

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE MECÂNICA
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM MECATRÔNICA INDUSTRIAL

DIOGO RENGEL DOS SANTOS

**CARACTERIZAÇÃO DAS FONTES E EXPRESSÃO DA INCERTEZA
DE MEDIÇÃO EM PROCESSOS DE MEDIÇÕES LINEARES DO
LABORATÓRIO – UTFPR-LAMEC**

CURITIBA

2011

DIOGO RENGEL DOS SANTOS

**CARACTERIZAÇÃO DAS FONTES E EXPRESSÃO DA INCERTEZA
DE MEDIÇÃO EM PROCESSOS DE MEDIÇÕES LINEARES DO
LABORATÓRIO – UTFPR-LAMEC**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação apresentado à disciplina de Trabalho de Diplomação, do Curso Superior de Tecnologia em Mecatrônica Industrial dos Departamentos Acadêmicos de Eletrônica e Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, UTFPR, como requisito para a obtenção do título de tecnólogo.

Orientador: Walter Luis Mikos

CURITIBA

2011

Diogo Rengel dos Santos

**Caracterização das Fontes e Expressão da Incerteza de Medição
em Processos de Medições Lineares do Laboratório – UTFPR-
LAMEC**

Esta Monografia foi julgada e aprovada como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Mecatrônica Industrial pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Curitiba, 11 de julho de 2011.

Prof. Milton Luiz Polli
Coordenador de Curso

Prof. Décio Estevão do Nascimento
Responsável pelo Trabalho de Conclusão de Curso
Departamento Acadêmico de Eletrônica

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr Walter Luis Mikos.
Orientador

Prof. Ubiradir Mendes Pinto

Prof. Paulo Antonio Reaes

Obs: o documento original com as assinaturas encontra-se com a coordenação do curso.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar gostaria de agradecer ao Professor Orientador Dr. Walter Luis Mikos, pela oferta do tema, a atenção, o conhecimento, o empenho e conhecimento técnico que se mostraram indispensáveis para a realização deste trabalho.

Também gostaria de agradecer aos professores dos Departamentos de Mecânica (DAMEC) e de Eletrônica (DAELN) que estiveram envolvidos durante a minha graduação, onde seus esforços foram fundamentais para a conclusão desta importante etapa da minha vida.

Agradeço também à Volvo do Brasil, em especial os coordenadores André Fabris, Oscar Bay Neto, Fabiano Moura Freitas e Ericson Dilay pela oferta de trabalho com uma janela de horários flexíveis, que significaram (e muito) para a realização deste trabalho.

Agradeço também aos colegas e amigos Rodrigo Conceição, Leticia Albuquerque, Amanda Viana de Lima, Augusto Hukuchima Jr e Flavia Bernardo pela colaboração e coleguismo diferenciados que foram importantíssimos para a conclusão desta etapa.

Agradeço também aos meus pais e demais amigos por todo o suporte material e emocional que foram importantes para a conclusão deste trabalho.

RESUMO

DOS SANTOS, Diogo Rengel. Caracterização das Fontes e Expressão da Incerteza de Medição em Processos de Medições Lineares do Laboratório – UTFPR-LAMEC. 107p. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2011.

Nas mais diversas áreas da metrologia, a estimativa de incertezas de medição se mostra de extrema importância para a definição do real resultado de medição. Além disso, se mostra um importante diferencial de qualidade nas medições, conferindo credibilidade a laboratórios e agregando valor em produtos manufaturados. Apesar da importância, a incerteza de medição ainda não foi plenamente difundida, em especial nos meios acadêmicos. A ideia deste trabalho é aplicar na prática no laboratório de Metrologia Mecânica da UTFPR, todos os conceitos referentes à incerteza de medição em processos de medição lineares, desde instrumentos simples como paquímetros e micrômetros, a equipamentos de medição mais complexos como os aparelhos de medição por ultrassom. Também foi feita a avaliação do *Uncertainty Sidekick* como *software* de cálculo de incerteza, além da criação de planilhas em Excel baseadas na teoria com a finalidade de não apenas calcular a incerteza presente nas medições feitas como também ser utilizada em medições futuras.

Palavras-chave: Incerteza de Medição, Ferramentas de Cálculo, Medição por Ultrassom, *Uncertainty Sidekick*.

ABSTRACT

DOS SANTOS, Diogo Rengel. Sources and Characterization of the Expression of Uncertainty of Measurement Process in Linear Measurements at UTFPR-LAMEC Laboratory. 107p. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2011.

In many areas of metrology, the estimation of uncertainties of measurement shown extremely important to define the real measurement result. Moreover, it shows a remarkable difference in measurements due of its quality, credibility and adding value to laboratories in manufactured products. Despite its importance, the measurement uncertainty has not yet been fully disseminated, especially in academic circles. The idea of this paper is to apply in the Mechanical Metrology Laboratory of UTFPR, all concepts related to uncertainty of measurement in linear measure processes, from simple tools such as calipers and micrometers, to more and ultrasound measurement devices. There was also the assessment of Uncertainty Sidekick software as calculation of uncertainty, and the creation of Excel spreadsheets based on the theory in order to not only calculate the uncertainty in the measurements as well be used in future measurements.

Keywords: Uncertainty of Measurement, Calculation Tools, Ultrasound Equipment, Uncertainty Sidekick

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Componentes da Incerteza de Medição.	10
Figura 2 - Fluxograma de Etapas do Trabalho.	12
Figura 3 - Micrômetro de Rosca.	20
Figura 4 – Medição de Volume de Vidraria.	21
Figura 5 – Medição de Massas.	23
Figura 6 – Balança de Pressão.	24
Figura 7 – Tabela de Classes de Exatidão.	26
Figura 8 - Uncertainty Sidekick	29
Figura 9 - Uncertainty Analyzer.....	30
Figura 10 – Paquímetro Analógico.....	32
Figura 11 – Paquímetro Digital.	32
Figura 12 – Micrômetro.....	32
Figura 13 – Blocos de Medição.....	33
Figura 14 – Equipamento Panametrics MG2-DT.....	35
Figura 15 – Blocos-Padrão.	35
Figura 16 – Avaliação da Incerteza do Tipo A – Uncertainty Sidekick.....	48
Figura 17 – Identificação para Outras Fontes de Incerteza no <i>Sidekick</i>	50
Figura 18 – Alteração de descrição de outras fontes de erro.....	50
Figura 19 – Janela de inserção de dados para outros tipos de fontes.	51
Figura 20 – Janela para análise de fatores ambientais.....	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparação de Incertezas de Medição – Paquímetro Digital (Medições Lineares)	40
Tabela 2 – Comparação de Incertezas de Medição – Paquímetro Analógico (Medições Lineares)	40
Tabela 3 – Comparação de Incertezas de Medição – Paquímetro Digital (Medições de Diâmetro Interno)	41
Tabela 4 – Comparação de Incertezas de Medição – Paquímetro Analógico (Medições de Diâmetro Interno)	41
Tabela 5 – Comparação de Incertezas de Medição – Micrômetro	42
Tabela 6 – Comparação de Incertezas de Medição – Ultrassom (Velocidade Conhecida) ...	42
Tabela 7 – Comparação de Incertezas de Medição – Ultrassom (Velocidade Desconhecida)	43
Tabela 8 – Avaliação de Graus de Liberdade – Paquímetro Digital (Medições Lineares) ...	44
Tabela 9 – Avaliação de Graus de Liberdade – Paquímetro Analógico (Medições Lineares)	44
Tabela 10 – Avaliação de Graus de Liberdade – Paquímetro Digital (Medições de Diâmetro Interno)	44
Tabela 11 – Avaliação de Graus de Liberdade – Paquímetro Analógico (Medições de Diâmetro Interno)	44
Tabela 12 – Avaliação de Graus de Liberdade – Micrômetro.....	44
Tabela 13 – Avaliação de Graus de Liberdade – Ultrassom (Velocidade Conhecida)	45
Tabela 14 – Avaliação de Graus de Liberdade – Ultrassom (Velocidade Desconhecida)	45
Tabela 15 – Avaliação de Incerteza Tipo A – Paquímetro Digital (Medições Lineares).....	46
Tabela 16 – Avaliação de Incerteza Tipo A – Paquímetro Analógico (Medições Lineares) ..	46
Tabela 17 – Avaliação de Incerteza Tipo A – Paquímetro Digital (Medições de Diâmetro Interno)	47
Tabela 18 – Avaliação de Incerteza Tipo A – Paquímetro Analógico (Medições de Diâmetro Interno)	47
Tabela 19 – Avaliação de Incerteza Tipo A – Micrômetro	47
Tabela 20 – Avaliação de Incerteza Tipo A – Ultrassom (Velocidade Conhecida).....	47
Tabela 21 – Avaliação de Incerteza Tipo A – Ultrassom (Velocidade Desconhecida)	47

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	9
1.1 CONTEXTO.....	9
1.2 PROBLEMA	10
1.3 JUSTIFICATIVA.....	11
1.4 OBJETIVOS.....	11
1.4.1 OBJETIVO GERAL.....	11
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
1.5 METODOLOGIA DA PESQUISA.....	12
2 REVISÃO BILIOGRÁFICA.....	13
2.1 A INCERTEZA DE MEDIÇÃO	13
2.2 OS GUIAS PARA EXPRESSÃO DA INCERTEZA DE MEDIÇÃO	17
2.3 APLICAÇÃO DA INCERTEZA NAS ÁREAS DA METROLOGIA MECÂNICA.....	20
2.3.1 CALIBRAÇÃO DE HASTE PARA AJUSTE DE MICRÔMETRO PARA ROSCA ...	20
2.3.2 CALIBRAÇÃO DA CAPACIDADE VOLUMÉTRICA DE VIDRARIA.....	21
2.3.3 CALIBRAÇÃO DE MASSAS.....	23
2.3.4 BALANÇA DE PRESSÃO	24
2.4 MÉTODOS ESPECÍFICOS PARA CÁLCULO DE INCERTEZA DE MEDIÇÃO	25
2.5 FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS PARA OS CÁLCULOS	28
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	31
3.1 DESENVOLVIMENTO DE PROCEDIMENTOS PARA EXPRESSÃO DA INCERTEZA EM SISTEMAS DE MEDIÇÃO.....	31
3.1.1 PROCEDIMENTOS DE MEDIÇÃO PARA SISTEMAS DE MEDIÇÃO DE ESPESSURA MECÂNICOS	31
3.2 PROCEDIMENTOS DE MEDIÇÃO PARA SISTEMAS DE MEDIÇÃO DE ESPESSURA POR ULTRASSOM.....	34
3.3 RECURSOS EMPREGADOS PARA A EXPRESSÃO DA INCERTEZA DE MEDIÇÃO	36
3.4 RECURSOS COMPLEMENTARES.....	38
4 RESULTADOS E COMENTÁRIOS.....	39
4.1 A CRIAÇÃO DAS PLANILHAS EM EXCEL	39
4.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS	39
4.3 ANÁLISE DO <i>SIDEKICK</i>	49
5 CONCLUSÃO E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	53
REFERÊNCIAS	54
APÊNDICE A - RESULTADO DAS MEDIÇÕES EM EXCEL.....	57
APÊNDICE B - PROCEDIMENTOS DE CALIBRAÇÃO	73
APÊNDICE C - CERTIFICADOS DE CALIBRAÇÃO	90
APÊNDICE D – ALGORITMO EM EXCEL.....	97
ANEXO A - QUADRO BASEADO NA NORMA RM 53 DA REDE METROLÓGICA GAÚCHA	101

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contexto

De acordo com o Aurélio (2009), a incerteza pode ser descrita, em termos gerais, como “um estado de hesitação ou dúvida”. Contudo, em uma ciência como a Metrologia, cujo objetivo é garantir a confiabilidade dos resultados de medições, o termo incerteza pode parecer estranho. Assim, é importante, inicialmente, estabelecer-se um entendimento sobre o conceito de incerteza de medição, que de acordo com Albertazzi (2008, p.70) é um “parâmetro associado ao resultado de medição, que caracteriza a dispersão de valores que podem ser atribuídas ao mensurando”. Para Jornada (2007, p.5) a incerteza é o “grau de dúvida inerente ao processo de medição onde já não é mais possível a aplicação de correções para que a mesma seja eliminada por completo”.

