

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS  
ENGENHARIA MECÂNICA  
ANDRÉ LUIS COSTA GRANDÍ**

**IMPLANTAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE CALIBRAÇÃO E  
MONITORAMENTO DE EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO**

**Varginha  
2018**

**ANDRÉ LUIS COSTA GRANDÍ**

**IMPLANTAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE CALIBRAÇÃO E  
MONITORAMENTO DE EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de engenharia mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas – Unis MG como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel sobre orientação do Prof. Marcelo Pereira Gonçalves.

**Varginha**

**2018**

**ANDRÉ LUIS COSTA GRANDÍ**

**IMPLANTAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE CALIBRAÇÃO E  
MONITORAMENTO DE EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de engenharia mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas – Unis MG, como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel pela Banca Examinadora composta pelos membros:

**Aprovado em** / /

---

**Prof. Marcelo Pereira Gonçalves**

---

**Prof.**

---

**Prof.**

**OBS.:**

## RESUMO

Este trabalho aborda um dos requisitos da norma ABNT NBR ISO 9001:2015, onde está descrito no item 7.1.5, sobre o controle de equipamento de monitoramento e medição, sendo este item pertinente à área de metrologia, onde determina todo o sistema de gerenciamento dos equipamentos de medição, assegurando sua integridade dimensional, rastreabilidade de informações e confiabilidade dos resultados. É realizado então uma pesquisa relacionada à calibração de equipamentos. A norma ABNT NBR ISO/ IEC 17025:2017 trata das competências de laboratórios para a realização de calibrações e ensaios, e utilizando desta norma foi proposta a calibração interna destes instrumentos, inicialmente relacionada aos instrumentos dos laboratórios do Unis, os paquímetros. Como requisito para a calibração interna foi desenvolvido uma série de cálculos de incerteza de medição, que são necessários para o desenvolvimento desta atividade. É exposto que a aplicação desta atividade de calibração interna requer instrumentos, competências e cálculos que só se fazem vantajosos devido à quantidade de instrumentos e a capacidade da organização de adquirir todos os itens necessários por norma. Neste caso constata-se que a implantação desta calibração interna é vantajosa para Unis, tendo em vista a quantidade de instrumentos dispostos em suas dependências.

**Palavras-chave:** Metrologia. Calibração. Qualidade.

## **ABSTRACT**

*This work addresses one of the requirements of ABNT NBR ISO 9001: 2015, where it is described in item 7.1.5, on the control of monitoring and measuring equipment, this item being relevant to the area of metrology, where it determines the entire management system of measurement equipment, ensuring dimensional integrity, traceability of information and reliability of results. A research related to equipment calibration is then carried out. The ABNT NBR ISO / IEC 17025: 2017 standard deals with laboratory competences for calibration and testing, and using this standard, the internal calibration of these instruments, initially related to Unis laboratories instruments, was proposed. As a requirement for internal calibration, a series of measurement uncertainty calculations were developed that are necessary for the development of this activity. It is exposed that the application of this internal calibration activity requires instruments, skills and calculations that are only advantageous due to the number of instruments and the capacity of the organization to acquire all the necessary items by norm. In this case it is verified that the implantation of this internal calibration is advantageous for Unis, considering the quantity of instruments arranged in its dependencies.*

*Key words: Metrology. Calibration. Quality.*

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|   |    |
|---|----|
| Figura 01 – Modelo de sistema de gestão de medição .....  | 14 |
| Figura 02 – Representação esquemática de paquímetro para medição externa interna e de profundidade .....                        | 15 |
| Figura 03 – Representação esquemática de paquímetro para medição externa, interna e de profundidade com indicação digital ..... | 15 |
| Figura 04 – Erro máximo admissível de indicação .....   | 16 |
| Figura 05 – Parâmetros e pontos a serem calibrados. Instrumentos de medição de comprimento .....                                | 17 |
| Figura 06 – Representação de distribuição retangular .....  | 34 |
| Figura 07 – Representação de distribuição triangular .....  | 35 |
| Figura 08 – Modelo da ficha de calibração - itens de identificação .....  | 38 |
| Figura 09 – Modelo de ficha de calibração – resultados das medições .....   | 39 |
| Figura 10 – Valores de incerteza calculados – Incerteza de medição interna .....  | 39 |
| Figura 11 – Tabela das incertezas Tipo B, combinada e expandida .....   | 40 |
| Figura 12 – Calibração da medição externa .....   | 42 |
| Figura 13 – Calibração da medição interna .....   | 42 |
| Figura 14 – Calibração da medição de profundidade .....   | 43 |
| Figura 15 – Calibração da medição do encosto .....  | 43 |
| Figura 16 – Tabela para gerenciamento de calibrações 1 .....  | 45 |
| Figura 17 – Tabela para gerenciamento de calibrações 2 .....  | 46 |
| Figura 18 – Tabela para gerenciamento de calibrações 3 .....  | 46 |

## LISTA DE QUADROS

|  |    |
|--|----|
| Quadro 01 – Valor de $k$ da distribuição-t para $\nu$ graus de liberdade ..... | 25 |
| Quadro 02 – Especificações paquímetros Unis .....                              | 27 |
| Quadro 03 – Orçamentos para calibração dos instrumentos .....                  | 27 |
| Quadro 04 – Pontos de calibração de acordo com a DOQ-CGCRE-005 .....           | 28 |
| Quadro 05 – Padrões necessários para a calibração .....                        | 28 |
| Quadro 06 – Incertezas de calibração.....                                      | 29 |
| Quadro 07 – Tolerância para blocos padrão .....                                | 31 |
| Quadro 08 – Comparativo de custo entre calibração interna e terceirizada ..... | 47 |
| Quadro 09 – Comparativo de custo ao longo de 3 anos .....                      | 47 |

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

DOQ - CGCRE – Documento Orientativo de Qualidade - Coordenação Geral de Acreditação.

IATF – International Automotive Task Force.

IEC – International Electrotechnical Commission.

ISO – International Organization for Standardization.

GUM – Guide for the expression. of Uncertainty in Measurement.

NBR – Norma Brasileira.

NM – Normalização no Mercosul.

SI – Sistema Internacional de Unidades.

VIM – Vocabulário Internacional de Metrologia.



## LISTA DE FÓRMULAS

|   |    |
|---|----|
| Fórmula 01 – Grandeza de saída $Y$ dependente de $n$ grandezas por relação funcional $f$ .....  | 20 |
| Fórmula 02 – Média aritmética de determinações independentes .....  | 20 |
| Fórmula 03 – Média aritmética de observações individuais .....  | 21 |
| Fórmula 04 – Variância experimental das observações .....   | 21 |
| Fórmula 05 – Desvio padrão da média .....   | 21 |
| Fórmula 06 – Incerteza de medição tipo B de uma distribuição retangular .....   | 23 |
| Fórmula 07 – Incerteza de medição tipo B de uma distribuição triangular .....   | 24 |
| Fórmula 08 – Incerteza padrão combinada .....   | 24 |
| Fórmula 09 – Incerteza expandida .....  | 24 |
| Fórmula 10 – Cálculo dos graus de liberdade efetivos, Welch-Satterthwaite .....   | 25 |
| Fórmula 11 – Incerteza de calibração do padrão .....  | 31 |
| Fórmula 12 – Incerteza de calibração da deriva do padrão .....  | 31 |
| Fórmula 13 – Incerteza de calibração da expansão térmica do padrão .....  | 32 |
| Fórmula 14 – Incerteza de calibração da compressão elástica relacionada à força de medição aplicada .....                                   | 33 |
| Fórmula 15 – Incerteza de calibração relacionada ao erro de cosseno de uma distribuição retangular .....                                    | 33 |
| Fórmula 16 – Incerteza de calibração relacionada ao erro de cosseno de uma distribuição triangular .....                                    | 33 |
| Fórmula 17 – Incerteza de calibração relacionada aos erros geométricos .....  | 34 |
| Fórmula 18 – Incerteza de calibração relacionada aos efeitos da resolução do instrumento em calibração de uma distribuição retangular ..... | 34 |
| Fórmula 19 – Incerteza de calibração relacionada aos efeitos da resolução do instrumento em calibração de uma distribuição triangular ..... | 34 |
| Fórmula 20 – Incerteza de calibração relacionada às condições ambientais do laboratório.....  | 35 |
| Fórmula 21 – Média aritmética das medições .....  | 36 |
| Fórmula 22 – Tendência .....  | 36 |
| Fórmula 23 – Incerteza tipo A das médias das medições .....   | 36 |
| Fórmula 24 – Determinação da incerteza padrão combinada .....   | 36 |
| Fórmula 25 – Combinação de incertezas .....   | 37 |
| Fórmula 26 – Cálculo dos graus de liberdade efetivos, Welch-Satterthwaite .....   | 37 |
| Fórmula 27 – Incerteza expandida .....  | 37 |

## SUMÁRIO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO .....</b>   | <b>11</b> |
| <b>2 LABORATÓRIO INTERNO .....</b>  | <b>12</b> |
| 2.1 ISO 9001 e introdução ao laboratório .....  | 12        |
| 2.2 ISO/ IEC 17025 e requisitos para implantação de laboratório .....                                 | 12        |
| 2.3 A IATF 16949 e requisitos mínimos para laboratório interno .....                                  | 14        |
| 2.4 ISO 10012 e o modelo de sistema de gestão de medição .....  | 14        |
| 2.5 Definições do VIM sobre o sistema de medição .....  | 15        |
| 2.6 Paquímetros .....   | 15        |
| 2.7 Processo de calibração de acordo com a norma NBR NM 216 .....                                     | 16        |
| 2.8 Processo de calibração de acordo com a DOQ-CGCRE-004 .....  | 17        |
| 2.9 O registro dos resultados de calibração segundo a NBR 10012:2004 .....                            | 18        |
| 2.10 Processo de medição de acordo com a NBR 10012:2004 .....   | 19        |
| 2.11 Incertezas de medição .....  | 20        |
| 2.12 Avaliação das incertezas de medição .....  | 21        |
| 2.13 Incertezas de medição tipo A .....   | 22        |
| 2.14 Incertezas de medição tipo B .....   | 23        |
| 2.15 Incertezas de medição tipo B distribuição retangular e distribuição triangular .....             | 23        |
| 2.16 Incertezas padrão combinadas .....   | 25        |
| 2.17 Incerteza expandida .....  | 25        |
| 2.18 Expressão gráfica das incertezas de medição .....  | 26        |
| 2.19 Componentes de incerteza de medição na área dimensional .....                                    | 27        |
| <b>3 LEVANTAMENTO DAS QUANTIDADES DE INSTRUMENTOS À CALIBRAR ....</b>                                 | <b>28</b> |
| 3.1 Orçamento para calibração dos instrumentos em um laboratório terceirizados .....                  | 28        |
| 3.2 Orçamento para compra e calibração dos padrões para calibração .....                              | 28        |
| <b>4 INCERTEZA DE MEDIÇÃO PARA PAQUÍMETROS .....</b>  | <b>30</b> |
| 4.1 Fontes de incerteza na calibração de paquímetros .....  | 30        |
| 4.2 Planilha de cálculo para incerteza de calibração dos paquímetros .....                            | 30        |
| 4.3 Cálculos das incertezas tipo B .....  | 31        |
| 4.3.1 Incerteza de calibração do padrão .....   | 31        |
| 4.3.2 Incerteza de calibração da deriva do padrão .....   | 32        |
| 4.3.3 Incerteza de calibração da expansão térmica do padrão .....                                     | 33        |
| 4.3.4 Incerteza de calibração da compressão elástica relacionada à força de medição aplicada .....    | 33        |
| 4.3.5 Incerteza da calibração relacionada ao erro de cosseno .....                                    | 34        |
| 4.3.6 Incerteza de calibração relacionada aos erros geométricos .....                                 | 34        |
| 4.3.7 Incerteza de calibração relacionada aos efeitos da resolução do instrumento em calibração ..... | 35        |
| 4.3.8 Incerteza de calibração relacionada às condições ambientais do laboratório .....                | 36        |
| 4.4 Incerteza de calibração tipo A .....  | 36        |
| 4.4.1 Incerteza de calibração relacionada à média das leituras realizadas .....                       | 36        |
| 4.5 Incerteza padrão combinada $U_c$ .....  | 37        |
| 4.6 Cálculo do fator de abrangência $k$ .....   | 38        |
| 4.7 Cálculo da incerteza expandida de medição .....   | 38        |
| <b>5 PLANILHA DE CÁLCULOS PARA A EXECUÇÃO DAS CALIBRAÇÕES .....</b>                                   | <b>39</b> |
| 5.1 Identificação .....   | 39        |
| 5.2 Resultados das medições .....   | 39        |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>5.3 Memorial de cálculo da incerteza tipo B .....</b>           | <b>40</b> |
| <b>6 MÉTODO DE CALIBRAÇÃO DOS PAQUÍMETROS .....</b>                | <b>42</b> |
| <b>6.1 Condições ambientais para calibração .....</b>              | <b>42</b> |
| <b>6.2 Limpeza e ajuste dos instrumentos/ padrões .....</b>        | <b>42</b> |
| <b>6.3 Calibração .....</b>  | <b>42</b> |
| 6.3.1 Calibração da medição externa .....                          | 42        |
| 6.3.2 Calibração da medição interna .....                          | 43        |
| 6.3.3 Calibração da haste de profundidade .....                    | 43        |
| 6.3.4 Calibração da medição ressalto .....                         | 44        |
| 6.3.5 Calibração do paralelismo das faces de medição externa ..... | 44        |
| 6.3.6 Calibração do paralelismo das faces de medição interna ..... | 45        |
| <b>6.4 Finalização da calibração .....</b>                         | <b>45</b> |
| <b>7 GERENCIAMENTO DE INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO .....</b>            | <b>46</b> |
| <b>7.1 Controle dos instrumentos .....</b>                         | <b>46</b> |
| <b>8 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>                              | <b>48</b> |
| <b>9 CONCLUSÕES .....</b>  | <b>49</b> |
| <b>REFERÊNCIAS .....</b>   | <b>50</b> |
| <b>APENDICE A .....</b>  | <b>51</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

Este trabalho descreve a implantação de um laboratório interno de calibração com a intenção de atender aos requisitos de qualidade descritos na norma ABNT NBR ISO 9001:2015, no item 7.1.5, que trata do controle de equipamentos e monitoramento e medição.

