■							■						■						■

■ Atividades realizadas ■ Atividades Previstas

4.1 Conclusão

O projeto de iniciação científica foi concluído com sucesso. Foram concluídas todas as etapas inicialmente propostas e o Laboratório de Metrologia Mecânica do LIT já está apto a realizar calibrações de paquímetros e micrômetros externos.

O Laboratório também passou recentemente por avaliação da Cgcre do INMETRO para extensão nessa área e está aguardando o resultado final.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Walter Link. **Metrologia mecânica: expressão da incerteza de medição.**

Editora da Mitutoyo Sul América Ltda., 174 p., julho, 1997.

Walter Link. **Tópicos Avançados da Metrologia Mecânica.** Editora da Mitutoyo Sul América Ltda., 1ª edição, novembro de 2000; 263 p.

CAVACO, M.A.M. **Apostila de Metrologia Parte II.** Laboratório de Metrologia e Automatização, Departamento de Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, Brasil, 2003.

GONÇALVES Jr., A.A. **Apostila de Metrologia Parte I.** Laboratório de Metrologia e Automatização, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, Brasil, 2002.

ISO. **NBR NM-ISO 3611 *Micrômetro para medições externas.*** Janeiro, 1997.

ADEQUAÇÃO DA CALIBRAÇÃO DO MICRÔMETRO PARA EXTERNOS À NBR ISO/IEC 17025. *Cláudio Costa Souza, Rosenda Valdés Arencibia.*

Site: <http://www.seer.ufu.br/index.php/horizontecientifico/article/view/6350>.

Apostila de Instrumentação. AUTORES: SAMUEL MENDES FRANCO - OSNI

PAULA LEITE - LUIS ALBERTO BÁLSAMO. Fatec Sorocaba - 10 / 2010

http://www.fatecsorocaba.edu.br/principal/pesquisas/metrologia/apostilas/apostila_paquimetro.pdf

Apostila de Instrumentação. AUTORES: SAMUEL MENDES FRANCO - OSNI

PAULA LEITE - LUIS ALBERTO BÁLSAMO. Fatec Sorocaba - 10 / 2008

http://www.fatecsorocaba.edu.br/principal/pesquisas/metrologia/apostilas/apostila_micrometros.pdf