Ainda, de acordo com o mesmo autor, a determinação da incerteza é amplamente usada dentro dos laboratórios de calibração, porém na área de ensaios a prática não é totalmente considerada, podendo comprometer a análise crítica do resultado ou ainda invalidá-lo. Em alguns casos, a incerteza pode ser definida como um diferencial de qualidade do laboratório no mercado. Além disso, oferece a vantagem de identificar potenciais reduções de custo com a calibração dos instrumentos.

A incerteza de medição possui algumas fontes que de acordo com Link (2000), podem ser atribuídas ao equipamento, ao método de medição, às condições ambientais e também ao operador, conforme a figura 1.

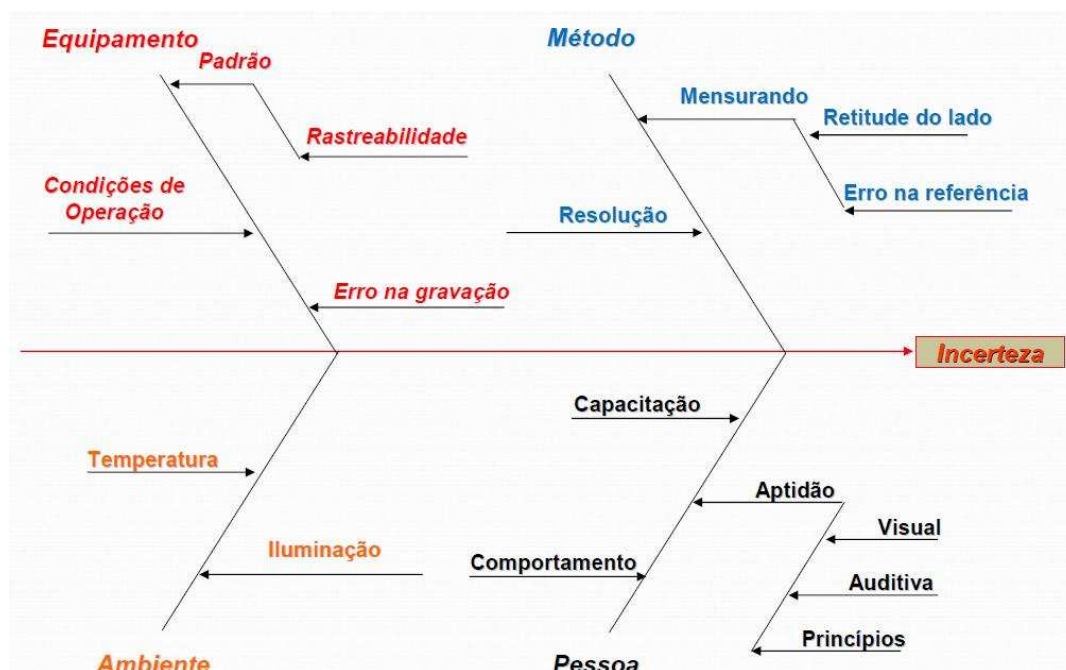


Figura 1 - Componentes da Incerteza de Medição.
 Fonte: Link, 2000, p.30.

A literatura revela várias fontes de incerteza de medição envolvendo componentes do tipo A, para as quais são empregados métodos estatísticos clássicos para sua determinação e componentes do tipo B, para as quais são usados outros métodos tais como a estatística bayesiana (Vuolo, 1998, p.350). Estas fontes de incertezas podem ser caracterizadas mediante o desvio padrão (denominadas incertezas-padrão), as quais são combinadas para gerar uma incerteza final, resultando assim na incerteza combinada.

1.2 Problema

Quando um laboratório, em procedimentos de calibração, relata o resultado de medição de um mensurando, é obrigatório que seja apresentada uma indicação da incerteza de medição associada a este resultado, de forma tal que aqueles que se utilizarem do mesmo possam avaliar a sua confiabilidade (VIM, 1995, p.18).

Deste modo é fundamental que o laboratório disponha de procedimentos implementados, facilmente compreendidos e de aceitação geral para avaliar e expressar a incerteza de medições.

Neste sentido, este trabalho busca responder as seguintes questões de pesquisa em relação aos sistemas de medição lineares: Quais são as principais fontes de incerteza? Como elas se caracterizam? Como podem ser determinadas as incerteza associadas aos principais

sistemas de medição lineares do Laboratório de Metrologia DAMEC-LAMEC campus Curitiba da UTFPR?

1.3 Justificativa

A importância associada à identificação clara das fontes, bem como à expressão correta da incerteza dos resultados de medição estende-se além dos laboratórios de calibração e ensaios, pois deve ser amplamente usado no âmbito da metrologia legal e industrial.

Neste sentido, este trabalho visa contribuir para inserção dos conceitos e práticas relacionadas à determinação da incerteza de medição em processos de medição realizados nos laboratórios da área metrológica.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo Geral

Caracterizar as principais fontes de incertezas associadas aos processos de medições lineares empregados pelo Laboratório de Metrologia do Departamento Acadêmico de Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, bem como determinar os algoritmos para calcular e expressar as incertezas associadas.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Realizar estudo acerca dos processos de medições desenvolvidos no laboratório para controle de tolerâncias dimensionais, macrogeométricas e microgeométricas;
- Estudar as regras gerais para avaliação e expressão da incerteza de medição apresentados no Guia para Expressão da Incerteza de Medição (ISO-GUM);
- Estudar o *software Sidekick* para os cálculos de incerteza;
- Criar algoritmos para o cálculo de incertezas;
- Apresentar um relatório final de todos os resultados obtidos.

1.5 Metodologia da Pesquisa

Para a realização deste trabalho, será dividido nas seguintes etapas conforme fluxograma representado na figura 2.

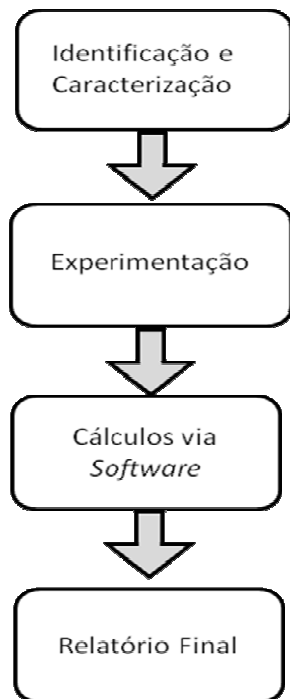


Figura 2 - Fluxograma de Etapas do Trabalho.
Fonte: Do Autor.

A primeira etapa envolve uma revisão da literatura para formação da base teórica para a determinação de incertezas de medição, bem como levantar os modelos estatísticos necessários para expressar a incerteza de medição.

A etapa seguinte consiste do trabalho experimental envolvendo a caracterização das fontes de incertezas associadas aos processos de medição desenvolvidos no laboratório com sistemas de medição manuais (paquímetro e micrômetros), e equipamento de medição por ultrassom;

Na próxima etapa serão empregados uma planilha em Excel e o *software Sidekick* para as análises e cálculos da incerteza de medição.

Por fim, será apresentado um relatório final com todos os resultados obtidos e comentados.

2 REVISÃO BILIOGRÁFICA

Neste capítulo será abordado todo o estado da arte referente a incertezas de medição. Desde o surgimento do conceito, o lançamento do guia para a expressão da incerteza de medição, alguns exemplos de aplicação na indústria, algumas normas específicas para a aplicação da mesma em procedimentos de rotina e ferramentas computacionais específicas para a expressão da incerteza de medição.

2.1 A Incerteza de Medição

De acordo com Olivieri (2005) a incerteza de medição pode ser definida como a “indicação quantitativa da qualidade de um resultado de medição, bem como garantir confiabilidade numa comparação de medições de diferentes procedências”.

Em termos gerais segundo o JGCM 100-GUM (2008, p.04), o resultado de medição é apenas uma aproximação ou estimativa do valor real do mensurando sendo que o mesmo só é completo quando declarada a incerteza de medição. Mesmo com a aplicação de correção para os efeitos sistemáticos conhecidos, o resultado de medição continua sendo apenas estimado uma vez que existe a incerteza decorrente de efeitos aleatórios e da correção imperfeita dos efeitos sistemáticos.

Ainda conforme o JGCM-GUM (2008, p.06) existem muitas possíveis fontes causadoras de incertezas, tais como:

- a) Definição incompleta do mensurando;
- b) Imperfeições na definição do mensurando;
- c) Amostragem inexpressiva;
- d) Conhecimento insuficiente dos efeitos das condições ambientais sobre a medição;

- e) Avaliação tendenciosa na leitura de instrumentos analógicos;
- f) O limiar de resolução instrumento limitado;
- g) Valores inexatos dos padrões de medição e materiais de referência;
- h) Os valores inexatos de constantes e outros parâmetros obtidos a partir de fontes externas;
- i) Aproximações e suposições incorporadas ao método de medição;
- j) Variações nas observações repetidas do mensurando sob condições aparentemente idênticas.

Vale ressaltar que tais características não são necessariamente independentes; a condição j), por exemplo, pode ser resultado da combinação dos fatores a) e i). Embora um efeito sistemático desconhecido não seja considerado para a avaliação da incerteza de medição de um resultado, ele contribui para gerar o erro da mesma.

Mesmo que os valores exatos das contribuições para o erro de um resultado de medição sejam desconhecidos, é possível a avaliação das incertezas associadas aos efeitos sistemáticos e aleatórios que dão origem aos erros de medição. Porém margens de incerteza pequenas não garantem um menor erro de medição, uma vez que durante a avaliação ou correção uma vez que um efeito sistemático pode ter sido desconsiderado. Ou seja, a incerteza de medição não é necessariamente a indicação da probabilidade que o resultado da medição esteja próximo do valor real do mensurando, e sim uma estimativa provável da proximidade para o melhor valor de acordo com o conhecimento disponível (JCGM-GUM, 2008, p.51).