A norma ABNT NBR ISO 9001:2015 adota meios para que os instrumentos de medição sejam calibrados, um destes meios é a calibração realizada internamente pela organização. Para a realização deste serviço normas de referência como a ISO/IEC 17025:2017, a ISO 10012:2004 e a INTROGUM 2008 são utilizadas para a adequação dos cálculos e padronização dos procedimentos. Como requisitos, a organização deve adotar procedimentos internos que garantam a integridade dos resultados, a rastreabilidade destes procedimentos e padrões de referência contra padrões internacionais ou similares, pessoal treinado e instalações adequadas ao tipo de serviço executado.

É importante também apresentar os resultados de um sistema de calibração e gerenciamento de instrumentos, contemplando procedimentos, cálculos de incerteza, procedimento de operação e execução da atividade, além da adequação de laboratório para calibração para atender aos requisitos normativos nas dependências do Unis MG para os instrumentos de medição selecionados, os paquímetros.

Nos capítulos iniciais é apresentado os dados referenciais e teóricos para a execução da atividade, a partir do capítulo 2 é realizada uma pesquisa sobre o tema com o intuito de fortalecer a necessidade da calibração e indicar os requisitos necessários para a correta execução da atividade de calibração. No capítulo 3 há a apresentação dos instrumentos que serão avaliados para a calibração nos laboratórios do Unis e os custos envolvidos com os equipamentos necessários. Nos capítulos 4 e 5 são desenvolvidos todos os cálculos de incerteza de medição envolvidos para a calibração dos paquímetros, bem como o memorial de cálculo gerado.

Nos capítulos finais é mostrado o desenvolvimento da parte prática da atividade, no capítulo 6 é apresentado o método para a calibração dos paquímetros de acordo com a norma NM 216. O Capítulo 7 é apresentado um modelo prático para o gerenciamento dos instrumentos, que irá controlar a periodicidade das calibrações e a disposição de todos os instrumentos analisados. Os capítulos 8 e 9 são referentes aos resultados da pesquisa e conclusão, onde é apresentado que a calibração interna é benéfica quando se comparada a calibração terceirizada, pela quantidade de instrumentos que se pretende gerenciar, quanto maior esta quantidade menor é o custo ao longo prazo.

## **2 LABORATÓRIO INTERNO**

Para elaboração do conceito de laboratório interno e da gestão e monitoramento de equipamentos de medição, é necessário um breve conhecimento sobre o que a norma ISO 9001, sistemas de gestão da qualidade – Requisitos, e da norma ISO/ IEC 17025 Requisitos Gerais para Competência de Laboratórios de Ensaio e Calibração destacam sobre a necessidade de um laboratório e a sua aplicação, respectivamente, dentro de uma organização.

### **2.1 ISO 9001 e introdução ao laboratório interno**

Um laboratório interno é proposto como alternativa para realização de calibrações e ensaios metrológicos às organizações, a norma ISO 9001:2015 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015, p. 8) descreve no item 7.1.5.2 Rastreabilidade de medição, a necessidade da organização de manter seus equipamentos em conformidade dimensional:

Quando a rastreabilidade de medição for um requisito, ou for considerada pela organização uma parte essencial da provisão de confiança na validade de resultados de medição, os equipamentos de medição devem ser:

- a) verificados ou calibrados, ou ambos, a intervalos especificados, ou antes do uso, contra padrões de medição rastreáveis a padrões de medição internacionais ou nacionais; quando tais padrões não existirem, a base usada para calibração ou verificação deve ser retida como informação documentada;
- b) identificados para determinar sua situação;
- c) salvaguardados contra ajustes, danos ou deterioração que invalidariam a situação de calibração e resultados de medições subsequentes. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015, p. 8).

A partir desta proposta o tema de laboratório interno pode ser desenvolvido, tomando por base esta e outras normas que atuam diretamente no campo de calibração de instrumentos.

### **2.2 ISO/ IEC 17025 e requisitos para implantação de laboratórios**

A ISO/ IEC 17025:2017 define os requisitos para a implantação de um laboratório interno de calibração e ensaios. A organização deve também oferecer estrutura gerencial, conforme especificado em seu item 5 Requisitos de estrutura, dentre os importantes temas abordados por esta norma, destaca-se principalmente o contido no item 5.5:

O laboratório deve:

- a) definir a estrutura organizacional e gerencial do laboratório, o seu lugar na organização principal e as relações entre gerência, as operações técnicas e os serviços de apoio;
- b) especificar a responsabilidade, a autoridade e o inter-relacionamento de todo o pessoal que gerencia, realiza ou verifica trabalhos que afetem os resultados das atividades de laboratório;
- c) documentar seus procedimentos na extensão necessária para assegurar a aplicação consistente de suas atividades de laboratório e a validade dos resultados. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017, p. 5).

A organização deve dispor de recursos para o bom funcionamento e garantia do requisito listado acima e também, como destacado no item 6 Requisitos de recursos, onde “o laboratório deve dispor de pessoal, equipamentos, sistemas e serviços de apoio necessários para gerenciar e realizar suas atividades de laboratório” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017, p. 5). No item 6.2.3 a norma determina que “o laboratório deve assegurar que o pessoal tenha competência para realizar as atividades de laboratório pelas quais é responsável e para avaliar a importância dos desvios” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017, p. 5).

A norma ISO/ IEC 17025:2017 especifica que o procedimento deva conter “formas de comprovar a conformidade com os requisitos especificados antes de serem colocados ou recolocados em serviço” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). Como sugestão este procedimento deve conter “um programa de calibração, sendo que todo equipamento de calibração que necessite de calibração deve ser etiquetado, codificado ou identificado de maneira que permita que o seu usuário identifique a situação de calibração e período de validade” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017, p. 7).

Estes registros dos equipamentos de medição implantados podem conter as seguintes informações:

- a) nome do equipamento;
- b) nome do fabricante, identificação do modelo e número de série ou outra identificação unívoca;
- c) evidência de verificação de que o equipamento esta conforme com os requisitos especificados;
- d) localização atual;
- e) datas das calibrações, resultados das calibrações, ajustes, critérios de aceitação e data prevista da próxima calibração ou intervalo de calibração;
- f) documentação de materiais de referência, resultados, critérios de aceitação, datas pertinentes e período de validade;
- g) plano de manutenção e manutenções realizadas até o momento, quando pertinente para o desempenho do equipamento;
- h) detalhes de qualquer dano, mau funcionamento, modificação ou reparo do equipamento. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017, p. 7).

A rastreabilidade das informações deve ser mantida para os resultados, o laboratório deve ser capaz de registrar estas informações de calibração que contribuirão posteriormente para a incerteza de medição (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017).

Para tanto, o laboratório deve ser capaz de mostrar a rastreabilidade de seus resultados em relação ao Sistema Internacional (SI), sendo esta rastreabilidade adquirida por meio da calibração em um laboratório competente que também tenha sua rastreabilidade metrológica comprovada e rastreada ao SI (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017).

### **2.3 A IATF 16949 e requisitos mínimos para laboratório interno**

Pode-se retirar ainda da norma IATF 16949:2016, um resumo técnico para a implantação do laboratório interno de calibração e ensaios. Em seu item 7.1.5.3 Requisitos de laboratório, no subitem 7.1.5.3.1 Laboratório interno, tem-se como parâmetro que as acomodações que servirão de laboratório interno devam ter a capacidade de realizar estes serviços, que este além de prestar os serviços de calibração, esteja também submetido às normas de gestão da qualidade (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2016).

O laboratório deve especificar e implementar no mínimo, os requisitos para:

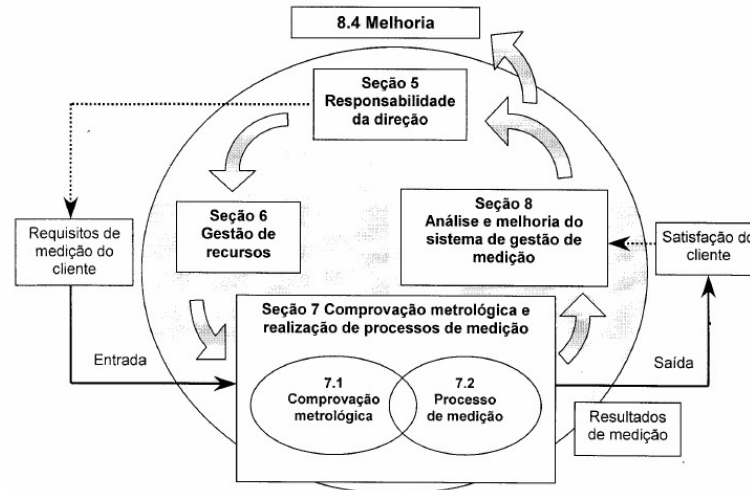
- a) a adequação dos procedimentos técnicos de laboratório;
- b) a competência do pessoal do laboratório;
- c) o teste do produto;
- d) a capacidade para realizar estes serviços corretamente, rastreáveis as normas relevantes do processo (tais como ASTM, EM, etc.), quando não houver normas nacionais ou internacionais disponíveis, a organização deve definir e implementar uma metodologia para verificar a capacidade do sistema de medição;
- e) os requisitos do cliente, se houver;
- f) a análise crítica dos registros relacionados. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2016, p. 14).

### **2.4 ISO 10012 e o modelo de sistema de gestão de medição**

A norma ISO 10012:2004, recomenda que “os processos de medição sejam considerados como processos específicos que objetivem dar suporte à qualidade dos produtos produzidos pela organização” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004, p. vi).

O modelo de sistema de gestão de medição aplicável, utilizado nesta Norma é apresentado na figura 01 a seguir.

Figura 01 - Modelo de sistema de gestão de medição.



Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004, p. vi).

## 2.5 Definições do VIM sobre o sistema de medição

Para o entendimento deste processo de medição, devemos primeiro definir um sistema de medição, o Instituto Nacional de Metrologia e Tecnologia (2012, pg 34), define que “um sistema de medição é um conjunto dum ou mais instrumentos de medição [...] montado e adaptado para fornecer informações destinadas à obtenção dos valores medidos, dentro de intervalos específicos para grandezas de naturezas especificadas”.

Este traz também a definição de instrumento de medição como sendo “um dispositivo utilizado para realizar medições, individualmente ou associado a um ou mais dispositivos suplementares” (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA E TECNOLOGIA, 2012, p. 34).

## 2.6 Paquímetros

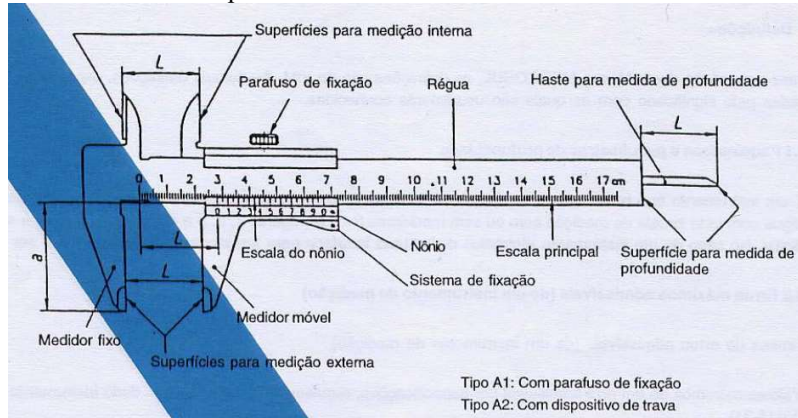
A aplicação do conceito de laboratório interno e seus requisitos deve-se ao fato da validação e calibração de um instrumento de medição, o equipamento determinado para a aplicação desta calibração foi o paquímetro, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2000), define este instrumento de medição como “um instrumento que mede sob o movimento de um cursor com medidor [...] em relação à uma régua com uma escala de medição com ou



sem medidores fixo”. A leitura desta medição pode ser de forma analógica ou digital (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2000, p.4).

A figura 02 à seguir é uma representação esquemática de um paquímetro analógico.