Quando o valor de um mensurando é relatado, a melhor estimativa do seu valor a melhor avaliação da incerteza de medição devem ser dadas. Uma avaliação insuficiente pode levar a resultados falhos com conseqüências desastrosas. Por outro lado uma avaliação perfeccionista pode resultar em técnicas muito custosas para poucos resultados.

Ou seja, a expressão da incerteza de medição é fundamental para garantir e dar credibilidade aos procedimentos aplicados à metrologia em todas as áreas possíveis. Exemplos podem ser vistos na metrologia científica e legal onde a aplicação da incerteza pode garantir transações comerciais mais justas, assim como procedimentos farmacêuticos mais confiáveis, de maneira a proteger o consumidor durante a aquisição de produtos e serviços.

Na área de atuação da metrologia industrial, a expressão da incerteza de medição não apenas deve ser aplicada na avaliação de produtos, como também auxilia nos processos produtivos, além de ajudar na definição da qualidade esperada por determinado produto. A metrologia industrial também auxilia na harmonização dos padrões dos produtos em escala global (CNI, 2007).

De acordo com Albertazzi (2008 p. 288), porém mesmo oferecendo vantagens são necessários alguns cuidados para evitar que a incerteza de medição possa levar a decisões erradas durante o controle de qualidade. Para isso, pode-se estabelecer uma zona de aceitação cujos limites são resultado da diferença dos limites de tolerância e incerteza de medição conforme representados pela equação 1.

$$LIA = LIE + IM$$

$$LSA = LSE - IM$$

Equação 1 - Limites para a zona de aceitação.

Fonte: Albertazzi, 2008, p.289.

sendo:

LIA – Limite Inferior de Aceitação

LIE – Limite Inferior de Especificação

IM – Incerteza de Medição

LSA – Limite Superior de Aceitação

LSE – Limite Superior de Especificação

Para a indústria, o ideal é a menor incerteza possível para que a zona de aceitação se aproxime ao máximo da zona de especificação, para que haja menor número de peças com classificação duvidosa diminuindo assim os custos de não-qualidade. Para isso mais do que

expressar a incerteza de medição é preciso também melhorá-la ao máximo possível, porém sem levar a um custoso perfeccionismo. Para isso foi definido um ponto de equilíbrio onde a incerteza equivale a um décimo do intervalo de tolerância conforme equação 2:

$$IM = IT/10$$

Equação 2 - Incerteza de Medição em Condições de Equilíbrio.

Fonte: Albertazzi, 2008, p.290.

sendo:

IM = Incerteza de Medição

IT = Intervalo de Tolerância (IT = LSE – LIE)

Segundo Albertazzi (2008, p.338) várias normas de garantia da qualidade são baseadas em análises de balanços de incerteza de medição. Exemplos podem ser vistos na ISO 9001 onde a incerteza de medição durante a inspeção e testes deve ser conhecida e compatível com as exigências de compatibilidade requeridas.

A ISO 10012 por sua vez recomenda que durante a medição e utilização de resultados, devem ser levados em consideração todos os fatores significativos que causam a incerteza de medição, incluindo aqueles atribuídos ao sistema e às influências dos operadores, dos procedimentos e do ambiente.

Já a ISO 14253-1 define que a incerteza de medição deve ser considerada quando é analisada a conformidade de um processo ou de um produto durante a fase de especificação. Na ISO 14253-2 há uma metodologia para determinar a incerteza do sistema de medição na calibração e a incerteza do processo em operação.

Dentro da metrologia científica, expressar a incerteza de medição auxilia tanto no desenvolvimento de pesquisas, seja nas áreas científicas ou nas de engenharias. Também garante a calibração de instrumentos de acordo com padrões nacionais e internacionais bem

como garantir rastreabilidade ante aos mesmos, além da criação, manutenção e comparação entre padrões de referência física, inclusive para materiais de referência.

A expressão da incerteza de medição pode ser aplicada a qualquer instrumento, desde um simples paquímetro a uma complexa máquina de medição tridimensional, como também a qualquer tipo de medição sendo ele direto (resultado proveniente da aplicação de um instrumento de medição sobre o mensurando) ou indireto (resultado proveniente de aplicações matemáticas envolvendo duas ou mais medidas associadas a diferentes características do mensurando).

Porém, justamente pelo fato dos tipos de medição ter características distintas a maneira de como expressar a incerteza de medição também é diferente. Enquanto em medições indiretas se empregam modelos puramente matemáticos, em medições diretas podem ser utilizados desde princípios estatísticos (chamada de incerteza de medição do tipo A) até princípios não-estatísticos, como informações conhecidas *a priori* (incerteza de medição do tipo B). Estas classificações, porém não apontam diferenças na natureza dos componentes resultantes do processo de avaliação, uma vez que os mesmos são baseados em distribuições de probabilidade e os componentes de incerteza resultante são quantificados por variâncias ou desvios-padrão.

2.2 Os Guias para Expressão da Incerteza de Medição

Segundo o Guia para a Expressão da Incerteza de Medição (1998, p.7), até o final da década de 1970, embora houvesse conhecimento sobre as incertezas presentes nas medições, havia muitas dúvidas sobre como expressá-las corretamente, o que gerava resultados discrepantes entre laboratórios de diversos países. Para solucionar a questão foi solicitado pelo *Comité International des Poids e Mesures* (CIPM) ao *Bureau International des Poids et Mesures* (BIPM) em conjunto com os laboratórios nacionais de metrologia para a criação de uma recomendação para a determinar a incerteza presente nas medições.

Para isso o BIPM realizou uma pesquisa abrangendo os principais tópicos relacionados às incertezas e que foram distribuídos para 32 laboratórios nacionais ao redor do

globo. No início de 1979, 21 laboratórios responderam ao questionário, sendo quase todos favoráveis a um procedimento padrão para expressar a incerteza de medição bem como combinar todos os componentes individuais da incerteza em uma incerteza total. Embora houvesse forte aceitação a idéia de um modelo-padrão para a definição de incertezas, ainda faltava definir um método de cálculo para expressão da incerteza de medição.

O BIPM então convocou uma reunião com especialistas de 11 laboratórios nacionais de metrologia, com a finalidade de criarem um grupo de trabalho, cujo propósito é formar um procedimento padrão para a especificação da incerteza padrão. Tal grupo de trabalho apresentou como resultado a Recomendação INC-1, Expressão de Incertezas Experimentais em 1980, sendo aprovado pelo CIPM em 1981 e ratificado em 1986.

Neste documento foram postos muitos conceitos presentes até os dias de hoje para a estimativa da incerteza de medição, como por exemplo, a classificação do tipo A, por processos estatísticos e do tipo B, por outros meios, além da recomendação em não associá-los a um caráter sistemático ou aleatório.

Embora tenha sido um grande avanço no desenvolvimento de materiais oficiais relacionados à incerteza de medição, esta recomendação se resumia a uma breve descrição e não uma prescrição mais detalhada, o que dificulta uma aplicação mais ampla da incerteza de medição em áreas como o comércio, a indústria. O CIPM então decidiu atribuir a elaboração de um guia mais detalhado à *International Organization for Standardization* (ISO) (Guia para a Expressão da Incerteza de Medição, 1998, p.7).

Uma das razões para a ISO ter sido escolhida para esta tarefa é justamente uma frente de trabalho direcionado ao desenvolvimento de diretrizes referentes à área da metrologia, sendo denominada oficialmente *ISO Technical Advisory Group on Metrology* (TAG 4). Tal linha de trabalho é focada nos interesses da ISO e de mais seis organizações listadas a seguir:

- International Electrotechnical Commission (IEC);
- Comité International des Poids e Mesures (CIPM);
- International Organization of Legal Metrology (OIML);
- International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC);

- International Union of Pure and Applied Physics (IUPAP);
- International Federation of Clinical Chemistry (IFCC).

Para a concepção deste guia foi criado o Grupo de Trabalho 3 (ISO/TAG 4/WG 3), que era formado por especialistas do BIPM, IEC, ISO e OIML, onde tinham por objetivo desenvolver um documento-base a partir da recomendação feita pelo BIPM sobre a Declaração de Incertezas, de maneira a fornecer regras mais definidas para a expressão da incerteza de medição em processos de normalização, calibração, credenciamento de laboratórios e serviços de metrologia. Em outras palavras deve fornecer a informação mais completa sobre como tal incerteza foi definida, bem como fornecer uma base para uma comparação entre resultados de medição. Este guia foi concluído em 1993 e disponibilizado para vários laboratórios de metrologia espalhados pelo globo, sendo a primeira edição brasileira apresentada em 1995 e a segunda edição três anos depois (Guia para a Expressão da Incerteza de Medição, 1998, p.5).

O conteúdo presente neste guia expande ainda mais o que foi abordado na recomendação INC-1 de 1980, além dos conceitos e definições gerais como também expõe um procedimento padrão de como determinar uma incerteza de medição através de oito etapas:

1. Expressar matematicamente a relação entre o mensurando e as grandezas de entrada;
2. Determinar o valor estimado de cada grandeza de entrada seja por meios estatísticos ou não;
3. Avaliar a incerteza padrão presente em cada estimativa do valor de entrada;
4. Avaliar possíveis covariâncias associadas aos valores de entrada que sejam correlacionadas;
5. Calcular o resultado da medição do mensurando a partir de uma relação funcional utilizando os valores estimados das grandezas de entrada;
6. Determinar a incerteza padrão combinada do resultado de medição a partir das incertezas padrão e covariâncias associadas com as estimativas de entrada;

7. Caso seja necessário declarar uma incerteza expandida com a finalidade de fornecer um intervalo que abranja uma extensa fração da distribuição dos valores que possam ser atribuídos ao mensurando, basta multiplicar a incerteza padrão combinada com um fator de abrangência para se obter a incerteza padrão expandida;

8. Relatar o resultado da medição juntamente com sua incerteza padrão ou expandida, além de descrever como também tais resultados foram obtidos.

2.3 Aplicação da Incerteza nas Áreas da Metrologia Mecânica

Em qualquer tipo de medição que pode ser feita, inclusive as mais simples desde que observados atentamente todo tipo de efeito sistemático e aleatório presente, é possível estimar a incerteza de medição. E dentro da área da metrologia, determinar a incerteza virou um diferencial para a qualidade final dos serviços prestados por laboratórios, dos produtos finais saídos das fábricas e até mesmo classificações legais mais precisas.

Dentro da área da metrologia mecânica, há inúmeros exemplos de aplicação da incerteza de medição na área da metrologia mecânica, dentre os quais são citados por Link (2000):

2.3.1 Calibração de Haste para Ajuste de Micrômetro para Rosca



Figura 3 - Micrômetro de Rosca.
Fonte: Mitutoyo, 2005, p.28.

O exemplo da figura 3 mostra uma aplicação de calibração de instrumento para medições dimensionais. Os principais fatores a serem levados em conta no momento da calibração para a determinação da incerteza são:

- indicação do padrão;
- resolução da máquina de calibração;
- correção relacionada ao afastamento da temperatura de referência (20°C);
- correção devido à diferença de temperatura entre padrão e mensurando;
- correção devido à inclinação da haste (erro de cosseno)
- correção devido ao erro de ângulo do filete;
- correção devido à zeragem;
- desvio-padrão das medições lineares;
- desvio padrão das medições angulares.

2.3.2 Calibração da Capacidade Volumétrica de Vidraria

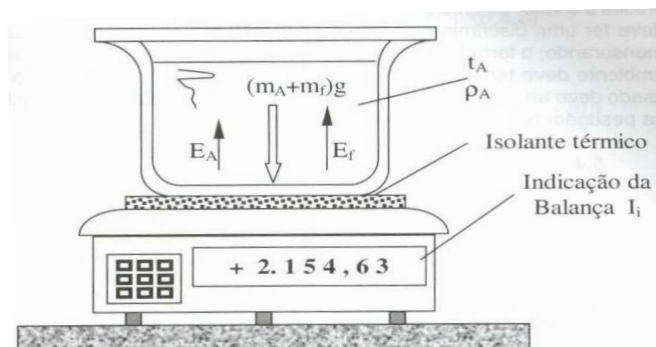


Figura 4 – Medição de Volume de Vidraria.
Fonte: Link, 2000, p.65.

Este exemplo representado na figura 4 aborda um exemplo de calibração de equipamento para medições de fluidos. Os fatores considerados para a expressão da incerteza de medição são:

- a indicação da balança;
- a densidade da água;
- a densidade do ar;
- a densidade do peso utilizado na calibração da balança;
- a variação do volume do frasco na calibração;
- a variação da temperatura da água;
- a correção aplicada na determinação do volume do frasco;
- a resolução da balança;
- a resolução do recipiente;
- o efeito do menisco durante a calibração;
- o efeito da pressão barométrica e da temperatura ambiente sobre o volume do mensurando;
- a dispersão nas medidas de pesagem da água quanto da tara da balança.

2.3.3 Calibração de Massas

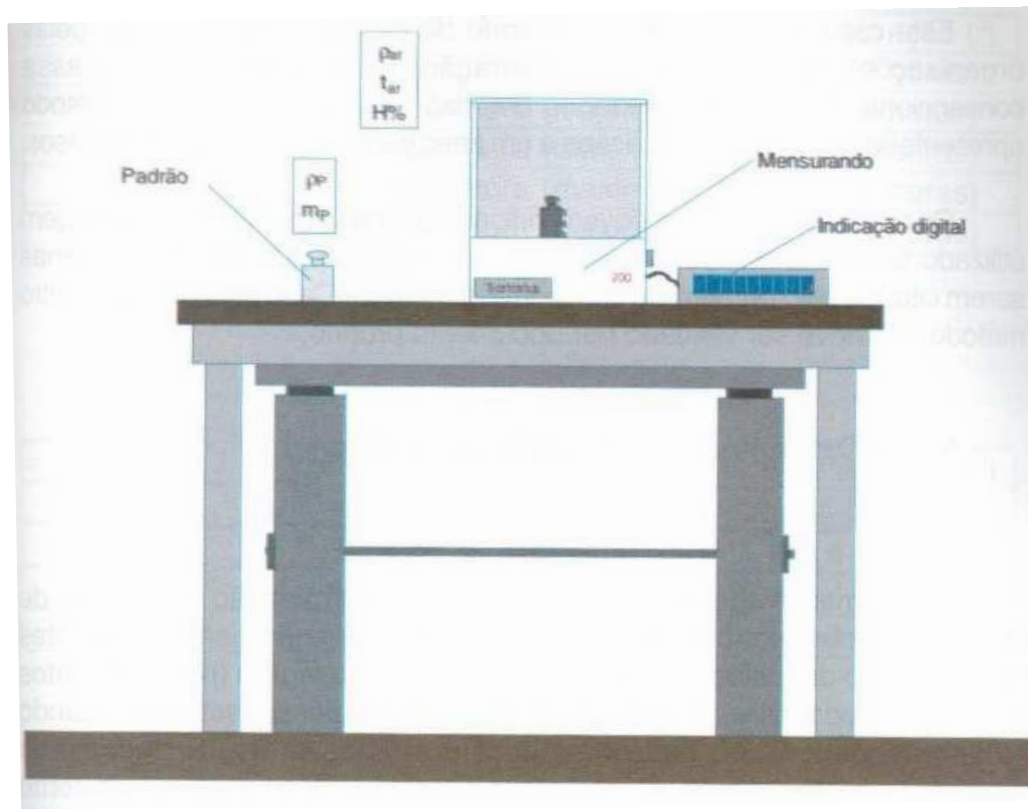


Figura 5 – Medição de Massas.
Fonte: Link, 2000, p.151.

Este exemplo da figura 5 aborda a calibração de um instrumento empregado na medição de massas. Para o cálculo da incerteza, os principais fatores levados em conta são:

- o desvio padrão do processo de pesagem (Tipo A);
- a incerteza declarada do peso padrão (via certificado);
- a instabilidade do padrão (variação da massa entre calibrações ou ao longo do tempo);
- a correção do empuxo;
- a sensibilidade da balança;

- a resolução da balança;
- o efeito de carregamento excêntrico;
- a susceptibilidade magnética da balança.

2.3.4 Balança de Pressão

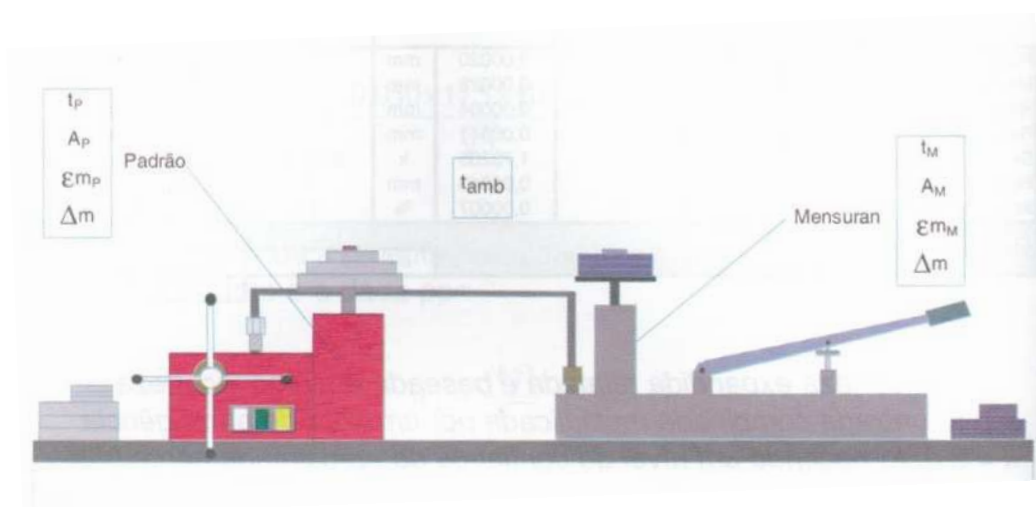


Figura 6 – Balança de Pressão.
Fonte: Link, 2000, p.186.

O instrumento demonstrado na figura 6 é aplicado nas medições de pressão, é formado por um conjunto pistão – um cilindro de área, na seção transversal, conhecida onde a força devido à pressão é equilibrada pelas forças gravitacionais geradas por massas conhecidas agindo sobre o componente móvel, que normalmente é o pistão. Os principais fatores levados em conta para a expressão da incerteza de medição são:

- a pressão gerada pelo padrão (via certificado);
- a densidade do mensurando;
- a densidade do ar;
- o coeficiente de expansão linear do mensurando;

- a diferença entre as temperaturas do mensurando e do padrão;
- a diferença entre a temperatura do conjunto e a do ambiente;
- a deformação das massas com o efeito da pressão (efeito Bulk);
- a massa do mensurando;
- a área do mensurando;
- a resolução do padrão;
- a estabilidade temporal do padrão;
- a variação da área com a pressão;
- a histerese (tensão superficial ou efeito viscoso);
- o erro de zero (ou variação da posição de referência).
- efeito do empuxo de óleo no pistão.

2.4 Métodos Específicos para Cálculo de Incerteza de Medição

A definição do guia para a expressão de incerteza de medição (GUM) ajudou a difundir os conceitos necessários para definição da incerteza presente nas medições. Porém devido à abrangência mais geral do documento, faltam ainda em alguns casos procedimentos mais específicos para o cálculo da incerteza de medição; principalmente em áreas mais voltadas para a indústria, onde um procedimento mais específico pode garantir processos mais rápidos e menos custosos.

Um exemplo pode ser descrito no estudo de caso sobre a importância da avaliação das incertezas de medição na medição de volumes de petróleo e gás natural (DA SILVA FILHO, et al, 2010).

Neste estudo é utilizada a portaria nº1 de 19 de junho de 2000, feita pelo INMETRO em conjunto com a Agência Nacional do Petróleo (ANP), onde os sistemas de medição fiscal de gás natural devem ser projetados, instalados e calibrados de forma a resultar numa incerteza de medição de $\pm 1,5\%$. Para sistemas de medição para apropriação e para controle operacional, as incertezas resultantes devem ter valores finais em $\pm 2,0\%$ e $\pm 3,0\%$ respectivamente.

Esta mesma portaria também orienta quanto à medição e calibração de cilindros verticais para armazenamento e medição fiscal do óleo vendido no Brasil, podendo a medição ser com todo o volume de óleo contido ou a parte transferida do mesmo. O valor resultante diminui conforme o aumento do volume no tanque e fica entre $\pm 0,54\%$ na medição de nível mais baixa até $\pm 0,19\%$ com o mesmo cheio.

Ainda esta mesma portaria traz orientações quanto a medições de petróleo em linha por meio de medidores de vazão. A norma determina que os sistemas de medição fiscal devam ser projetados, instalados e calibrados para operar dentro da classe de exatidão 0.3, conforme norma OIML R117 (atual portaria do INMETRO 64/2003). Em medições de apropriação da produção, os medidores em linha devem ser projetados, instalados e calibrados de maneira a obter uma classe de exatidão 1.0. A norma OIML R117 estabelece os erros máximos admissíveis de acordo com a figura 7.

	<i>Classes de Exatidão</i>				
	<u>0.3</u>	0.5	<u>1.0</u>	1.5	2.5
A	$\pm 0.3 \%$	$\pm 0.5 \%$	$\pm 1.0 \%$	$\pm 1.5 \%$	$\pm 2.5 \%$
B	$\pm 0.2 \%$	$\pm 0.3 \%$	$\pm 0.6 \%$	$\pm 1.0 \%$	$\pm 1.5 \%$

Figura 7 – Tabela de Classes de Exatidão.

Fonte: DA SILVA FILHO, et al, 2010, p.10.