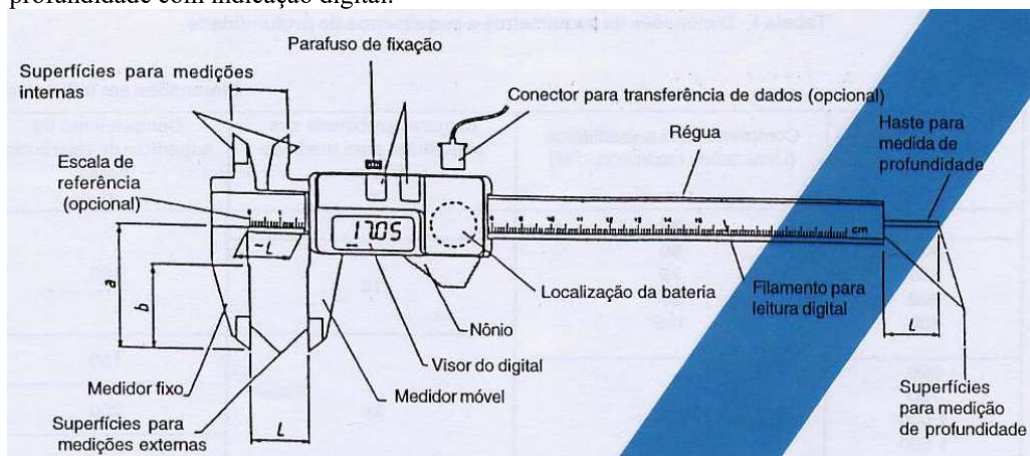
Figura 02 - Representação esquemática de paquímetro para medição externa interna e de profundidade.



Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, p. 4).

A figura 03 é uma representação esquemática de um paquímetro com indicação digital, neste caso por ser um instrumento eletrônico digital, uma interface para a apresentação dos dados pode ser adaptada para a realização da leitura (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2000).

Figura 03 - Representação esquemática de paquímetro para medição externa, interna e de profundidade com indicação digital.



Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2000, p. 5).

## 2.7 Processo de calibração de acordo com a norma NBR NM 216

De acordo com a NBR NM 216, a calibração do paquímetro deve ser capaz de garantir e validar a medição por toda sua faixa de medição (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2000).

A NBR NM 216 estabelece que esta calibração pode ser avaliada pelo “erro de indicação, que é o erro indicado na medição de blocos-padrão e com anel-padrão [...] com temperatura de referência padrão de 20°C” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2000, p.9). A aprovação do instrumento fica sujeita à exigência do erro de indicação, presentes na figura 04 a seguir, o erro de indicação não deve ser maior que o máximo admissível apresentado na NBR NM 216 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2000).

Figura 04 - Erro máximo admissível de indicação.

| Valor indicado           | Erro máximo permissível de indicação em $\mu\text{m}$ |           |                             |           |             |          |   |
|--------------------------|---|-----------|-----------------------------|-----------|-------------|----------|---|
|                          | Escala circular ou nônio                              |           |                             |           |             |          | Indicação digital                         |
|                          | Valor de uma divisão                                  |           |                             |           |             |          | Resolução                                 |
|                          | Paquímetros   |           | Paquímetros de profundidade |           | Paquímetros |          | Paquímetros e paquímetros de profundidade |
| mm                       | 0,1 mm  | 0,05 mm   | 0,1 mm                      | 0,05 mm   | 0,02 mm     | 0,02 mm  | 0,01 mm                                   |
| até 100                  | $\pm 50$  | $\pm 50$  | $\pm 50$                    | $\pm 50$  | $\pm 20$    | $\pm 20$ | $\pm 20$                                  |
| Acima de 100 até 400     | $\pm 50$  | $\pm 75$  | $\pm 50$                    | $\pm 75$  | $\pm 30$    | $\pm 30$ | $\pm 30$                                  |
| Acima de 400 até 600     | $\pm 100$   | $\pm 100$ | $\pm 100$                   | $\pm 100$ | $\pm 30$    | $\pm 30$ | $\pm 30$                                  |
| Acima de 600 até 800     | $\pm 100$   | $\pm 125$ | $\pm 150$                   | $\pm 125$ | $\pm 40$    | $\pm 40$ | $\pm 40$                                  |
| Acima de 800 até 1 000   | $\pm 150$   | $\pm 150$ | $\pm 150$                   | $\pm 125$ | $\pm 40$    | $\pm 40$ | $\pm 40$                                  |
| Acima de 1 000 até 1 400 | $\pm 150$   | $\pm 175$ |                             |           | $\pm 50$    |          |   |
| Acima de 1 400 até 1 600 | $\pm 200$   | $\pm 175$ |                             |           | $\pm 50$    |          |   |
| Acima de 1 600 até 2 000 | $\pm 200$   | $\pm 200$ |                             |           | $\pm 60$    |          |   |

Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2000, p. 10).

## 2.8 Processo de calibração de acordo com a DOQ-CGCRE-004

O INMETRO disponibiliza o documento DOQ-CGCRE-004 com a finalidade de estabelecer diretrizes e orientações para a realização de calibrações no grupo de serviços de calibração em metrologia dimensional (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA E TECNOLOGIA, 2010). Contendo orientações e referências sobre a aplicação da calibração e sobretudo orientações sobre os requisitos básicos que devem ser considerados para a elaboração e aplicação destes serviços (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA E TECNOLOGIA 2010).

A figura 05 a seguir contém as recomendações deste documento para os pontos a serem considerados durante a calibração deste instrumento.

Figura 05 - Parâmetros e pontos a serem calibrados. Instrumentos de medição de comprimento.

| Instrumentos   | Parâmetros ou características a serem calibrados  | Pontos de Medição  |
|--|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Paquímetro</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Erros de indicação</li> <li>Medição interna</li> <li>Medição de profundidade</li> <li>Medição de Ressalto</li> <li>Paralelismo das faces de medição para externos</li> <li>Paralelismo das faces de medição para internos</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>06 pontos incluindo os extremos, sendo no mínimo 1 ponto no nônio, quando aplicável</li> <li>1 ponto</li> <li>1 ponto</li> <li>1 ponto</li> <li>Valor máximo</li> <li>Valor máximo</li> </ul> |

Fonte: (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA E TECNOLOGIA, 2010, p. 4).

## 2.9 O registro dos resultados de calibração segundo a NBR 10012:2004

A orientação segundo a NBR 10012:2004 é de que os resultados de calibração sejam registrados de forma que a rastreabilidade de todas as medições possa ser demonstrada e de forma que os resultados das calibrações possam ser reproduzidas sobre condições próximas das condições originais (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004).

A NBR 10012:2004 em seu item 7 Comprovação metrológica e realização do processo de medição, compreende neste tópico a calibração e a verificação do equipamento de medição.

Este item consiste na garantia de que a informação pertinente à calibração é presente tanto nos procedimentos e relatórios de comprovação metrológica, bem como a situação de uso destes instrumentos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004).

Como generalidades ela cita que toda e qualquer informação pertinente a situação do equipamento de medição deva estar disponível ao operador deste instrumento (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004).

No item 7.1.3 Controle de ajustes de equipamento, o laboratório deve incluir formas de controle que impeçam a violação ou ajuste dos instrumentos de medição após realizada a calibração, estes devem ser por meio de lacres ou selos, bom como os procedimentos devem amparar caso estes sejam violados (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004).

O item 7.1.4 Registros do processo de comprovação metrológica determina o conteúdo dos registros a serem apresentados, como o processo de comprovação metrológica deve ser datado e aprovado por uma pessoa autorizada para atestar a correção dos resultados (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004). Estes registros devem incluir, quando necessário as seguintes informações:

- a) descrição e identificação única do fabricante do equipamento, tipo, número de série, etc.;
- b) data na qual a comprovação metrológica foi completada;
- c) resultado da comprovação metrológica;
- d) intervalo fixado para comprovação metrológica;
- e) identificação do procedimento de comprovação metrológica;
- f) erro(s) máximo(s) permissível(eis) definido(s);
- g) condições ambientais pertinentes e declaração sobre quaisquer correções necessárias;
- h) incertezas envolvidas na calibração do equipamento;
- i) detalhes de qualquer manutenção, tais como ajustes, reparos ou modificações realizadas;
- j) quaisquer limitações de uso;
- k) identificação da(s) pessoa(s) que realiza(m) a comprovação metrológica;
- l) identificação da(s) pessoa(s) responsável(eis) pela correção da informação registrada;
- m) identificação única (como números de série) de qualquer relatório ou certificado de calibração e outros documentos pertinentes;
- n) evidência da rastreabilidade dos resultados da calibração;
- o) requisitos metrológicos para o uso pretendido;
- p) resultados da calibração obtidos após, e onde requerido, antes de qualquer ajuste, modificação ou reparo. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004, p. 9).

## **2.10 Processo de medição de acordo com a NBR 10012:2004**

O processo de medição que são partes do sistema de gestão de medição devem ser planejados, validados, implementados, documentados e controlados (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004, p. 10). A realização do processo de medição deve ser realizado sob as condições controladas, projetadas para atender aos requisitos metrológicos, destas condições devem incluir:

- a) o uso do equipamento comprovado;
- b) aplicação de procedimento de medição validados;
- c) a disponibilidade das fontes de informações requeridas;
- d) manutenção das condições ambientais requeridas;
- e) uso de pessoal competente;
- f) o relato adequado dos resultados;
- g) a implementação de monitoramento como especificado. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004, p 10).

Como requisito, o laboratório deve ser capaz de demonstrar sua conformidade através do processo de medição, além dos requisitos já citados a NBR 10012:2004 também inclui que os requisitos de incerteza de medição devam apresentar conformidade para a validação do processo de medição (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004).

Estes requisitos incluem os citados a seguir:

- a) uma descrição completa dos processos de medição implementados, incluindo todos os elementos (operadores, qualquer equipamento de medição ou padrões de verificação) usados e as condições de operação pertinentes;
- b) os dados pertinentes obtidos dos controles do processo de medição, incluindo qualquer informação pertinente à incerteza de medição;
- c) quaisquer ações tomadas como um resultado de dados do controle do processo de medição;
- d) a(s) data(s) na(s) qual(is) foi conduzida cada atividade de controle do processo de medição;
- e) a identificação de quaisquer documentos de verificação pertinente;
- f) a identificação da pessoa responsável por prover a informação para os registros;
- g) as habilidades (requerida e alcançadas) do pessoal. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004, p. 12).

Esta incerteza de medição deve ser estimada em todo o processo de medição e validado pelo sistema de gestão de medição, cada incerteza estimada deve ser “registrada e analisada previamente, antes de ser completada a comprovação metrológica do equipamento de medição” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004, p. 12).

A orientação da NBR 10012:2004 é que, “os conceitos envolvidos e os métodos que podem ser usados na combinação dos componentes de incerteza e a apresentação dos resultados são apresentados no ‘Guia para a expressão de incerteza em medição’ (GUM). Outros métodos documentados e aceitos podem ser usados” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004, p. 12).

## 2.11 Incertezas de medição

O VIM 2012 (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA E TECNOLOGIA, 2012, p. 24) descreve que incerteza é um “parâmetro não negativo que caracteriza a dispersão dos valores atribuídos a um mensurando, com base nas informações utilizadas”. O INTROGUM 2008, também trata do assunto de incerteza de medição, sendo este definido como:

A incerteza do resultado de uma medição reflete a falta de conhecimento exato do valor do mensurando. O resultado de uma medição, após correção dos efeitos sistemáticos reconhecidos, é ainda e tão somente uma estimativa do valor do mensurando oriunda da incerteza proveniente dos efeitos aleatórios e da correção imperfeita do resultado para efeitos sistemáticos. (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA E TECNOLOGIA, 2014, p 5).

Na prática, muitas são as fontes de incerteza que podem ser associadas à medição, dentre elas o INTROGUM 2008 cita as seguintes:

- a) definição incompleta do mensurando;
- b) realização imperfeita da definição do mensurando;

- c) amostragem não representativa – a amostra medida pode não representar o mensurando definido;
- d) conhecimento inadequado dos efeitos das condições ambientais sobre a medição ou medição imperfeita das condições ambientais;
- e) erro de tendência pessoal na leitura de instrumentos analógicos;
- f) resolução finita do instrumento ou limiar de mobilidade;
- g) valores inexatos dos padrões de medição e materiais de referência;
- h) valores inexatos de constantes e de outros parâmetros obtidos de fontes e usados no algoritmo de redução de dados;
- i) aproximações e suposições incorporadas ao método e procedimento de medição;
- j) variações nas observações repetidas do mensurando sob condições aparentemente idênticas. (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA E TECNOLOGIA, 2014, p. 6).

## 2.12 Avaliação das incertezas de medição

A avaliação das entradas dos cálculos de incerteza é feita a partir do instrumento de medição, ou determinado muitas vezes a partir da própria medição realizada. Na maioria dos casos, o mensurando  $Y$  não é medido diretamente, mas é determinado, a partir de  $N$  outras grandezas  $X_1, X_2, \dots, X_n$ , por uma relação funcional  $f$  (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA E TECNOLOGIA, 2014, pg 9):

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_N) \quad (1)$$

De acordo com o INTROGUM 2008 temos que a equação 1 é determinada como:

As grandezas de entrada  $X_1, X_2, \dots, X_N$ , das quais a grandeza de saída  $Y$  depende, podem elas mesmas ser consideradas como mensurandos e depender de outras grandezas, incluindo correções e fatores de correção para efeitos sistemáticos, levando, por conseguinte, a uma complicada relação funcional  $f$ , que talvez nunca possa ser escrita de modo explícito. Além disso,  $f$  pode ser determinada experimentalmente ou existir somente como um algoritmo que terá de ser resolvido numericamente. A função  $f$ , deve ser interpretada neste conceito mais amplo, em particular como sendo a função que contém todas as grandezas, incluindo todas as correções e fatores de correção que possam contribuir com um componente de incerteza significativo para o resultado de medição. (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA E TECNOLOGIA, 2014, p. 9).