A incerteza expandida relatada é resultado da incerteza padrão combinada da vazão volumétrica de petróleo multiplicado por um fator de abrangência constante. A distribuição é considerada regular e o nível de confiabilidade é de 95%. A incerteza resultante fica em torno de $\pm 0,20\%$.

A definição de normativas específicas não se restringe somente a indústria, mesmo para procedimentos mais simples de metrologia dimensional em laboratórios, alguns órgãos desenvolveram documentos-padrão que auxiliam principalmente na definição dos fatores de incerteza de medição e dos métodos matemáticos necessários, além de garantir uma uniformidade no método de trabalho, além de ser a base necessária para o credenciamento de um laboratório frente a órgãos oficiais. Exemplo disso são os documentos para orientação sobre a declaração da incerteza de medição, que foram feitos pela Rede Metrológica do Rio Grande do Sul. Tratam-se dos seguintes documentos: o RM 53 e o RM 55.

A RM 53: Orientações Sobre Declaração de Incerteza de Medição em Metrologia Dimensional é uma normativa para o cálculo da incerteza de medição dimensional baseado na versão brasileira do documento de referência EA4-02 – Expressão da Incerteza de Medição na Calibração (janeiro de 1999). Tal documento é aplicado nas seguintes calibrações:

- calibração de micrômetros externos através da medição de erro de indicação com blocos-padrão de faces planas e paralelas;
- calibração de micrômetros externos através da medição de planeza e paralelismo por meio de planos óticos e paralelos óticos;
- calibração de micrômetros externos através da medição de paralelismo utilizando blocos-padrão de faces planas e paralelas;
- calibração de relógios comparadores através da medição das forças presentes no processo;
- calibração de paquímetros universais através do erro de indicação do medidor externo com blocos-padrão de faces planas e paralelas;
- calibração de paquímetros universais através da medição do erro de indicação interno utilizando um calibrador-anel liso cilíndrico;
- calibração de haste padrão para micrômetros externos através da determinação da constante do apalpador do equipamento de medição tridimensional;
- calibração de haste padrão para micrômetros externos através da medição do comprimento da haste com um equipamento de medição tridimensional;

- calibração de trenas de fita metálica através da medição do erro de indicação com régua de referência e lupa graduada;
- calibração de comparadores diâmetro interno através da medição do erro de indicação e do erro adjacente;
- calibração de calibradores traçadores de altura através do erro de indicação com blocos-padrão de faces planas e paralelas.

A RM 55: Orientações Sobre Declaração da Incerteza de Medição na Área de Torque é uma documento que tem como referência a versão brasileira da norma EA4-02 - Expressão da Incerteza de Medição na Calibração, além da norma EA10-14 – *EA Guidelines on the Calibration of Static Torque Measuring Devices*. Tal documento é aplicado na calibração de torquímetros (torque estático) e calibradores de torquímetros.

2.5 Ferramentas Computacionais para os Cálculos

O advento das ferramentas de informática ajudou muito no crescimento e melhoria da qualidade de atividades de planejamento, manufatura e serviços prestados. E com a maior divulgação e exigência da expressão da incerteza de medição nos meios laboratoriais, industriais e até acadêmicos surgiu a necessidade de criar recursos computacionais de maneira a facilitar e agilizar a expressão da incerteza de medição. A seguir podemos ver alguns exemplos de aplicativos voltados exclusivamente para a expressão de incertezas de medição.

Desenvolvido pela Integrated Science Group o *Uncertainty Sidekick* (Figura 8) é um aplicativo voltado para o cálculo e análise de incerteza de medição, baseado no guia da ISO para análise de medição (ISO-GUM). O *software* também possui recursos que permitem o desenvolvimento de estimativas para cenários de incerteza de medição direta, identificando as fontes de erros, além de registro de todas as análises feitas. Porém para análises de incertezas do Tipo B, o aplicativo é mais restritivo para o cálculo dos graus de liberdade.

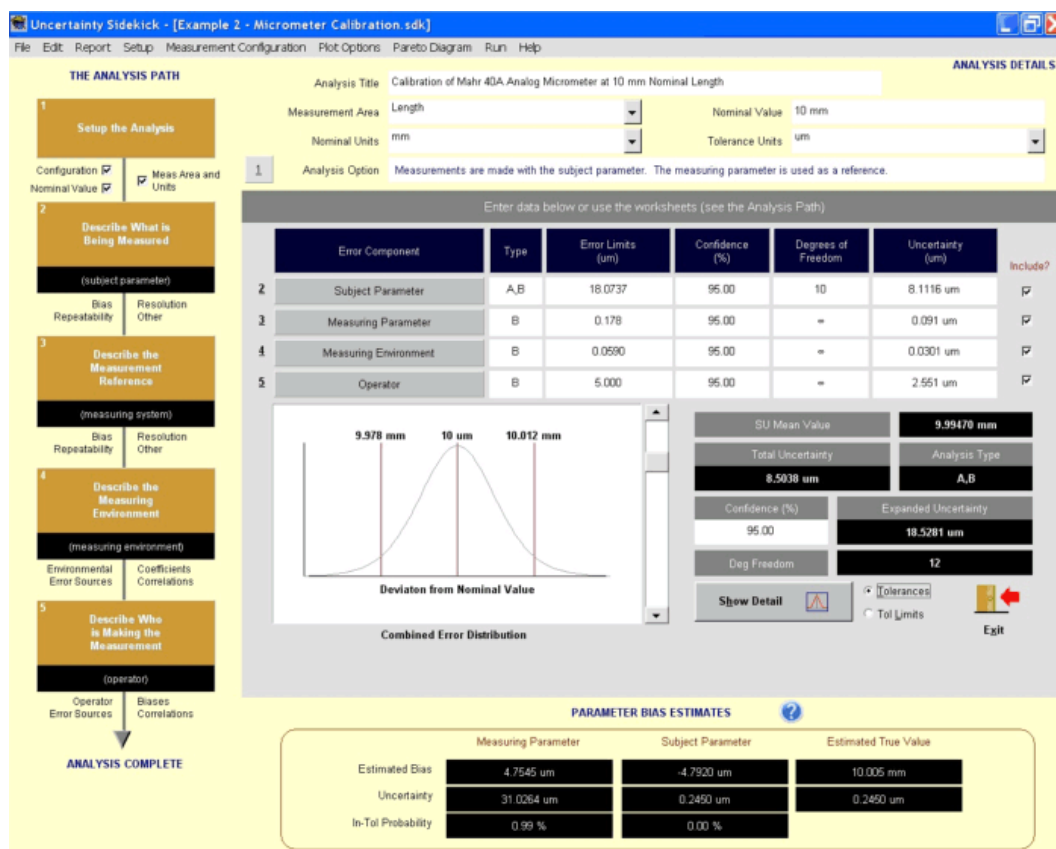


Figura 8 - Uncertainty Sidekick
Fonte: Integrated Science Group, 2009.

Para isso a própria ISG desenvolveu o aplicativo *Type B Uncertainty Calculator* voltado para o cálculo das incertezas de medição do tipo B. Funciona através da aplicação e organização de todo o conhecimento obtido *a priori* no programa de maneira a obter os resultados mais diretos e precisos possíveis. O aplicativo permite estimar a incerteza de medição presente em medição de qualquer natureza, sejam elas dimensionais, térmicas, elétricas ou químicas, além de estimar as incertezas de tipo A e B e combiná-las. Além disso é possível colocar como componentes causadores de incerteza o erro de tendência, a resolução do instrumento, operador, condições ambientais e repetitividade do instrumento. Tal programa foi feito com base na norma ISO 17025 e na ANSI/NCSL Z540.3.

Outro programa também desenvolvido é o *UncertaintyAnalyzer* (Figura 9), desenvolvido com a finalidade de tornar todos os procedimentos para o cálculo de incerteza de medição muito mais rápidos e eficientes. Sua aplicação é voltada principalmente para as áreas de testes em indústrias, pesquisadores e técnicos em geral. Tal programa possui recursos exclusivos como uma interface gráfica para o desenvolvimento dos diagramas do sistema de medição, além da definição pelo usuário dos tipos de erros a serem considerados para cálculo de incerteza. Também se baseia na norma ISO 17025 e na ANSI/NCSL Z540.3.

The screenshot displays the 'Main Screen - SU Model' interface for a 'Class Example 2 - Micrometer Calibration.unc'. The software is configured for a '10 mm Micrometer Reading' using a 'Mahr' model '40A' micrometer. The analysis includes several error sources, with the 'SMPC Bias Uncertainty' being the most significant, contributing 2.631 μm to the total uncertainty at a 95.00% confidence level. The total uncertainty is 5.156 μm, resulting in an in-tolerance probability of 87.16%.

Error Source	Type	Std Uncertainty (μm)	Confidence Level (%)	+ Error Limits (μm)	Degrees of Freedom	Include in Total
Subject Parameter Bias		2.779	85.00	4.000	-	..
Measuring Parameter Bias	B	0.060	99.00	0.154	-	✓
Subject Parameter Random	A	7.662	95.00	18.117	7	✓
Meas. Parameter Random						..
Subject Parameter Resolution	B	2.551	95.00	5.000	-	✓
Meas. Parameter Resolution						..
Operator Bias	B	1.276	95.00	2.500	-	✓
Digital Sampling						..
Computation						..
Environmental Factors	B	0.060	95.00	0.118	-	✓
Stress Response						..
User Defined						..
SMPC Bias Uncertainty	A,B	2.631	95.00	5.156	9	Exit

Subject Parameter Uncertainty Growth

Time from Measurement	Std Uncertainty (μm)	Confidence Level (%)	+ Error Limits (μm)
0	2.631	95.00	5.156

In-Tolerance Probability: 87.16 % (Adjusted)

Calibration Interval: [] Tolerance Reference: SU Tolerances SMPC Bias Uncertainty

Figura 9 - Uncertainty Analyzer
Fonte: Integrated Science Group, 2010.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Desenvolvimento de Procedimentos para Expressão da Incerteza em Sistemas de Medição

Para a execução deste trabalho foi necessário levantar todas as informações referentes ao estado da arte das incertezas de medição. Desde livros, apostilas, normas técnicas, no intuito de adquirir todo o conhecimento necessário para a estruturação das próximas atividades, que consistem nas medições, no desenvolvimento de procedimentos de calibração e também a aplicação destes dados no Uncertainty Sidekick e na planilha em Excel desenvolvida.

3.1.1 Procedimentos de Medição para Sistemas de Medição de Espessura Mecânicos

Para a realização das medições dos sistemas de medição mecânicos foram feitos dentro do laboratório de medições em ambiente controlado a 20,3°C a umidade de 47,3%. Foram utilizados um paquímetro analógico, um paquímetro como mostrador digital e um micrômetro.

O Paquímetro analógico (idêntico ao mostrado na figura 10) foi feito pela Tesa para alcance de até 200mm, série 30/337 com resolução de nônio de 0,02mm



Figura 10 – Paquímetro Analógico.
Fonte: Do Autor.