Em alguns casos, esta estimativa  $y$  pode ser obtida de:

$$y = \bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_{K=1}^n Y_k = \frac{1}{n} \sum_{K=1}^n f(X_{1k}, X_{2k}, \dots, X_{Nk}) \quad (2)$$

De acordo com o INTROGUM 2008, esta estimativa é uma média aritmética de  $n$  valores independentes  $Y_k$  de  $Y$ , tendo cada determinação a mesma incerteza e cada uma sendo baseada em um conjunto completo de valores observados das  $N$  grandezas de entrada  $X_i$  obtidos ao mesmo tempo (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA E TECNOLOGIA, 2014).

Esta é uma forma de se obter a média, em vez de  $Y = f(X_1, X_2, \dots, X_N)$ , resumidamente por (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA E TECNOLOGIA, 2014):

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n X_{i,k} \quad (3)$$

### 2.13 Incertezas de medição tipo A

As incertezas de medição são divididas em dois tipos, tipo A e tipo B, o INTROGUM 2009 define que uma incerteza tipo A “pode ser definida se as observações individuais  $q_k$  diferem em valor por causa de variações aleatórias nas grandezas de influência, ou efeitos aleatórios” (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA E TECNOLOGIA, 2014, p. 10).

A variância experimental das observações, que estima a variância  $\sigma^2$  da distribuição de probabilidade de  $q$ , é dada por:

$$S^2(q_k) = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (q_j - \bar{q})^2 \quad (4)$$

Desta estimativa de valores, temos que esta variância e sua raiz quadrada positiva  $S(q_k)$ , seja denominada desvio-padrão experimental, caracterizam a variabilidade dos valores  $q_k$  observados ou, mais especificamente, sua dispersão em torno de sua média  $\bar{q}$  (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA E TECNOLOGIA, 2014).

A melhor estimativa de  $\sigma^2(\bar{q}) = \sigma^2/n$ , a variância da média, é dada por:

$$S^2(\bar{q}) = \frac{S^2(q_k)}{n} \quad (5)$$

A partir da definição desta variância experimental da média,  $S^2(\bar{q})$ , e o desvio-padrão experimental da média,  $S(\bar{q})$ , que é igual à raiz quadrada positiva de  $S^2(\bar{q})$ , estas demonstram

quão bem  $\bar{q}$  estima a esperança  $\mu q$  de  $q$ , e qualquer um deles pode ser usado como uma medida da incerteza de  $\bar{q}$  (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA E TECNOLOGIA, 2014).

Portanto, para uma grandeza de entrada  $X_i$  que foi estimada a partir de  $n$  medições de  $X_{ik}$ , “a incerteza-padrão  $u(x_i)$  de sua estimativa  $x_i = \bar{X}_i$  é  $u(x_i) = S(\bar{X}_i)$ , com  $S^2(\bar{X}_i)$  calculada de acordo com a equação (5). Por conveniência,  $u^2(x_i) = S^2(\bar{X}_i)$ , e  $u(x_i) = S(\bar{X}_i)$ ”. (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA E TECNOLOGIA, 2014, p. 10).

A determinação desta estimativa a partir destes cálculos é definida pelo INTROGUM 2008 como “uma variância do Tipo A e uma incerteza-padrão do Tipo A” (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA E TECNOLOGIA, 2014).

## 2.14 Incertezas de medição tipo B

As estimativas de grandezas que não podem ser determinadas por medições ou repetidas observações, são definidas como incertezas de medição tipo B quando  $u^2(x_i) = u^2(X_i)$ , são determinados desta maneira (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA E TECNOLOGIA, 2014).

Estas estimativas são obtidas através de julgamento científico e baseado em informações disponíveis oriundas da especificação de cada processo (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA E TECNOLOGIA, 2014).

Estas informações podem incluir:

- a) dados de medições prévias;
- b) experiência com ou conhecimento geral do comportamento e das propriedades de materiais e instrumentos relevantes;
- c) especificações do fabricante;
- d) dados fornecidos em certificados de calibração e outros certificados;
- e) incertezas atribuídas a dados de referência extraídos de manuais. (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA E TECNOLOGIA, 2014, p. 11).

## 2.15 Incertezas de medição tipo B distribuição retangular e distribuição triangular

O INTROGUM 2008 ainda define as formas de distribuição dos valores, deste modo aplicando os conceitos do manual e levando em consideração apenas o instrumento - paquímetro que é alvo do estudo, tem-se definido os valores de incerteza tipo B com distribuição retangular e distribuição triangular (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA E TECNOLOGIA, 2014).



De acordo com o INTROGUM 2008 para cálculos de incerteza tipo B tem-se uma distribuição retangular quando é possível apenas a determinação de seus valores extremos  $X_i$  (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA E TECNOLOGIA, 2014)

Em particular, afirmar que “a probabilidade de que o valor  $X_i$  esteja dentro do intervalo  $a^-$  até  $a^+$ , para todos os fins práticos, é igual a um, e a probabilidade de que  $X_i$  esteja fora deste intervalo é, essencialmente, zero” (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA E TECNOLOGIA, 2014, p. 13).

Portanto se os valores possíveis de  $X_i$  dentro deste intervalo contemplado, pode-se apenas supor que “é igualmente provável que  $X_i$  esteja em qualquer lugar dentro dele[...]. Então,  $x_i$ , a esperança ou valor esperado de  $X_i$ , é o ponto médio no intervalo,  $x_i = (a^- + a^+)/2$ , com variância associada” (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA E TECNOLOGIA, 2014, p.13).

Se esta diferença entre os limites,  $a^+ - a^-$ , é designada por  $2a$ , então a Equação será:

$$U^2(x_i) = \frac{a^2}{3} \quad (6)$$

Para a distribuição retangular, não há o conhecimento sobre os possíveis valores de  $X_i$  nos limites estimados  $a^-$  e  $a^+$ , podendo apenas supor que seria igualmente provável para  $X_i$ , tomar qualquer valor entre esses limites, com probabilidade zero de estar fora deles (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA E TECNOLOGIA, 2014).

Para uma incerteza tipo B com distribuição triangular, o INTROGUM 2008 faz a seguinte correlação com a incerteza tipo B com distribuição retangular, já que passa-se a ser possível a determinação de valores entre este intervalo  $a^+ - a^-$ :

[...]então razoável substituir a distribuição retangular simétrica por uma distribuição trapezoidal simétrica tendo lados inclinados iguais, uma base de largura  $a^+ - a^- = 2a$  e um topo de largura  $2a\beta$ , onde  $0 \leq \beta \leq 1$ . Na medida em que  $\beta \rightarrow 1$ , esta distribuição trapezoidal se aproxima da distribuição retangular, enquanto que, para  $\beta = 0$ , torna-se uma distribuição triangular (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA E TECNOLOGIA, 2014, p. 13).

Supondo tal distribuição trapezoidal para  $X_i$ , encontra-se que a esperança de  $X_i$  é  $x_i = (a^- + a^+)/2$  e sua variância associada será:

$$U^2(x_i) = \frac{a^2}{6} \quad (7)$$

## 2.16 Incertezas padrão combinadas

O processo de estimativa das incertezas trata de cada grandeza de entrada isolada, sendo que destas, duas ou mais grandezas de entrada serão relacionadas, interdependentes ou correlacionadas (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA E TECNOLOGIA, 2014).

A incerteza padrão combinada  $u_c(y)$  é a raiz quadrada positiva da variância combinada  $u_c^2(y)$ , que é dada por:

$$U_c^2(y) = \sum_{i=1}^N \left( \frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 U^2(x_i) \quad (8)$$

Onde  $f$  é a função citada na Equação (1). Cada  $u(x_i)$  é uma incerteza-padrão previamente determinada, seja ela tipo A ou tipo B. A incerteza-padrão combinada  $u_c(y)$  será então um desvio-padrão estimado que irá caracterizar a dispersão dos valores que poderiam ser atribuídos ao mensurando  $Y$  (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA E TECNOLOGIA, 2014).

## 2.17 Incerteza expandida

Quando todas estas incertezas forem determinadas e combinadas, tem-se então uma incerteza expandida que irá satisfazer a abrangência dos valores possíveis para o mensurando (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA E TECNOLOGIA, 2014).

Esta incerteza é obtida a partir do valor do desvio-padrão da equação (8),  $u_c(y)$ , multiplicado por um fator de abrangência  $k$  (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA E TECNOLOGIA, 2014).

$$U = k U_c(y) \quad (9)$$

Este fator de abrangência  $k$  é definido com base no nível de confiança que se deseja obter os resultados de incerteza, o INTROGUM 2009 estipula um valor entre 2 e 3 (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA E TECNOLOGIA, 2014).

Este fator de abrangência  $k$  pode-se também ter seu valor estimado para abranger uma faixa específica, condizente com o instrumento de medição (REDE METROLÓGICA RS, 2013).

Para esta estimativa leva-se em conta o valor de incerteza padrão de  $u(y)$ , obtido da média ponderada dos resultados da série de medições realizadas de  $y$  (REDE METROLÓGICA RS, 2013).

O INTROGUM 2008 estabelece ainda que, “a distribuição dessa variável pode ser aproximada por uma distribuição-t com um número efetivo de graus de liberdade  $v_{eff}$  obtido da chamada fórmula de Welch-Satterthwaite com nível de confiança de 95%” (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA E TECNOLOGIA, 2014, p. 73):

$$v_{eff} = \frac{U_c^4(y)}{\sum_{i=1}^N \frac{U_i^4(y)}{v_i}} \quad (10)$$

Deste modo, obtendo-se o valor de  $v_{eff}$  e aplicando à incerteza-padrão combinada o valor correspondente encontrado no quadro 01 a seguir (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA E TECNOLOGIA, 2014).

Quadro 01 - Valor de  $k$  da distribuição-t para  $v$  graus de liberdade.

|                               |           |           |           |           |           |           |           |            |           |
|-------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|-----------|
| <b><i>V<sub>eff</sub></i></b> | <b>1</b>  | <b>2</b>  | <b>3</b>  | <b>4</b>  | <b>5</b>  | <b>6</b>  | <b>7</b>  | <b>8</b>   | <b>9</b>  |
| <b><i>K</i></b>               | 13,970    | 4,527     | 3,307     | 2,869     | 2,649     | 2,517     | 2,429     | 2,366      | 2,320     |
| <b><i>V<sub>eff</sub></i></b> | <b>10</b> | <b>11</b> | <b>12</b> | <b>13</b> | <b>14</b> | <b>15</b> | <b>16</b> | <b>17</b>  | <b>18</b> |
| <b><i>K</i></b>               | 2,284     | 2,255     | 2,231     | 2,212     | 2,195     | 2,181     | 2,169     | 2,158      | 2,149     |
| <b><i>V<sub>eff</sub></i></b> | <b>19</b> | <b>20</b> | <b>25</b> | <b>30</b> | <b>35</b> | <b>40</b> | <b>45</b> | <b>100</b> | $\infty$  |
| <b><i>K</i></b>               | 2,140     | 2,133     | 2,105     | 2,087     | 2,074     | 2,064     | 2,057     | 2,025      | 2,000     |

Fonte: INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA E TECNOLOGIA, 2014, pg 78.

Sendo que  $U_c^4(y) = U_c^2(y)$ , que é a incerteza-padrão combinada entre os tipos A e tipo B, e  $U_i^4(y)$  é a parcela da incerteza avaliada das repetidas observações da entrada  $y$ , que na maior parte dos casos será a incerteza tipo A (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA E TECNOLOGIA, 2014).

## 2.18 Expressão gráfica das incertezas de medição

A incerteza apresentada após todas as estimativas e correções deve constar no procedimento, relatório e documentos pertinentes com seu valor arredondado para até dois algarismos significativos, conforme recomendação da RM 68 (REDE METROLÓGICA RS, 2013).

Ela descreve ainda que, “o valor numérico do resultado da medição deve ser arredondado para o mesmo número de casas decimais do valor da incerteza expandida. Entretanto, se o arredondamento diminui o valor numérico da incerteza de medição em mais de 5%, o arredondamento deve ser feito para cima” (REDE METROLÓGICA RS, 2013, p. 16).

### **2.19 Componentes de incerteza de medição na área dimensional**

As componentes de incerteza associadas à calibração de instrumentos dimensionais, e assim sendo, os paquímetros é:

- a) incerteza herdada da calibração do padrão;
- b) deriva do padrão;
- c) condições ambientais;
- d) compressão elástica, relacionada à força de medição aplicada;
- e) erro de cosseno;
- f) erros geométricos (planeza e paralelismo);
- g) efeitos das resoluções do padrão e do instrumento em calibração;
- h) desvio padrão da média das medições. (REDE METROLÓGICA RS, 2013, p. 20).

### 3 LEVANTAMENTO DAS QUANTIDADES DE INSTRUMENTOS À CALIBRAR

A contagem preliminar dos instrumentos do Centro Universitário do Sul de Minas revelou que há 49 paquímetros dispostos em 3 laboratórios, estes estão especificados na tabela 02 a seguir.

Quadro 02 - Especificações paquímetros Unis.

| Tipo      | Resolução | Capacidade | Localização              | Quantidade |
|-----------|-----------|------------|--------------------------|------------|
| Analógico | 0,05 mm   | 150 mm     | Lab. Ensaio de Materiais | 23         |
| Digital   | 0,01 mm   | 150 mm     | Lab. Ensaio de Materiais | 4          |
| Analógico | 0,05 mm   | 150 mm     | Lab. Maquetes            | 1          |
| Analógico | 0,05 mm   | 150 mm     | Lab. Física              | 17         |
| Digital   | 0,01 mm   | 150 mm     | Lab. Física              | 4          |

Fonte: O autor.