O paquímetro digital (figura 11) empregado foi fabricado pela Mitutoyo, modelo Digimatic CD – 6’’B com alcance até 150mm, resolução do display de 0,01mm, série 030/354, código 500-133, número de série 0043057.



Figura 11 – Paquímetro Digital.
Fonte: Mitutoyo, 2005.

O micrômetro empregado é da Mitutoyo com número de série 6607 4305 com alcance de 25mm e resolução de 0,01mm (figura 12).



Figura 12 – Micrômetro.
Fonte: Mitutoyo, 2005.

Dentre os blocos-padrão utilizados para as medições foram utilizados dois tipos de blocos. Um conjunto retangular para medições lineares e outro circular para medições de diâmetro interno (figura 13).

Os blocos retangulares são da Cary Le Loche Suisse, jogo 880 extra, N° 497.880. Os blocos circulares empregados são o Tesa JJ 1995 (diâmetro nominal interno de 8,000mm), Tesa 11709 (diâmetro nominal de 17,001mm) e Tesa GI349 (diâmetro nominal de 24,996mm).



Figura 13 – Blocos de Medição.
Fonte: Solo Stocks, 2011.

As incertezas presentes nos blocos padrão são as seguintes:

0-10mm: $\pm 0,08\mu\text{m}$

10-25mm: $\pm 0,10\mu\text{m}$

25-50mm: $\pm 0,12\mu\text{m}$

50-75mm: $\pm 0,15\mu\text{m}$

75-100mm: $\pm 0,18\mu\text{m}$

Para a realização das medições lineares com os paquímetros foram feitas com blocos de 3mm, 6mm, 20mm, 30mm, 60mm e 90mm, seis séries de três medições, sendo uma próxima ao topo do bloco, outra no meio e outra próxima à base, totalizando dezoito medições.

Para o micrômetro foram feitas medições com blocos de 3mm, 6mm e 20mm duas séries com três medições semelhantes às aplicadas ao paquímetro totalizando seis medições

As medições de circunferência foram feitas nos blocos de 8,000mm, 17,001mm e 24,996mm quatro medições cada, tanto no paquímetro analógico como no digital.

Depois de realizadas as medições, os números foram repassados tanto na planilha Excel, como no Sidekick, além do desenvolvimento de um procedimento de calibração, bem como um certificado de calibração para as séries de medições.

3.2 Procedimentos de Medição para Sistemas de Medição de Espessura por Ultrassom

A realização das medições por ultrassom foi feita num ambiente a 19,0°C com umidade relativa no ar de 51,1%. O aparelho utilizado foi o Parametrics MG2-XT da Olympus em conjunto com um transdutor Parametrics-NDT-D790-SM de 5MHz (figura 14).

Este equipamento foi desenvolvido para inspetores e engenheiros de manutenção visando principalmente à facilidade e a rapidez de operação para a medição de superfícies corroídas. O aparelho oferece recursos como identificação de valores de espessuras mínimo a cada série de vinte medições por segundo, modo de congelamento de tela para identificar valores críticos, ajuste de compensação de zero, ajuste de ganho e alarme de máximos e mínimos.



Figura 14 – Equipamento Panametrics MG2-DT.
Fonte: Do Autor.

Os blocos padrão utilizados para as medições são da Aus Gera modelo S3 TGL 12015/0, série 30204. São blocos considerados classe zero e possuem uma incerteza padrão de $\pm 0,12\mu\text{m}$ (conforme figura 15).



Figura 15 – Blocos-Padrão.
Fonte: Do Autor.

Como referência para o procedimento de medição foi tomado como base a norma da Petrobras E-QP-ECD-046 referente a procedimentos de medição de espessura pela técnica de ultrassom. Esta norma abrange desde os aparelhos, procedimentos e outros requisitos necessários.

Inicialmente foi feita a calibração do instrumento com um padrão de 5mm a fim de efetuar o ajuste do zero. Após o procedimento de calibração inicial foram feitos dois tipos de medição: um onde a velocidade era considerada desconhecida e outro com uma velocidade conhecida e pré-estabelecida.

Para análises com velocidades desconhecidas, o padrão deve ser próximo ao valor do bloco de medição com maior espessura. Foram feitas cinco medições com blocos de 4,0, 4,5, 5,0, 5,5 e 6,0mm. A velocidade durante as medições era de 5895mm/ μ s.

A análise com velocidade conhecida foi configurada manualmente uma velocidade padrão de 5910mm/ μ s e foram feitas cinco medições em blocos de 1,0, 2,0, 5,0, 10,0, 20,0 e 50,0mm.

Os dados foram repassados para as planilhas do Uncertainty Sidekick e do Excel para cálculo da incerteza de medição.

3.3 Recursos Empregados para a Expressão da Incerteza de Medição

Dentre os recursos utilizados para o cálculo da incerteza presente nas medições foram utilizados dois aplicativos: o *freeware* Uncertainty Sidekick versão 1.0 em versão demo, além de uma planilha em Excel com todas as fórmulas desenvolvidas.

Em primeiro lugar, foi feito um teste a partir de uma análise pronta extraída do livro Fundamentos da Metrologia Científica e Industrial de Armando Albertazzi, para a validação das fórmulas. Também foi aplicada esta análise no Uncertainty Sidekick e os resultados mostraram alguma proximidade.

O próximo passo foi necessário identificar os principais fontes de incerteza de medição e duas normas foram utilizadas como base. A norma RM 53 da Rede Metrológica

Gaúcha, que foi utilizada para a identificação das fontes de incerteza presentes em medições lineares. Para as medidas com o ultrassom foram utilizados as fontes mencionadas no documento da SAC/Singlas NDT 001.

No quadro 1 e no anexo A, estão descritos os principais componentes de incertezas a serem mencionados em medições de lineares de micrômetros e paquímetros, além das medições de diâmetro em paquímetros.

Componentes de incerteza a serem considerados na calibração de equipamentos de medição por ultrassom	
Valores obtidos de SAC-SINGLAS	
Fontes de incertezas	Valores
Calibração do Bloco	Conforme RM 53
Aparelho de medição de espessura: Linearidade do tempo base	± 0.05 mm
Aparelho de medição de espessura: Comportamento do display	Conforme RM 53
Aparelho de medição de espessura: ajuste do zero	± 0.01 mm
Variação da temperatura a 20°C	Conforme RM 53
Desvio-padrão da amostra	Conforme RM 53

**Quadro 1 – Relação de componentes considerados na medição por Ultrassom.
Fonte: Do Autor**

No caso da análise por ultrassom (conforme quadro acima), somente os valores de ajuste de zero e de linearidade no tempo-base foram considerados como herdados, para que seja possível encontrar valores menores de incerteza de medição.

3.4 Recursos Complementares

Após a concepção das planilhas, foi também elaborado um certificado de calibração para as medições com os paquímetros analógico e digital, tanto em medições lineares como em medições de diâmetro interno, além das medições em micrômetro e no aparelho de medição por ultrassom.

Também foi padronizado para futuras medições um procedimento de calibração para paquímetros, micrômetros e equipamentos de medição por ultrassom. Este procedimento foi criado em cima das normas Bosch WP/QSG61 – 0060 e WP/QSG61 – 0065 e da Petrobras E-QP-ECD-046, que tratam dos procedimentos de calibração para paquímetros, micrômetros e equipamentos de medição por ultrassom respectivamente (ver Apêndice B).

Além disso foi criado um certificado de calibração para cada um dos instrumentos desenvolvidos, além de um modelo em branco para utilizações futuras (ver Apêndice C).

4 RESULTADOS E COMENTÁRIOS

4.1 A Criação das Planilhas em Excel

A criação em Excel de uma planilha que possa calcular as incertezas de medição veio logo no desenvolvimento das atividades, com a finalidade de aplicar o conhecimento teórico de uma forma mais prática. A criação deste aplicativo pelo Excel se mostrou vantajosa, pois abriu-se a possibilidade de criar uma ferramenta de melhor compreensão que o Uncertainty Sidekick.

Um dos maiores desafios, não foi apenas criar e aplicar as fórmulas necessárias para as medições em questão, mas criar toda uma série de condicionais para que as planilhas atendam a todas as condições futuras possíveis, aumentando assim a confiabilidade do sistema.

4.2 Análise dos Resultados

A seguir nos gráficos e tabelas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7 estão as incertezas e cada análise de medição dos instrumentos avaliados:

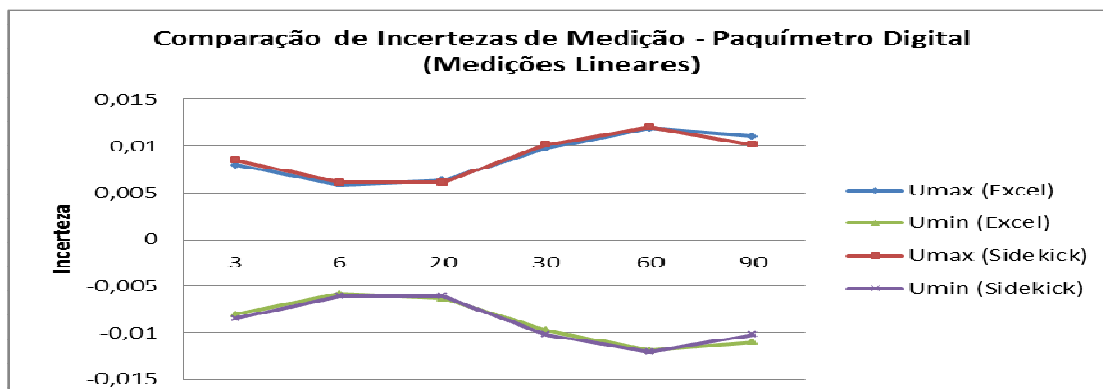


Gráfico 1 – Comparação de Incertezas de Medição – Paquímetro Digital (Medições Lineares).
Fonte: Do Autor

Tabela 1 – Comparação de Incertezas de Medição – Paquímetro Digital (Medições Lineares)

Valores Nominais	3	6	20	30	60	90
Umax (Excel)	0,008006903	0,005880691	0,006340952	0,009744879	0,011908469	0,011055215
Umin (Excel)	-0,008006903	-0,005880691	-0,006340952	-0,009744879	-0,011908469	-0,011055215
Umax (Sidekick)	0,008495544	0,006115797	0,006116092	0,01019292	0,01204871	0,010193864
Umin (Sidekick)	-0,008495544	-0,006115797	-0,006116092	-0,01019292	-0,01204871	-0,010193864
Diferença	-6,10%	-4,00%	3,55%	-4,60%	-1,18%	7,79%

Fonte: Do Autor.