#### 3.1 Orçamento para calibração dos instrumentos em um laboratório terceirizado

Na cidade de varginha é possível a execução desta atividade de calibração por empresas terceirizadas. As empresas Excelmetro e Exata Metrologia prestam o serviço de calibração rastreadas à RBC, sendo que estas tem rastreabilidade dos padrões e métodos de calibração. Os orçamentos preliminares para a calibração dos paquímetros nestas quantidades estão descritos na quadro 03 a seguir.

Quadro 03 – Orçamentos para calibração dos instrumentos

| Laboratório      | Instrumento     | Valor    |
|------------------|-----------------|----------|
| Excelmetro       | Paquímetro      | R\$39,50 |
|                  | Termohigrômetro | R\$80,84 |
| Exata Metrologia | Paquímetro      | R\$29,33 |
|                  | Termohigrômetro | R\$69,60 |

Fonte: O autor.

#### 3.2 Orçamento para compra e calibração dos padrões para calibração

Com as quantidades e especificações dos paquímetros, é possível determinar a faixa de calibração em que nestes deverão ser executados, o quadro 04 a seguir descreve de acordo com a DOQ-CGCRE-004 os pontos determinados para a calibração.

Quadro 04 – Pontos de calibração de acordo com a DOQ-CGCRE-005.

| Pontos de calibração |                                |
|----------------------|--------------------------------|
| Medição Interna      | Medição Externa                |
| 20,5                 | 50                             |
| 50                   | Paralelismo das Faces Internas |
| 100                  | 150                            |
| 120                  | Paralelismo das Faces Externas |
| 150                  | 150                            |

Fonte: Adaptado de INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA E TECNOLOGIA, 2010.

Após a definição dos pontos a serem calibrados, a aquisição dos padrões necessários para a atividade é descrita no quadro 05 a seguir.

Quadro 05 – Padrões necessários para a calibração.

| Equipamento          | Descrição                                     | Custo Compra (R\$) | Custo da Calibração (R\$) |
|----------------------|---|--------------------|---------------------------|
| Bloco Padrão         | Bloco padrão para calibração de 20,2 mm       | R\$153,64          | R\$30,00                  |
| Bloco Padrão         | Bloco padrão para calibração de 20 mm         | R\$153,64          | R\$30,00                  |
| Bloco Padrão         | Bloco padrão para calibração de 50 mm         | R\$235,52          | R\$30,00                  |
| Bloco Padrão         | Bloco padrão para calibração de 100 mm        | R\$519,99          | R\$30,00                  |
| Anel Liso Cilíndrico | Anel Liso Cilíndrico para calibração de 50 mm | R\$426,59          | R\$55,00                  |
| Termohigrometro      | Medidor de temperatura e umidade              | R\$121,49          | R\$30,00                  |
| Total                |   | R\$1.610,87        | R\$205,00                 |

Fonte: O autor.

A cotação dos preços foi realizada com a empresa Somatex Ltda, distribuidora autorizada da Digimess, a cotação da calibração foi realizada com o Laboratório de Metrologia SENAI – Contagem, que é rastreável à rede brasileira de calibração.

## 4 INCERTEZA DE MEDIÇÃO PARA PAQUÍMETROS

Qualquer medição que seja executada está sujeita à uma incerteza de medição. Esta incerteza é caracterizada como o erro associado ao próprio resultado apresentado, uma confiabilidade do resultado demonstrado pela medição.

### 4.1 Fontes de incerteza na calibração de paquímetros

De acordo com a RM 68:2013, citada no capítulo 2, no item 2.19, que trata da incerteza de medição na área dimensional, temos descritas as fontes de incerteza relacionadas à calibração de grandeza dimensional, e assim, dos paquímetros. Com estes dados o quadro 06 a seguir foi construído.

Quadro 06 – Incertezas de calibração.

| Incerteza Aplicada   |            | Tipo   | Retirada de   | Fórmula  |
|--|------------|--------|---|--|
| <u>Incerteza herdada da calibração do padrão</u>                       | <u>Ub1</u> | Tipo B | Certificado de calibração do padrão.                | $U_b = \frac{U/K}{\sqrt{3}}$   |
| <u>Deriva do padrão</u>  | <u>Ub2</u> |        | Incerteza herdada do padrão.                        | $U_b = \frac{U/K}{\sqrt{3}}$   |
| <u>Expansão térmica</u>  | <u>Ub3</u> |        | Dilatação térmica do padrão.                        | $U_b = \frac{L * \alpha * \Delta t}{\sqrt{3}}$                                   |
| <u>Compressão elástica, relacionada à força de medição aplicada</u>    | <u>Ub4</u> |        | Deformação devido a força aplicada no padrão.       | $U_b = \frac{DF * L}{A * E}$   |
| <u>Erro de cosseno</u>   | <u>Ub5</u> |        | Erro de desalinhamento do padrão.                   | $U_b = \frac{Resolução}{\sqrt{3}}$ Ou $U_b = \frac{Resolução}{\sqrt{6}}$         |
| <u>Erros geométricos (planeza e paralelismo)</u>                       | <u>Ub6</u> |        | Paralelismo entre as faces.                         | $U_b = \frac{Variação (limite inf + limite sup)}{\sqrt{3}}$                      |
| <u>Efeitos das resoluções do padrão e do instrumento em calibração</u> | <u>Ub7</u> |        | Resolução do padrão.                                | $U_b = \frac{Resolução}{\sqrt{3}}$ Ou $U_b = \frac{Resolução}{\sqrt{6}}$         |
| <u>Condições ambientais</u>  | <u>Ub8</u> |        | Diferença de temperatura do instrumento e ambiente. | $U_b = \frac{Variação}{\sqrt{3}}$  |
| <u>Desvio padrão da média das medições</u>                             | <u>Ua</u>  | Tipo A | Média das leituras realizadas.                      | $S^2(q) = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^N (q_j - q)^2$ & $U_a = \frac{S^2}{\sqrt{n}}$ |

Fonte: O autor.

### 4.2 Planilha de cálculo para incerteza de calibração dos paquímetros

Para a execução das calibrações deve-se registrar os valores obtidos das repetidas medições dos instrumentos contra os padrões selecionados, este registro deve ser feito associando as incertezas associadas à calibração destes paquímetros.

As planilhas para cálculos das incertezas de calibração podem ser desenvolvidas após a compra dos padrões e sua calibração. Como descrito no capítulo 2, no item 2.11 Incertezas de Medição, este é um parâmetro para correção dos valores apresentados durante a medição.

Este parâmetro leva em consideração a habilidade do operador que vai conduzir a calibração, parâmetros ambientais como temperatura e umidade, as características dos padrões e dos instrumentos em calibração.

### **4.3 Cálculo das incertezas tipo B**

A avaliação da incerteza Tipo B é o método emprega outros meios que não a análise estatística de uma série de observações repetidas no momento da calibração. Neste caso a avaliação da incerteza é baseada em dados conhecidos, como:

- a) Dados históricos do método de medição;
- b) Incertezas herdadas da calibração dos equipamentos e padrões;
- c) Especificações dos equipamentos e padrões;
- d) Dados das medições;
- e) Especificações do fabricante;
- f) Incertezas atribuídas a dados de manuais e dados de referência de publicações;
- g) Condições ambientais.

#### **4.3.1 Incerteza de calibração do padrão**

A incerteza de calibração do padrão leva em conta o desvio que o próprio padrão apresenta em seu certificado de calibração. Após a calibração do padrão, é avaliado o desvio encontrado em relação aos pontos medidos, convencionalmente utiliza-se o maior desvio encontrado durante a calibração para os cálculos de incerteza.

O padrão utilizado para a calibração dos paquímetros possui apenas uma calibração, de acordo com a NBR NM 215 – Blocos Padrão, a calibração é executada apenas na sua largura de utilização e a partir da construção do bloco padrão temos a tolerância de calibração para os blocos padrão, também descrita na própria norma. O quadro 7 a seguir retirada da norma, apresenta os desvios permitidos para a calibração dos padrões.



Quadro 07 – Tolerância para blocos padrão.

| Comprimento Nominal<br>(mm) | Classe de Exatidão K  |  |
|-----------------------------|---|--|
|                             | Erro Máximo<br>Admissível em<br>Qualquer Ponto no<br>Comprimento Nominal<br>$\pm \mu\text{m}$ | Erro Máximo<br>Admissível de<br>Verificação no<br>Comprimento $\pm$<br>$\mu\text{m}$ |
| de 0,5 à 10                 | 0,2   | 0,05   |
| acima de 10 à 25            | 0,3   | 0,05   |
| acima de 25 à 50            | 0,4   | 0,06   |
| acima de 50 à 75            | 0,5   | 0,06   |
| acima de 75 à 100           | 0,5   | 0,07   |

Fonte: Adaptado de ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.

Os desvios apresentados no certificados de calibração devem ser aplicados na seguinte fórmula para a apresentação da incerteza de calibração referente ao padrão:

$$U_{B1} = \frac{U_{95}/K}{\sqrt{3}} \quad (11)$$

$U1$  é referenciado como a parcela da incerteza que será associada a incerteza final.

$U95$  corresponde ao valor de incerteza que o laboratório de calibração adota para a calibração, a incerteza adotada é de  $0,21 + 3,3L/1000 \mu\text{m}$ , L em mm.

$K$  é o fator de abrangência definido pelo valor de graus de liberdade efetivos, é o valor da confiabilidade dos resultados.

$\sqrt{3}$  é definido pela distribuição retangular da medição.

#### 4.3.2 Incerteza de calibração da deriva do padrão

A incerteza de calibração da deriva do padrão está relacionada à estabilidade dos valores do padrão ao longo do tempo das suas calibrações, sendo então os desvios encontrados entre a série de calibrações que o padrão sofreu.

$$U_{B2} = \frac{U_{95}/K}{\sqrt{3}} \quad (12)$$

Para padrões onde não há registros de calibrações passadas, primeira calibração ou não houve desvio dos resultados das calibrações, utiliza-se a mesma fórmula que é a incerteza de calibração do padrão.

#### 4.3.3 Incerteza de calibração da expansão térmica do padrão

O material de fabricação dos padrões também são avaliados, para medição de grandezas dimensionais. Os blocos padrão são fabricados de aço ou cerâmica usualmente, e assim a dilatação térmica linear é aplicada para cada bloco padrão.

A avaliação da expansão térmica do padrão é levada em conta no ato da calibração, onde temperaturas diferentes da temperatura padrão de calibração interferem diretamente na largura final do bloco padrão.

De acordo com a NBR NM-215, a temperatura padrão para calibração é de  $20^{\circ} \pm 2^{\circ}\text{C}$ , e tanto o padrão quanto o instrumento devem ser submetidos à esta temperatura por um período de tempo pré-determinado, para que ambos detenham a mesma temperatura no ato da calibração, afim de minimizar os efeitos desta incerteza.

Para medidas de calibração onde há associação de blocos, deve-se considerar a dilatação térmica da quantidade total de blocos padrão utilizados para a medida final.

Para o cálculo desta incerteza, deve-se saber o material de fabricação do bloco padrão e aplica-lo na seguinte fórmula:

$$U_{B3} = \frac{L * \alpha * \Delta T}{\sqrt{3}} \quad (13)$$

L é o comprimento do bloco padrão em mm.

$\alpha$  é a dilatação térmica do material de construção do bloco padrão, para os blocos padrão do estudo, será adotado  $11,5 \times 10^{-6} \text{ mm}/^{\circ}\text{C}$ .

$\Delta T$  é a variação de temperatura entre o ambiente e o padrão de referência,  $20^{\circ} \pm 2^{\circ} \text{C}$ , e para isto, um dos padrões listados no quadro 05 é o termohigrometro, que realizará a medição das condições ambientais do local onde será realizada a calibração.

#### 4.3.4 Incerteza de calibração da compressão elástica relacionada à força de medição aplicada

Os blocos padrão também estão sujeitos à deformação plástica associada à força aplicada durante a calibração dos paquímetros.

Para o cálculo desta incerteza, deve-se saber o material de fabricação do bloco padrão e aplicar a seguinte fórmula:

$$U_{B4} = \frac{DF * L}{A * E} \quad (14)$$

DF é a deformação devido a medição, utiliza-se 10 N para esta aplicação.

L é a largura do bloco padrão que está sendo analisada a incerteza, em mm.

A é a área transversal do bloco padrão, onde os bicos do paquímetro entram em contato direto durante a medição, em mm<sup>2</sup>.

E é o modulo de elasticidade do material do bloco padrão, em N/mm<sup>2</sup>.

#### 4.3.5 Incerteza de calibração relacionada ao erro de cosseno

A incerteza associada ao erro de cosseno está associada ao desalinhamento do bloco padrão e da superfície de medição dos bicos do paquímetro.

Esta incerteza é definida pela resolução do instrumento em calibração e são aplicadas duas fórmulas distintas para esta determinação:

$$U_{B5} = \frac{\text{Resolução}}{\sqrt{3}} \quad (15)$$

Esta fórmula é aplicada para instrumentos onde a resolução é 0,01, onde o divisor é determinado por uma distribuição retangular.

$$U_{B5} = \frac{\text{Resolução}}{\sqrt{6}} \quad (16)$$

Esta fórmula é aplicada para instrumentos onde a resolução é 0,05, onde o divisor é determinado por uma distribuição triangular.

#### 4.3.6 Incerteza de calibração relacionada aos erros geométricos

Esta incerteza é determinada pelo paralelismo entre as faces, é considerada uma variável com média zero e limites de variação de  $\pm 0,0025$  mm (resultado obtido como a máxima diferença entre as leituras com os blocos padrão em pontos distintos nas hastes de medição).