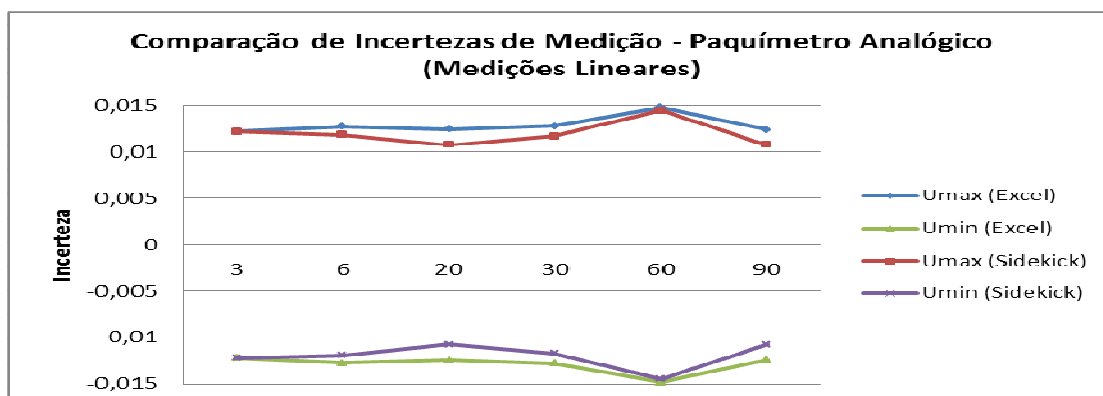


Gráfico 2 – Comparação de Incertezas de Medição – Paquímetro Analógico (Medições Lineares).

Fonte: Do Autor.

Tabela 2 – Comparação de Incertezas de Medição – Paquímetro Analógico (Medições Lineares)

Valor Nominal	3	6	20	30	60	90
Umax (Excel)	0,012232904	0,012776288	0,012461863	0,012790109	0,014803607	0,012395233
Umin (Excel)	-0,012232904	-0,012776288	-0,012461863	-0,012790109	-0,014803607	-0,012395233
Umax (Sidekick)	0,012230805	0,011895443	0,01078588	0,011722825	0,01447104	0,010786904
Umin (Sidekick)	-0,012230805	-0,011895443	-0,01078588	-0,011722825	-0,01447104	-0,010786904
Diferença	0,02%	6,89%	13,45%	8,34%	2,25%	12,98%

Fonte: Do Autor.

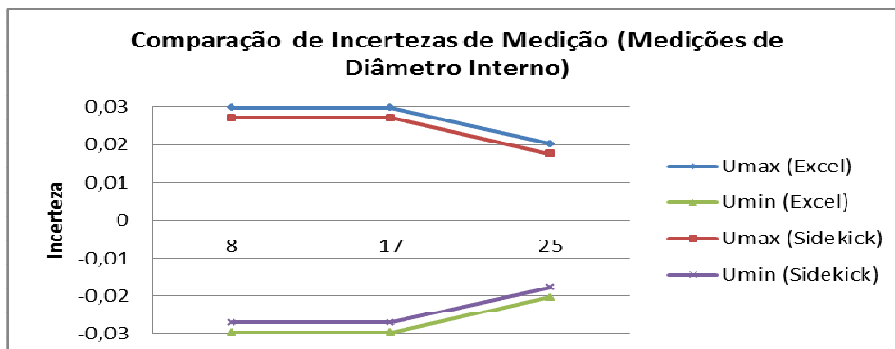


Gráfico 3 – Comparação de Incertezas de Medição – Paquímetro Digital (Medições de Diâmetro Interno).

Fonte: Do Autor.

Tabela 3 – Comparação de Incertezas de Medição – Paquímetro Digital (Medições de Diâmetro Interno)

Valores Nominais	8	17	25
Umax (Excel)	0,029807791	0,029808432	0,020291091
Umin (Excel)	-0,029807791	-0,029808432	-0,020291091
Umax (Sidekick)	0,027119955	0,027120092	0,017636329
Umin (Sidekick)	-0,027119955	-0,027120092	-0,017636329
Diferença	9,02%	9,02%	13,08%

Fonte: Do Autor.

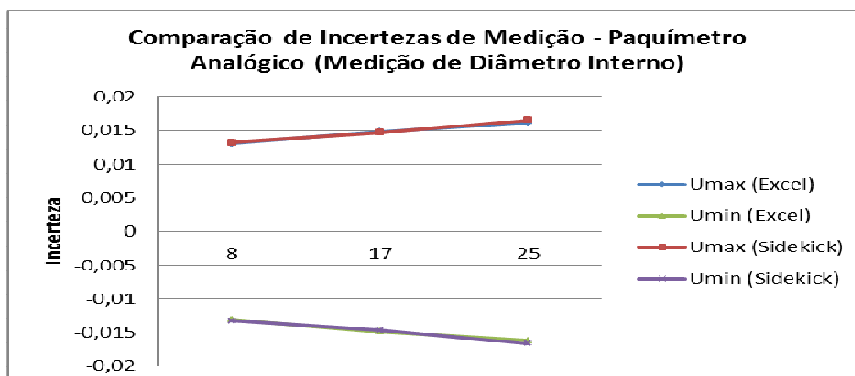


Gráfico 4 – Comparação de Incertezas de Medição – Paquímetro Analógico (Medições de Diâmetro Interno).

Fonte: Do Autor.

Tabela 4 – Comparação de Incertezas de Medição – Paquímetro Analógico (Medições de Diâmetro Interno)

Valor Nominal	8	17	25
Umax (Excel)	0,013129054	0,014828506	0,016117783
Umin (Excel)	-0,013129054	-0,014828506	-0,016117783
Umax (Sidekick)	0,013264179	0,014679849	0,01656609
Umin (Sidekick)	-0,013264179	-0,014679849	-0,01656609
Diferença	-1,03%	1,00%	-2,78%

Fonte: Do Autor.

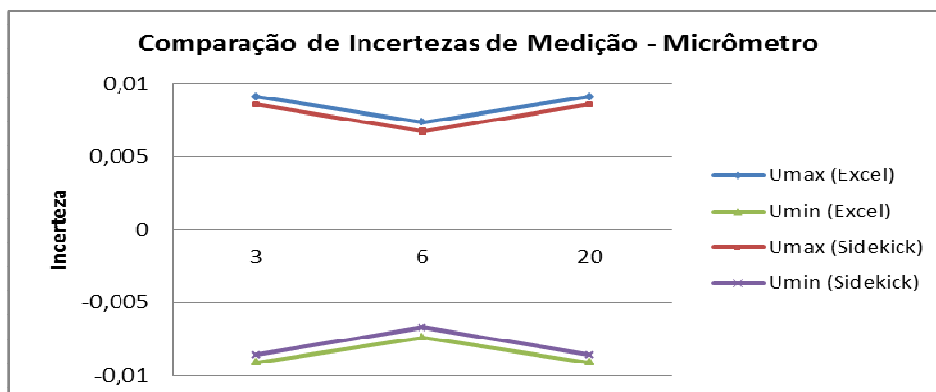


Gráfico 5 – Comparação de Incertezas de Medição – Micrômetro.
Fonte: Do Autor.

Tabela 5 – Comparação de Incertezas de Medição – Micrômetro

Valores Nominais	3	6	20
Umax (Excel)	0,009100474	0,007374421	0,009101857
Umin (Excel)	-0,009100474	-0,007374421	-0,009101857
Umax (Sidekick)	0,008573338	0,006723586	0,008573591
Umin (Sidekick)	-0,008573338	-0,006723586	-0,008573591
Diferença	5,79%	8,83%	5,80%

Fonte: Do Autor.

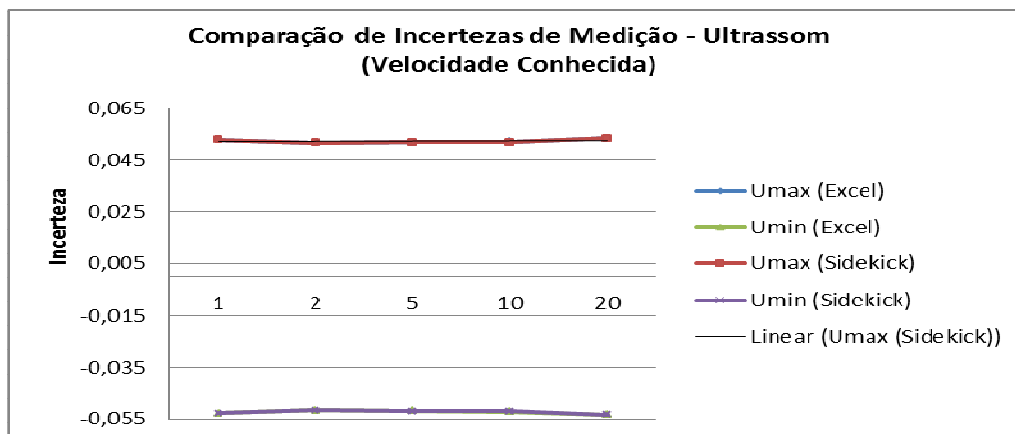


Gráfico 6 – Comparação de Incertezas de Medição – Ultrassom (Velocidade Conhecida).
Fonte: Do Autor.

Tabela 6 – Comparação de Incertezas de Medição – Ultrassom (Velocidade Conhecida)

Valores Nominais	1	2	5	10	20
Umax (Excel)	0,052744874	0,05170803	0,051865937	0,052103987	0,053312334
Umin (Excel)	-0,052744874	-0,05170803	-0,051865937	-0,052103987	-0,053312334
Umax (Sidekick)	0,052744847	0,051665719	0,051935986	0,051935986	0,053271447
Umin (Sidekick)	-0,052744847	-0,051665719	-0,051935986	-0,051935986	-0,053271447
Diferença	0,00%	0,08%	-0,14%	0,32%	0,08%

Fonte: Do Autor.

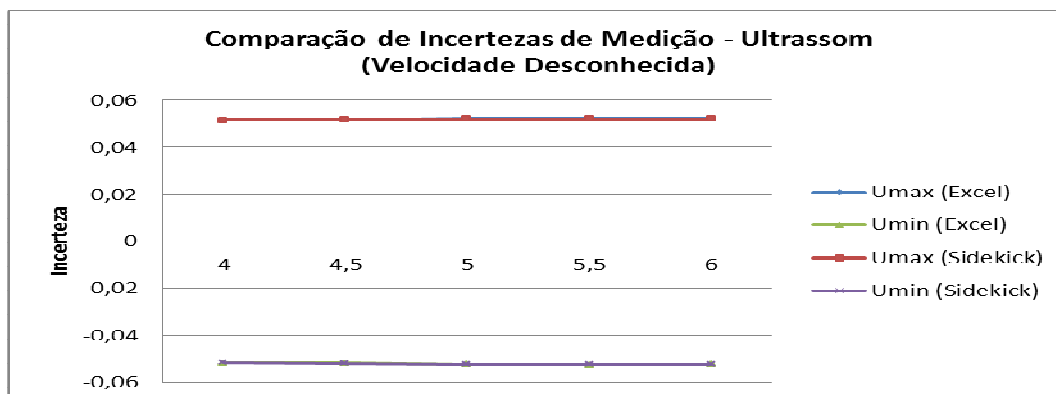


Gráfico 7 – Comparação de Incertezas de Medição – Ultrassom (Velocidade Desconhecida).
Fonte: Do Autor.