Para o desenvolvimento utiliza-se o valor máximo de variação  $0,005$  mm, que é o valor máximo permitido de planicidade e paralelismo.

$$U_{B6} = \frac{\text{Variação (limite inf + limite sup)}}{\sqrt{3}} \quad (17)$$

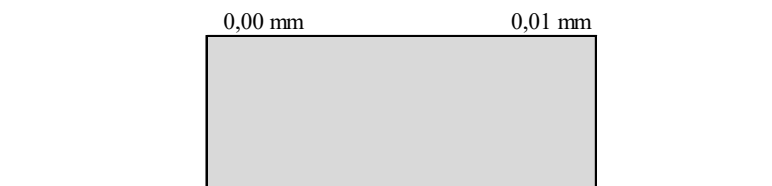
#### 4.3.7 Incerteza de calibração relacionada aos efeitos da resolução do instrumento em calibração

Esta incerteza é determinada pela resolução do paquímetro em calibração, e é determinada para cada instrumento individualmente antes da atividade.

$$U_{B7} = \frac{\text{Resolução}}{\sqrt{3}} \quad (18)$$

Para instrumentos de resolução de  $0,01$ , ou usualmente digitais, a sua distribuição é retangular, onde há apenas a probabilidade de termos dois valores  $0,00$  ou  $0,01$ .

Figura 06 – Representação de distribuição retangular.

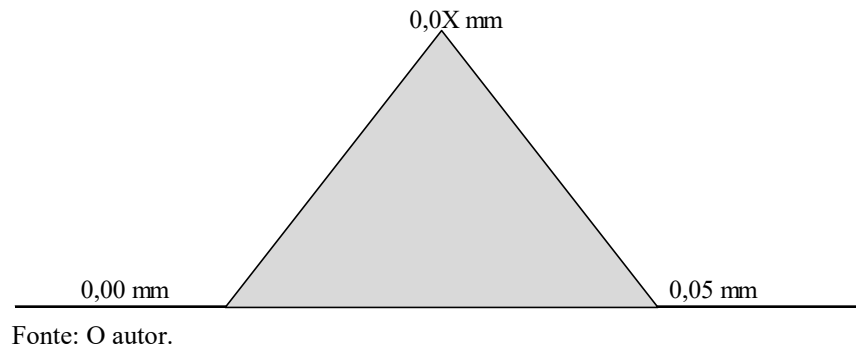


Fonte: O autor.

Para paquímetros com resolução de  $0,05$  ou usualmente analógicos, a sua distribuição é triangular, onde há uma incerteza do valor quando este não é definido claramente no indicador do instrumento.

$$U_{B7} = \frac{\text{Resolução}}{\sqrt{6}} \quad (19)$$

Figura 07 – Representação de distribuição triangular.



#### 4.3.8 Incerteza de calibração relacionada às condições ambientais do laboratório

Esta incerteza é determinada pela diferença de temperatura entre o instrumento e o ambiente que será realizada a calibração.

Para a medição desta temperatura é utilizado um termohigrometro, que realizará a medição no momento da calibração. A temperatura padrão para a determinação da variação é de 20°C, a resolução do termohigrometro deve ser de pelo menos 0,1°C para a distribuição retangular e assim valores menores desta incerteza de calibração.

Esta incerteza é determinada pela seguinte fórmula:

$$U_{B8} = \frac{\Delta T}{\sqrt{3}} \quad (20)$$

#### 4.4 Incerteza de calibração tipo A

A incerteza padrão do Tipo A pode ser expressa pelo desvio padrão experimental da média.

O cálculo da incerteza padrão deve ser aplicado após três ou mais medições independentes para uma das grandezas de entrada. Quando houver uma resolução suficiente no processo de medição haverá uma dispersão nos valores observados.

##### 4.4.1 Incerteza de calibração relacionada à média das leituras realizadas

Esta incerteza é determinada após o registro dos valores de medição nos pontos e repetições determinados para a calibração.

A fórmula da média das medições é descrita no capítulo 2, ou resumidamente para os cálculos como:

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n} \quad (21)$$

Onde  $X$  é o valor individual de cada medição, quantas vezes forem determinadas.

A média das medições informará o valor da tendência dos valores da medição e os dados para o cálculo do desvio padrão para a incerteza da média das medições. A fórmula da tendência é descrita a seguir:

$$Tendência = X - \bar{X} \quad (22)$$

A tendência é a variação do valor das medições em função do valor real de medição, será utilizado para determinar se o instrumento apresenta um desvio aceitável, dentro dos limites de tolerância determinados.

A incerteza da média das medições é calculada utilizando a fórmula do desvio padrão, apresentada no capítulo 2, que pode resumidamente utilizada para os cálculos como:

$$U_A = \sqrt{\frac{(X_1 - \bar{X})^2 + (X_2 - \bar{X})^2 + \dots + (X_n - \bar{X})^2}{n - 1}} \quad (23)$$

O valor de  $\sigma$  é a própria incerteza Tipo A, já determinada.

#### 4.5 Incerteza padrão combinada $U_C$

Determinadas as incertezas Tipo A e Tipo B, referentes à calibração, é aplicada à combinação das incertezas, para assim determinar a incerteza final ( $U_C$ ) que será utilizada nos cálculos.

$$U_C = \sqrt{(U_A)^2 + (U_B)^2} \quad (24)$$

Sendo que em  $U_B$  deve-se aplicar a combinação de todas as entradas de incerteza determinadas anteriormente, sendo assim:

$$U_B = \sqrt{U_{B1} + U_{B2} + U_{B3} + U_{B4} + U_{B5} + U_{B6} + U_{B7} + U_{B8}} \quad (25)$$

#### 4.6 Cálculo do fator de abrangência $K$

Como apresentado no capítulo 2, a incerteza expandida é o valor da incerteza combinada  $U_C$ , multiplicada pelo fator de abrangência  $K$ , que corresponde ao nível de confiança que se deseja o resultado da incerteza.

É utilizado um valor de  $K$  entre 2 e 3, o que corresponde a um nível de confiança de 95,45% do resultado da incerteza.

Os valores de  $K$ , estão descritos no quadro 01 do capítulo 2.

Deve-se inicialmente determinar o valor de graus de liberdade efetivos  $V_{eff}$  da incerteza do padrão, através da fórmula de Welch-Satterhwaite, apresentada no capítulo 2, que pode ser resumidamente expressa por:

$$v_{eff} = \frac{U_C^4}{\frac{U_A^4}{n-1}} \quad (26)$$

#### 4.7 Cálculo da incerteza expandida de medição

Com os valores de  $U_C$  e  $K$  definidos, a incerteza expandida é definida como:

$$U_{95} = U_C * k \quad (27)$$

Este valor é atribuído a uma probabilidade de 95% de abrangência, condição que satisfaz a maioria das atividades de calibração. A apresentação deste valor de incerteza deve ser arredondada para, no máximo, dois algarismos significativos, e usualmente para o próximo valor inteiro positivo.

A apresentação do resultado de incerteza deve ser na forma de  $Y = y \pm U_{95}$ , fornecendo tanto a unidade de medida quanto o valor de  $K$  atribuído nos cálculos.

## 5 PLANILHA DE CÁLCULOS PARA A EXECUÇÃO DAS CALIBRAÇÕES

O desenvolvimento de uma planilha para os cálculos dos valores de incerteza é comumente utilizado, seja um software específico ou programas lógicos de computador.

Com os dados obtidos referente às incertezas de calibração dos paquímetros, sejam estas entradas Tipo A ou Tipo B, o sistema lógico calcula todas as variáveis e as retorna já com o valor de incerteza expandida  $U_{95}$  determinado.

### 5.1 Identificação

A identificação do instrumento determina a faixa de uso, localização, resolução, data da calibração, as condições ambientais no momento da calibração, entre outras informações que sejam pertinentes ao instrumento.

A figura 08 é o modelo de ficha de calibração desenvolvido, onde irá conter as informações de identificação do instrumento.

Figura 08 – Modelo da ficha de calibração - itens de identificação.

|                   |                       |         |              |             |            |
|-------------------|-----------------------|---------|--------------|-------------|------------|
| Descrição:        | Paquímetro            |         |              | Data:       | 20/06/2018 |
| Identificação:    | UNIS 001              |         |              | Unidade:    | mm         |
| Resolução:        | 0,01                  | Digital | Usuário:     | Laboratório |            |
| Capacidade        | 0 a                   | 150,00  | Temperatura: | 20,0 °C     |            |
| Faixa de Medição: | 0 a                   | 150,00  | Umidade:     | 60%         |            |
| Modelo            | 7306-20               |         |              | Tolerância: | ± 0,05     |
| Fabricante:       | Insize                |         |              | Nº Série:   | 12345678   |
| Departamento:     | Laboratório de Física |         |              |             |            |

Fonte: O autor.

As informações de capacidade, resolução, temperatura são diretamente ligadas à calibração, seja nos pontos a calibrar ou na entrada de incertezas.

As informações de identificação, descrição, data da calibração, tolerância, nº de série, fabricante, departamento e modelo será utilizado no cadastro do instrumento para o monitoramento da calibração dos instrumentos.

### 5.2 Resultados das medições

A área de resultados de medição é preenchida com os valores encontrados nas medições.



Destes dados serão calculados a tendência, a média das medições, o desvio padrão e consequentemente a incerteza de calibração Tipo A.

Figura 09 – Modelo de ficha de calibração – resultados das medições.

| VR                           | VI - 01 | VI - 02 | VI - 03 | Média  | Tendência | Desv. Pad | Ua       |
|------------------------------|---------|---------|---------|--------|-----------|-----------|----------|
| <i>Medição Externa</i>       |         |         |         |        |           |           |          |
| 0,00                         | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00   | 0,00      | 0,000000  | 0,000000 |
| 20,50                        | 20,49   | 20,49   | 20,49   | 20,49  | -0,01     | 0,000000  | 0,000000 |
| 50,00                        | 50,00   | 50,00   | 50,00   | 50,00  | 0,00      | 0,000000  | 0,000000 |
| 100,00                       | 100,00  | 99,99   | 100,00  | 100,00 | 0,00      | 0,005774  | 0,003333 |
| 120,00                       | 120,00  | 120,00  | 119,99  | 120,00 | 0,00      | 0,005774  | 0,003333 |
| 150,00                       | 150,01  | 150,00  | 150,01  | 150,01 | 0,01      | 0,005774  | 0,003333 |
| <i>Medição Interna</i>       |         |         |         |        |           |           |          |
| 50,00                        | 50,00   | 50,00   | 50,00   | 50,00  | 0,00      | 0,000000  | 0,000000 |
| <i>Haste de Profundidade</i> |         |         |         |        |           |           |          |
| 50,00                        | 49,99   | 49,99   | 49,99   | 49,99  | -0,01     | 0,000000  | 0,000000 |
| <i>Encosto</i>               |         |         |         |        |           |           |          |
| 50,00                        | 49,99   | 49,99   | 49,99   | 49,99  | -0,01     | 0,000000  | 0,000000 |
| <i>Paralelismo Interno</i>   |         |         |         |        |           |           |          |
| 150,00                       | 150,00  | 150,00  | 150,00  | 150,00 | 0,00      | 0,000000  | 0,000000 |
| <i>Paralelismo Externo</i>   |         |         |         |        |           |           |          |
| 150,00                       | 150,00  | 150,00  | 150,00  | 150,00 | 0,00      | 0,000000  | 0,000000 |

Fonte: O autor.

Automaticamente a planilha desenvolvida calcula os valores e retorna os resultados já definidos de média, tendência, o desvio padrão e a incerteza Tipo A de todos os pontos de calibração.

### 5.3 Memorial de cálculo da Incerteza Tipo B

Os valores de incerteza Tipo B neste momento só podem ser estimados e aplicados valores arbitrários para o desenvolvimento dos cálculos.

Figura 10 – Valores de incerteza calculados – Incerteza de medição interna.

| <i>Cálculo da incerteza de medição</i> |  |                   |                |
|--|--|-------------------|----------------|
| Grandeza                               | Fonte de Incerteza                       | Distribuição      | Incerteza Pad. |
| <i>Medição Externa</i>                 |  |                   |                |
| <i>u1</i>                              | <i>Incerteza da Calibração do Padrão</i> | <i>Normal</i>     | 0,000163       |
| <i>u2</i>                              | <i>Deriva do Padrão</i>                  | <i>Retangular</i> | 0,000163       |
| <i>u3</i>                              | <i>Expansão Térmica</i>                  | <i>Retangular</i> | 0,000000       |
| <i>u4</i>                              | <i>Compressão Elástica</i>               | <i>Retangular</i> | 0,000023       |
| <i>u5</i>                              | <i>Erro de Cosseno</i>                   | <i>Retangular</i> | 0,002041       |
| <i>u6</i>                              | <i>Erros Geométricos</i>                 | <i>Retangular</i> | 0,001443       |
| <i>u7</i>                              | <i>Resolução do Instrumento</i>          | <i>Retangular</i> | 0,002041       |
| <i>u8</i>                              | <i>Condições Ambientais</i>              | <i>Retangular</i> | 0,000000       |
| <i>u9</i>                              | <i>Média das Medições</i>                | <i>Normal</i>     | -              |
| <i>uc (parcial)</i>                    | -  |                   | 0,003236       |

Fonte: O autor.

Assim os valores de incerteza são automaticamente calculados e inseridos nos resultados da incerteza expandida  $U_{95}$ .

Figura 11 – Tabela das incertezas Tipo B, combinada e expandida.

| $U_b$    | $U_c$    | $V_{eff}$ | $K$  | $U_{95}$ | Situação | $Tend + U_{95}$ |
|----------|----------|-----------|------|----------|----------|-----------------|
| 0,003236 | 0,003236 | $\infty$  | 2,00 | 0,01     | APROVADO | 0,01            |
| 0,003236 | 0,003236 | $\infty$  | 2,00 | 0,01     | APROVADO | 0,02            |
| 0,003236 | 0,003236 | $\infty$  | 2,00 | 0,01     | APROVADO | 0,01            |
| 0,003236 | 0,004646 | 8         | 2,37 | 0,02     | APROVADO | 0,02            |
| 0,003236 | 0,004646 | 8         | 2,37 | 0,02     | APROVADO | 0,02            |
| 0,003236 | 0,004646 | 8         | 2,37 | 0,02     | APROVADO | 0,03            |
| 0,003228 | 0,003228 | $\infty$  | 2,00 | 0,01     | APROVADO | 0,01            |
| 0,003228 | 0,003228 | $\infty$  | 2,00 | 0,01     | APROVADO | 0,02            |
| 0,003228 | 0,003228 | $\infty$  | 2,00 | 0,01     | APROVADO | 0,02            |
| 0,003234 | 0,003234 | $\infty$  | 2,00 | 0,01     | APROVADO | 0,01            |
| 0,003234 | 0,003234 | $\infty$  | 2,00 | 0,01     | APROVADO | 0,01            |

Fonte: O autor.

A figura 11 a seguir mostra os valores já calculados para o modelo utilizado, onde a situação de “APROVADO” se dá em função da soma da tendência com a incerteza expandida calculada em relação a tolerância estipulada  $\pm 0,05$  mm.

## **6 MÉTODO DE CALIBRAÇÃO DOS PAQUÍMETROS**

O método de calibração de paquímetros utiliza como referência as normas ABNT NBR ISSO/ IEC 17025, a ABNT NBR NM 216 e o DOC-CGCRE-004. As outras normas de referência como o VIM, o INTROGUM 2008 e o RM 68 – Incerteza de medição, são associadas ao cálculo das incertezas de medição, já citados.

### **6.1 Condições ambientais para calibração**

A temperatura deve estar a  $20,0 \pm 2^{\circ}\text{C}$  e a umidade relativa de 30 a 80 %UR. Estas devem ser controladas com o auxílio do termohigrometro, o tempo de equalização da temperatura entre o instrumento a ser calibrado e os padrões deverá ser no mínimo de 60 minutos, após a temperatura do ambiente estar estável em  $20,0 \pm 2^{\circ}\text{C}$ .

### **6.2 Limpeza e ajuste dos instrumentos/ padrões**

O instrumento a ser calibrado deve ser limpo com pano ou papel macio que não deixe resíduo, utilizando álcool isopropílico ou etílico absoluto.

Os blocos padrão e o anel liso cilíndrico deve ser limpo também com pano ou papel macio que não deixe resíduo, utilizando álcool isopropílico ou etílico absoluto até que seja retirada toda a vaselina de proteção.

Para o manuseio do instrumento em calibração e dos padrões, deve-se utilizar luvas para manter a temperatura do instrumento e padrão o mais próxima do ambiente.

### **6.3 Calibração**

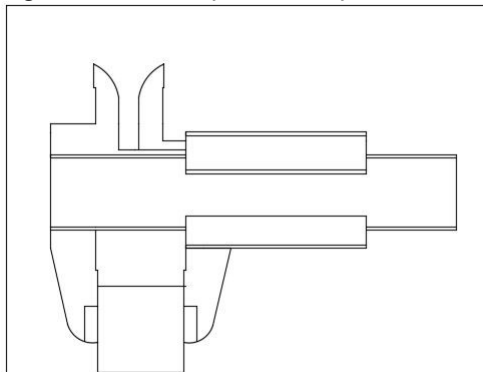
Os pontos de calibração e as características a serem calibradas estão descritos no Quadro 01, de acordo com a NM 216.

#### **6.3.1 Calibração da Medição externa**

Deve-se posicionar os blocos padrão entre as faces de medição externa do paquímetro, e efetuar a medição. Manter as faces de medição paralela com as faces dos blocos padrão,

evitando a formação de ângulo. Executar as medições conformes os pontos descritos no Quadro 01. Repetir este item três vezes.

Figura 12 – Calibração da medição externa.

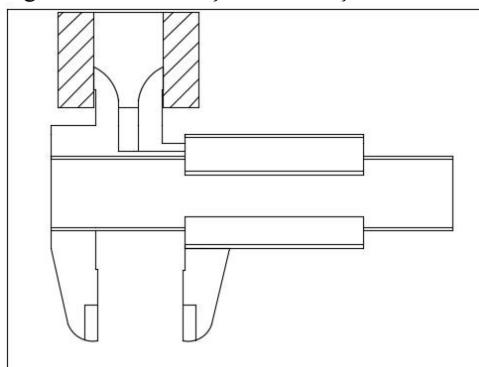


Fonte: O autor.

### 6.3.2 Calibração da Medição interna

Deve-se posicionar as faces de medição interna do paquímetro dentro do furo do anel padrão, e efetuar a medição. Manter as faces de medição paralelas com as faces do anel padrão, evitando a formação de ângulo. Executar a medição conformes os pontos descritos no Quadro 01. Repetir este item três vezes.

Figura 13 – Calibração da medição interna.



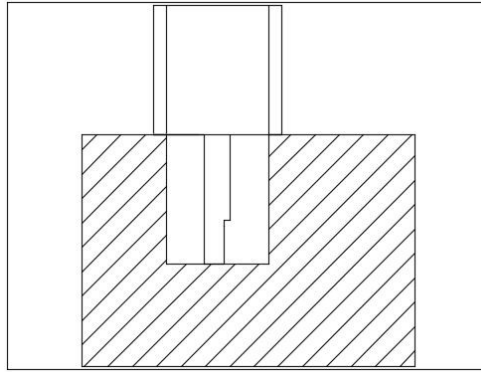
Fonte: O autor.

### 6.3.3 Calibração da Haste de Profundidade:

Para realizar a medição de profundidade, deve-se utilizar o bloco padrão, no valor descrito no Quadro 01, e o desempeno como superfície de referência.

Posicionar a base da régua principal no bloco padrão e descer a régua de profundidade até que a ponta da haste de profundidade encoste na mesa plana, tomando o cuidado para não utilizar força excessiva. Repetir este item três vezes.

Figura 14 – Calibração da medição de profundidade.

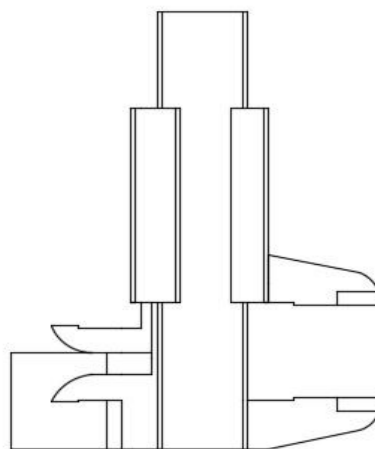


Fonte: O autor.

#### 6.3.4 Calibração da Medição Ressalto

Para realizar a medição de ressalto, deve-se utilizar o bloco padrão, no valor descrito no Quadro 01, e a mesa como superfície de referência. Posicionar a face da régua móvel no bloco padrão e descer a régua principal até que a face desta encoste na mesa, tomando o cuidado para não utilizar força excessiva. Repetir este item três vezes.

Figura 15 – Calibração da medição do encosto.



Fonte: O autor.

#### 6.3.5 Calibração do paralelismo das faces de medição externa

Posicionar o bloco ou haste padrão nas faces de medição externa, o mais próximo possível da régua principal e efetuar a medição, depois efetuar a medição o mais próximo possível da extremidade das faces de medição (bico). Registrar a diferença encontrada.

#### 6.3.6 Calibração do Paralelismo das faces de medição interna.

Posicionar as faces de medição externa, o mais próximo possível da régua principal, no padrão interno e efetuar a medição, depois efetuar a medição o mais próximo possível da extremidade das faces de medição (orelha). Registrar a diferença encontrada.

### **6.4 Finalização da calibração**

Após a calibração e os dados coletados, deve-se afixar no instrumento, quando possível, o selo de calibração. Este irá mostrar ao usuário que o instrumento utilizado foi calibrado e está apto para o uso.

Quando o instrumento apresentar parafusos de regulagem ou outros métodos que podem violar o ajuste ou alterar os resultados da calibração executada, estes devem ser lacrados com tinta para garantir a inviolabilidade do instrumento.

Os resultados coletados deverão ser inseridos na planilha de cálculos desenvolvida e seus valores conferidos a fim de garantir que o resultado esteja dentro dos limites de tolerância especificados.

O resultado final deverá ser apresentado no formato de certificado, conforme mostra o Apêndice A – Certificado de Calibração.

## 7 GERENCIAMENTO DE INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO

Para o gerenciamento dos instrumentos uma tabela interativa com a planilha de cálculos é desenvolvida, que os dados da calibração sejam aproveitados e inseridos no cadastro do instrumento.

O cadastro dos instrumentos devem conter no mínimo a faixa de uso, a data de calibração, a localização do instrumento, o código de identificação do instrumento e o número de seu último certificado de calibração.

### 7.1 Controle dos instrumentos

A figura 16 a seguir contém o modelo de tabela a ser utilizado. Nesta tabela as informações relevantes para o gerenciamento.

- O Status informa a disposição do instrumento;
- O Código do Equipamento irá diferenciar entre instrumentos do mesmo tipo;
- O Modelo e Marca/ Fabricante ajudam na identificação do instrumento, como também podem informar se o instrumento segue alguma recomendação do fabricante, se houver;
- O tipo do instrumento diferencia os instrumentos da organização.

Figura 16 – Tabela para gerenciamento de calibração 1.

| Status | Código Equipamento | Modelo  | Marca /Fabricante | Tipo de Equipamento          |
|--------|--------------------|---------|-------------------|------------------------------|
| ATIVO  | UNIS 001           | 7306-20 | Insize            | Paquímetro                   |
| ATIVO  | UNIS 002           | 7306-20 | Insize            | Paquímetro                   |
| ATIVO  | UNIS 003           | 7306-20 | Insize            | Paquímetro                   |
| ATIVO  | UNIS 004           | 7306-20 | Insize            | Paquímetro                   |
| ATIVO  | UNIS 005           | NA      | Digimess          | Bloco Padrão 20,0 mm         |
| ATIVO  | UNIS 006           | NA      | Digimess          | Bloco Padrão 20,5 mm         |
| ATIVO  | UNIS 007           | NA      | Digimess          | Bloco Padrão 50,0 mm         |
| ATIVO  | UNIS 008           | NA      | Digimess          | Bloco Padrão 100,0 mm        |
| ATIVO  | UNIS 009           | NA      | Digimess          | Anel Liso Cilíndrico 50,0 mm |
| ATIVO  | UNIS 010           | NA      | TFA               | Termohigrômetro              |
| ATIVO  |                    |         |                   |                              |

Fonte: O autor.

A figura 17 a seguir contém dados relevantes à identificação e capacidade dos instrumentos gerenciados.

- A validade da calibração, estipulada pela organização;
- A resolução do instrumento;

- c) A sua capacidade;
- d) O erro máximo admissível;
- e) O setor que se encontra o instrumento.

Figura 17 – Tabela para gerenciamento de calibrações 2.

| Validade | Resolução      | Capacidade     | Erro Máximo Admissível | Setor                     |
|----------|----------------|----------------|------------------------|---------------------------|
| jun-19   | 0,01 mm        | 150 mm         | ± 0,05 mm              | Laboratório de Física     |
| jun-19   | 0,01 mm        | 150 mm         | ± 0,05 mm              | Laboratório de Física     |
| jun-19   | 0,01 mm        | 150 mm         | ± 0,05 mm              | Laboratório de Física     |
| jun-19   | 0,01 mm        | 150 mm         | ± 0,05 mm              | Laboratório de Física     |
| jun-20   | 0,0001 mm      | 20,0 mm        | ± 0,0003 mm            | Sala dos Professores Lab. |
| jun-20   | 0,0001 mm      | 20,5 mm        | ± 0,0003 mm            | Sala dos Professores Lab. |
| jun-20   | 0,0001 mm      | 50,0 mm        | ± 0,0003 mm            | Sala dos Professores Lab. |
| jun-20   | 0,0001 mm      | 100,0 mm       | ± 0,0003 mm            | Sala dos Professores Lab. |
| jun-20   | 0,0001 mm      | 50,0 mm        | ± 0,0003 mm            | Sala dos Professores Lab. |
| jun-19   | 0,1 °C / 1 %UR | 30 °C / 99 %UR | ± 2 °C / 5 %UR         | Sala dos Professores Lab. |
| dez-00   |                |                |                        |                           |

Fonte: O autor.

A figura 18 complementa a tabela, indica os seguintes dados:

- a) Data da última verificação, para o cálculo da validade da calibração.
- b) A frequência da calibração estipulada;
- c) O responsável pela calibração do instrumento, se interno ou externo;
- d) O número do certificado de calibração;
- e) E a situação do instrumento, se aprovado ou reprovado para uso.

Figura 18 – Tabela para gerenciamento de calibrações 3.

| Data da Última Calibração / Verificação | Freq. (Meses) | Responsável calibração | Nº Cert. de Calibração / Verificação | Aprovado/ Reprovado |
|---|---------------|------------------------|--------------------------------------|---------------------|
| jun-18                                  | 12            | André Grandi           | 001                                  | Aprovado            |
| jun-18                                  | 12            | André Grandi           | 002                                  | Aprovado            |
| jun-18                                  | 12            | André Grandi           | 003                                  | Aprovado            |
| jun-18                                  | 12            | André Grandi           | 004                                  | Aprovado            |
| jun-18                                  | 24            | SENAI                  | XXXX                                 | Aprovado            |
| jun-18                                  | 24            | SENAI                  | XXXX                                 | Aprovado            |
| jun-18                                  | 24            | SENAI                  | XXXX                                 | Aprovado            |
| jun-18                                  | 24            | SENAI                  | XXXX                                 | Aprovado            |
| jun-18                                  | 24            | SENAI                  | XXXX                                 | Aprovado            |
| jun-18                                  | 12            | Exata Metrologia       | XXXX                                 | Aprovado            |

Fonte: O autor.



## 8 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A pesquisa e o desenvolvimento do trabalho indicam que a aplicação da calibração interna é benéfica para qualquer organização que esteja sujeita à verificação de seus instrumentos de medição.

A partir dos dados coletados e dos custos envolvidos o quadro 08 pode ser desenvolvido, contendo os custos de calibração e os custos de aquisição dos padrões e calibração dos padrões.

Quadro 08 – Comparativo de custo entre calibração interna e terceirizada.

| Calibração (R\$) | Quantidade de Instrumento | Valor Total Calibração Terceirizada | Valor da Aquisição dos Padrões | Valor da Calibração dos Padrões |
|------------------|---------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| R\$29,33         | 49                        | R\$1.437,17                         | R\$1.610,87                    | R\$205,00                       |

Fonte: O autor.

A calibração terceirizada é inferior cerca de R\$300,00 quando comparada à aquisição dos padrões para calibração interna, porém adotando uma periodicidade de um ano para a calibração dos paquímetros e a atribuindo 2 anos para a periodicidade da calibração dos padrões temos o seguinte quadro:

Quadro 09 – Comparativo de custo ao longo de 3 anos.

| Periodicidade | Calibração (R\$) | Quantidade de Instrumento | Valor Total Calibração Terceirizada | Valor da Aquisição dos Padrões | Valor da Calibração dos Padrões |
|---------------|------------------|---------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| 1º Ano        | R\$29,33         | 49                        | R\$1.437,17                         | R\$1.610,87                    | R\$205,00                       |
| 2º Ano        | R\$29,33         | 49                        | R\$1.437,17                         | -                              | -                               |
| 3º Ano        | R\$29,33         | 49                        | R\$1.437,17                         | -                              | R\$205,00                       |
| Total         |                  |                           | R\$4.311,51                         |                                | R\$2.020,87                     |

Fonte: O autor.

Ao final de 3 anos de calibração terceirizada a redução do custo desta atividade foi de aproximadamente 55%. O custo da aquisição destes padrões e de sua calibração é justificável à longo prazo, onde a organização detendo a posse do método e das ferramentas passaria a gerenciar à periodicidade e a frequência destas calibrações, que poderiam ser ainda mais curtas.

O fator que influenciou na viabilidade deste custo foi a quantidade de instrumentos que devem ser calibrados e a frequência desta calibração, instrumentos em baixa quantidade as calibrações internas acabam sendo onerosas e muitas vezes inviáveis pela complexidade do equipamento e custos de padrões para atender os requisitos normativos.

## 9 CONCLUSÕES

Concluída a pesquisa e o desenvolvimento das planilhas de cálculos referentes à calibração e ao instrumento de medição - paquímetro, constata-se que o desenvolvimento e implantação de um sistema de gestão e calibração de instrumentos internamente é benéfico para a empresa. Não só os custos com a calibração são reduzidos, quanto o próprio controle da capacidade de medição destes instrumentos é melhorada, sendo a organização a detentora dos métodos de calibração, o ajuste, o resultado e a praticidade dos resultados é superior ao de um serviço prestado por uma empresa terceirizada, desde que respeitadas as condições exigidas pelas normas aplicadas, NBR NM 216 e ABNT ISO/IEC 17025, quanto ao método de calibração, e às incertezas de medição INTROGUM 2008.

Os custos empregados inicialmente para a aplicação desta atividade é alto, visto o valor exposto dos padrões para calibração e sua calibração inicial para a determinação das incertezas, porém é comprovado que ao longo prazo, que o custo da calibração por empresa terceirizada se mostra superior ao longo de poucos anos.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 216 – Paquímetros e paquímetros de profundidade** – Características construtivas e requisitos metrológicos. Rio de Janeiro: 2000.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 215 – Blocos padrão**. Rio de Janeiro: 2000.

\_\_\_\_\_. **ABNT ISO 10012 – Sistemas de gestão de medição** – Requisitos para os processos de medição e equipamento de medição. Rio de Janeiro: 2004.

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR ISO/IEC 17025 – Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração**. Rio de Janeiro: 2017.

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR ISO 9001 – Sistemas de gestão de qualidade** – Requisitos. Rio de Janeiro: 2015.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA E TECNOLOGIA. **Vocabulário internacional de metrologia: Conceitos fundamentais e gerais e termos associados (VIM 2012)**. Duque de Caxias, RJ: 2012.

\_\_\_\_\_. **Orientação para a realização de calibrações no grupo de serviços de calibração em metrologia dimensional** – DOQ – CGCRE – 004. Duque de Caxias, RJ: 2010.

\_\_\_\_\_. **Avaliação de dados de medição** – Uma introdução ao “Guia para a expressão de incerteza de medição” e a documentos correlatos – INTROGUM 2008. Duque de Caxias, RJ: 2014.

REDE METROLÓGICA RS. **RM 68 – Incerteza de medição: Guia prático do avaliador de laboratórios**. Porto Alegre, RS: FIERGS, 2015.

## APÊNDICE A – Certificado de Calibração

| <b>Certificado de Calibração</b>   |  |                         |                       |          |           |                                 |          |
|--|--|-------------------------|-----------------------|----------|-----------|---------------------------------|----------|
| <b>Certificado N°</b>  | 001  | <b>Calibrado em:</b>    | 20/06/2018            |          |           |                                 |          |
| <b>Solicitante:</b>  | Centro Universitário do Sul de Minas<br>Rua Alzira Barra Gazzola |                         |                       |          |           |                                 |          |
| <b>Contratante:</b>  | O Próprio  |                         |                       |          |           |                                 |          |
| Informações do Instrumento   |  |                         |                       |          |           |                                 |          |
| <b>Identificação:</b>  | UNIS 001   | <b>Modelo:</b>          | 7306-20               |          |           |                                 |          |
| <b>Descrição:</b>  | Paquímetro   | <b>Número de Série:</b> | 12345678              |          |           |                                 |          |
| <b>Fabricante:</b>   | Insize   | <b>Departamento:</b>    | Laboratório de Física |          |           |                                 |          |
| Condições Ambientais   |  |                         |                       |          |           |                                 |          |
| <b>Temperatura:</b>  | 20,0 °C  |                         |                       |          |           |                                 |          |
| <b>Umidade:</b>  | 60%  |                         |                       |          |           |                                 |          |
| Procedimento   |  |                         |                       |          |           |                                 |          |
| Calibração realizada de acordo com procedimento LAB.CAL.001 revisão 001.   |  |                         |                       |          |           |                                 |          |
| Resumo do Procedimento   |  |                         |                       |          |           |                                 |          |
| Calibração realizada em comparação com um padrão.  |  |                         |                       |          |           |                                 |          |
| Lista de Padrões Utilizados  |  |                         |                       |          |           |                                 |          |
| PR-001 - Jogo de Blocos Padrão   |  |                         |                       |          |           |                                 |          |
| PR-002 - Anel Liso Cilindrico  |  |                         |                       |          |           |                                 |          |
| PR-003 - Padrão de Paralelismo Interno   |  |                         |                       |          |           |                                 |          |
| Resultados   |  |                         |                       |          |           |                                 |          |
| <b>01 - Medida Externa</b>   |  |                         |                       |          |           |                                 |          |
| <b>Faixa de Uso</b>  | 0 a  | 150,00 mm               | <b>Resolução</b>      | 0,01 mm  |           |                                 |          |
| <b>Faixa de Indicação</b>  | 0 a  | 150,00 mm               | <b>Tolerância</b>     | ±0,05 mm |           |                                 |          |
| VR   | VI   | Tendência               | Incerteza Expandida   | K        | $V_{eff}$ | Incerteza Expandida + Tendência | Situação |
| 0,00   | 0,00   | 0,00                    | 0,01                  | 2,00     | $\infty$  | 0,01                            | APROVADO |
| 20,50  | 20,49  | -0,01                   | 0,01                  | 2,00     | $\infty$  | 0,02                            | APROVADO |
| 50,00  | 50,00  | 0,00                    | 0,01                  | 2,00     | $\infty$  | 0,01                            | APROVADO |
| 100,00   | 100,00   | 0,00                    | 0,02                  | 2,37     | 8         | 0,02                            | APROVADO |
| 120,00   | 120,00   | 0,00                    | 0,02                  | 2,37     | 8         | 0,02                            | APROVADO |
| 150,00   | 150,01   | 0,01                    | 0,02                  | 2,37     | 8         | 0,03                            | APROVADO |
| 001  |  | ENDEREÇO DO LABORATÓRIO |                       |          |           | Pag. 1 - 3                      |          |
| <p>O conteúdo apresentado neste documento/ registro tem significado restrito e se aplica a esta situação.<br/>É proibida a reprodução total ou parcial do mesmo sem a autorização do emitente.</p> |  |                         |                       |          |           |                                 |          |

## Certificado de Calibração

### 02 - Medida Interna

**Faixa de Uso**                    0 a    150,00 mm                    **Resolução**                    0,01 mm  
**Faixa de Indicação**        0 a    150,00 mm                    **Tolerância**                    ±0,05 mm

| VR    | VI    | Tendência | Incerteza Expandida | K    | $V_{eff}$ | Incerteza Expandida a+ Tendência | Situação |
|-------|-------|-----------|---------------------|------|-----------|----------------------------------|----------|
| 50,00 | 50,00 | 0,00      | 0,01                | 2,00 | $\infty$  | 0,01                             | APROVADO |

### 03 - Haste de Profundidade

**Faixa de Uso**                    0 a    150,00 mm                    **Resolução**                    0,01 mm  
**Faixa de Indicação**        0 a    150,00 mm                    **Tolerância**                    ±0,05 mm

| VR    | VI    | Tendência | Incerteza Expandida | K    | $V_{eff}$ | Incerteza Expandida a+ Tendência | Situação |
|-------|-------|-----------|---------------------|------|-----------|----------------------------------|----------|
| 50,00 | 49,99 | -0,01     | 0,01                | 2,00 | $\infty$  | 0,02                             | APROVADO |

### 04 - Encosto

**Faixa de Uso**                    0 a    150,00 mm                    **Resolução**                    0,01 mm  
**Faixa de Indicação**        0 a    150,00 mm                    **Tolerância**                    ±0,05 mm

| VR    | VI    | Tendência | Incerteza Expandida | K    | $V_{eff}$ | Incerteza Expandida a+ Tendência | Situação |
|-------|-------|-----------|---------------------|------|-----------|----------------------------------|----------|
| 50,00 | 49,99 | -0,01     | 0,01                | 2,00 | $\infty$  | 0,02                             | APROVADO |

### 05 - Paralelismo Interno

**Faixa de Uso**                    0 a    150,00 mm                    **Resolução**                    0,01 mm  
**Faixa de Indicação**        0 a    150,00 mm                    **Tolerância**                    ±0,05 mm

| VR     | VI     | Tendência | Incerteza Expandida | K    | $V_{eff}$ | Incerteza Expandida a+ Tendência | Situação |
|--------|--------|-----------|---------------------|------|-----------|----------------------------------|----------|
| 150,00 | 150,00 | 0,00      | 0,01                | 2,00 | $\infty$  | 0,01                             | APROVADO |

001

ENDEREÇO DO LABORATÓRIO

Pag. 2 - 3

O conteúdo apresentado neste documento/ registro tem significado restrito e se aplica a esta situação.  
 É proibida a reprodução total ou parcial do mesmo sem a autorização do emitente.

## Certificado de Calibração

### 06 - Paralelismo Externo

**Faixa de Uso**                      0 a      150,00 mm      **Resolução**                      0,01 mm  
**Faixa de Indicação**            0 a      150,00 mm      **Tolerância**                      ±0,05 mm

| VR     | VI     | Tendência | Incerteza Expandida | K    | $V_{eff}$ | Incerteza Expandida + Tendência | Situação |
|--------|--------|-----------|---------------------|------|-----------|---------------------------------|----------|
| 150,00 | 150,00 | 0,00      | 0,01                | 2,00 | $\infty$  | 0,01                            | APROVADO |

### Informações Adicionais

- A incerteza expandida de medição relatada é declarada como incerteza padrão de medição multiplicada pelo fator de abrangência  $K = XX$ , o qual para uma distribuição t com  $V_{eff} = YY$  graus de liberdade efetivos corresponde a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95%. A incerteza padrão da medição foi determinada de acordo com a publicação EA-4/02.

André Grandí  
Realizado por

André Grandí  
Aprovado Por

20/06/2018  
Emitido em

001

ENDEREÇO DO LABORATÓRIO

Pag. 3 - 3

O conteúdo apresentado neste documento/ registro tem significado restrito e se aplica a esta situação.  
É proibida a reprodução total ou parcial do mesmo sem a autorização do emitente.