Tabela 7 – Comparação de Incertezas de Medição – Ultrassom (Velocidade Desconhecida)

Valores Nominais	4	4,5	5	5,5	6
Umax (Excel)	0,051708031	0,051865937	0,052343269	0,052503519	0,05234327
Umin (Excel)	-0,051708031	-0,051865937	-0,052343269	-0,052503519	-0,05234327
Umax (Sidekick)	0,051665719	0,051935986	0,052303299	0,052303299	0,052303299
Umin (Sidekick)	-0,051665719	-0,051935986	-0,052303299	-0,052303299	-0,052303299
Diferença	0,08%	-0,14%	0,08%	0,38%	0,08%

Fonte: Do Autor.

Numa primeira análise dos gráficos de erros é possível verificar dois comportamentos muito distintos entre os aparelhos de medição convencionais e o aparelho de ultrassom: enquanto era possível constatar uma variância muito maior nos sistemas lineares, com a vantagem de menores valores de incerteza de medição, com o aparelho de medição por ultrassom constatou-se muito pouca variância, entretanto, com um maior valor final de incerteza de medição.

Simultaneamente foram inseridos nos gráficos tanto os valores de incerteza calculada na planilha em Excel quanto no Sidekick e, nos equipamentos de medição lineares foi possível encontrar diferenças entre 0% e até 13%, indiferentemente se o valor encontrado pelo Sidekick era menor ou não, que o calculado pelo Excel. Trata-se de variações consideráveis que não foram vistas nas medições no equipamento de Ultrassom.

Para compreender o que causou tais diferenças é necessário avaliar o número de graus de liberdade efetivos de cada série de medições, conforme tabelas 8, 9, 10, 11, 12, 13 e 14:

Tabela 8 – Avaliação de Graus de Liberdade – Paquímetro Digital (Medições Lineares)

Valores Nominais	3	6	20	30	60	90
Graus de Lib. (Excel)	79,26584755	13334,21592	610,6518462	43,23683117	30,82403765	34,44841264
Graus de Lib. (Skick)	63	1482	1481	39	30	39
Diferença	20,52%	88,89%	-142,53%	9,80%	2,67%	-13,21%

Fonte: Do Autor.

Tabela 9 – Avaliação de Graus de Liberdade – Paquímetro Analógico (Medições Lineares)

Valor Nominal	3	6	20	30	60	90
Graus de Lib. (Excel)	1472,897695	529,0969245	882,265822	520,8598434	119,156194	1046,530165
Graus de Lib. (Skick)	1481	258	894	243	68	895
Diferença	-0,55%	51,24%	-1,33%	53,35%	42,93%	14,48%

Fonte: Do Autor.

Tabela 10 – Avaliação de Graus de Liberdade – Paquímetro Digital (Medições de Diâmetro Interno)

Valores Nominais	8	17	25
Graus de Lib. (Excel)	3,725112311	3,725432663	4,321677133
Graus de Lib. (Skick)	4	4	5
Diferença	-7,38%	-7,37%	-15,70%

Fonte: Do Autor.

Tabela 11 – Avaliação de Graus de Liberdade – Paquímetro Analógico (Medições de Diâmetro Interno)

Valor Nominal	8	17	25
Graus de Lib. (Excel)	75,00841617	27,00629833	18,08061737
Graus de Lib. (Skick)	66	29	16
Diferença	12,01%	-7,38%	11,51%

Fonte: Do Autor.

Tabela 12 – Avaliação de Graus de Liberdade – Micrômetro

Valores Nominais	3	6	20
Graus de Lib. (Excel)	17,71965884	41,34116049	17,7304386
Graus de Lib. (Skick)	14	35	14
Diferença	20,99%	15,34%	21,04%

Fonte: Do Autor.

Tabela 13 – Avaliação de Graus de Liberdade – Ultrassom (Velocidade Conhecida)

Valores Nominais	1	2	5	10	20
Graus de Lib. (Excel)	1487,966054	17866,86361	9225,189947	4601,396837	802,7846533
Graus de Lib. (Skick)	1488	∞	∞	∞	834
Diferença	0,00%	∞	∞	∞	-3,89%

Fonte: Do Autor.

Tabela 14 – Avaliação de Graus de Liberdade – Ultrassom (Velocidade Desconhecida)

Valores Nominais	4	4,5	5	5,5	6
Graus de Lib. (Excel)	17866,86447	9225,189773	2771,090808	2105,80016	2771,090927
Graus de Lib. (Skick)	∞	∞	2988	2988	2988
Diferença	∞	∞	-7,83%	-41,89%	-7,83%

Fonte: Do Autor.

Quando analisados os graus de liberdade, verifica-se que em medições feitas com instrumentos mais simples, a maior série de medições feitas com os paquímetros resultou em graus de liberdade significativamente maiores, uma vez que foi aplicada uma série de medições muito maior que nas medições de diâmetro e com o micrômetro (foram 18 medições lineares por série contra quatro medições de diâmetro e seis medições com o micrômetro).

Porém quando é feita a análise dos graus de liberdade obtidos com o equipamento de ultrassom, constatam-se graus de liberdade ainda mais elevados, e com apenas cinco medições por série, o que mostra que o número de medições realizadas não é o único fator que pode influenciar no número de graus de liberdade.

Neste caso, é importante voltar à equação 3 para o cálculo dos graus de liberdade efetivos:

$$\frac{\mu_G^4}{V_{ef}^4} = \frac{\mu_1^4}{V_1^4} + \frac{\mu_2^4}{V_2^4} + \dots + \frac{\mu_n^4}{V_n^4}$$

Equação 3 – Cálculo de Graus de Liberdade Efetivos.

Fonte: Albertazzi, 2008, p. 204.

Considerando que no caso das medições realizadas, todos os fatores do tipo B apresentam infinitos graus de liberdade, será analisado somente o único fator do tipo A, ou seja, o desvio padrão da amostra (equação 4).

$$\frac{\mu_C^4}{V_{ef}} = \frac{\mu_{dp}^4}{V_{dp}}$$

Equação 4 – Relação entre incerteza combinada, graus de liberdade efetivos com o desvio-padrão.

Fonte: Do autor.

Nestas condições, pode-se constatar que o número de graus de liberdade do Tipo A (que já é diretamente relacionado com o número de medições) contribui para um maior número de graus de liberdade efetivos, porém não é o único fator. A incerteza combinada também é diretamente relacionada com o número de graus de liberdade efetivos. Porém a incerteza padrão relacionada ao desvio-padrão da amostra é inversamente proporcional ao número de graus de liberdade efetivos.

Convém então ser feita a análise e comparação dos fatores do Tipo A, conforme as tabelas 15, 16, 17, 18, 19, 20 e 21:

Tabela 15 – Avaliação de Incerteza Tipo A – Paquímetro Digital (Medições Lineares)

Valores Nominais	3	6	20	30	60	90
Desvio Padrão	0,011375929	0,002357023	0,005483189	0,015893847	0,020863703	0,01893401
Tipo A Excel	0,002681332	0,000555556	0,0012924	0,003746216	0,004917622	0,004462789
Tipo A Sidekick	0,003	0,001	0,001	0,004	0,005	0,004
Diferença	-11,88%	-80,00%	22,62%	-6,77%	-1,68%	10,37%

Fonte: Do Autor.

Tabela 16 – Avaliação de Incerteza Tipo A – Paquímetro Analógico (Medições Lineares)

Valor Nominal	3	6	20	30	60	90
Desvio Padrão	0,008498366	0,011447522	0,009835244	0,011504475	0,019097274	0,009375953
Tipo A Excel	0,002003084	0,002698207	0,002318189	0,002711631	0,004501271	0,002209933
Tipo A Sidekick	0,002	0,003	0,002	0,003	0,005	0,002
Diferença	0,15%	-11,18%	13,73%	-10,63%	-11,08%	9,50%

Fonte: Do Autor.

Tabela 17 – Avaliação de Incerteza Tipo A – Paquímetro Digital (Medições de Diâmetro Interno)

Valores Nominais	8	17	25
Desvio Padrão	0,017078251	0,017078251	0,012909944
Tipo A Excel	0,008539126	0,008539126	0,006454972
Tipo A Sidekick	0,009	0,009	0,006
Diferença	-5,40%	-5,40%	7,05%

Fonte: Do Autor.

Tabela 18 – Avaliação de Incerteza Tipo A – Paquímetro Analógico (Medições de Diâmetro Interno)

Valor Nominal	8	17	25
Desvio Padrão	0,005773503	0,008164966	0,009574271
Tipo A Excel	0,002886751	0,004082483	0,004787136
Tipo A Sidekick	0,003	0,004	0,005
Diferença	-3,92%	2,02%	-4,45%

Fonte: Do Autor.

Tabela 19 – Avaliação de Incerteza Tipo A – Micrômetro

Valores Nominais	3	6	20
Desvio Padrão	0,007527727	0,005163978	0,007527727
Tipo A Excel	0,003073181	0,002108185	0,003073181
Tipo A Sidekick	0,003	0,002	0,003
Diferença	2,38%	5,13%	2,38%

Fonte: Do Autor.

Tabela 20 – Avaliação de Incerteza Tipo A – Ultrassom (Velocidade Conhecida)

Valores Nominais	1	2	5	10	20
Desvio Padrão	0,013416408	0,007071068	0,0083666	0,01	0,015811388
Tipo A Excel	0,006	0,003162278	0,003741657	0,004472136	0,007071068
Tipo A Sidekick	0,006	0,003	0,004	0,004	0,007
Diferença	0,00%	5,13%	-6,90%	10,56%	1,01%

Fonte: Do Autor.

Tabela 21 – Avaliação de Incerteza Tipo A – Ultrassom (Velocidade Desconhecida)

Valores Nominais	4	4,5	5	5,5	6
Desvio Padrão	0,007071068	0,0083666	0,011401754	0,012247449	0,011401754
Tipo A Excel	0,003162278	0,003741657	0,00509902	0,005477226	0,00509902
Tipo A Sidekick	0,003	0,004	0,005	0,005	0,005
Diferença	5,13%	-6,90%	1,94%	8,71%	1,94%

Fonte: Do Autor.

Fazendo a análise das incertezas do Tipo A é possível verificar valores de desvios-padrão numa faixa de 0,005 a 0,020mm, e incertezas-padrão entre valores de 0,001 a 0,009mm para todos os instrumentos avaliados. Outra ponto importante é a diferença entre os valores calculados entre o Excel e o Sidekick, uma vez que o *software* realiza arredondamentos após o cálculo da incerteza do Tipo A, o que contribui para gerar as diferenças nos valores finais de incertezas. Isto pode ser observado na figura 16 e quadro 2, que mostram na tela do Uncertainty Sidekick e da planilha em Excel, o resultado expresso da incerteza-padrão do Tipo A para a análise de medição feita no paquímetro digital para um padrão de 6mm, cujo resultado chegou a uma diferença superior a 80%

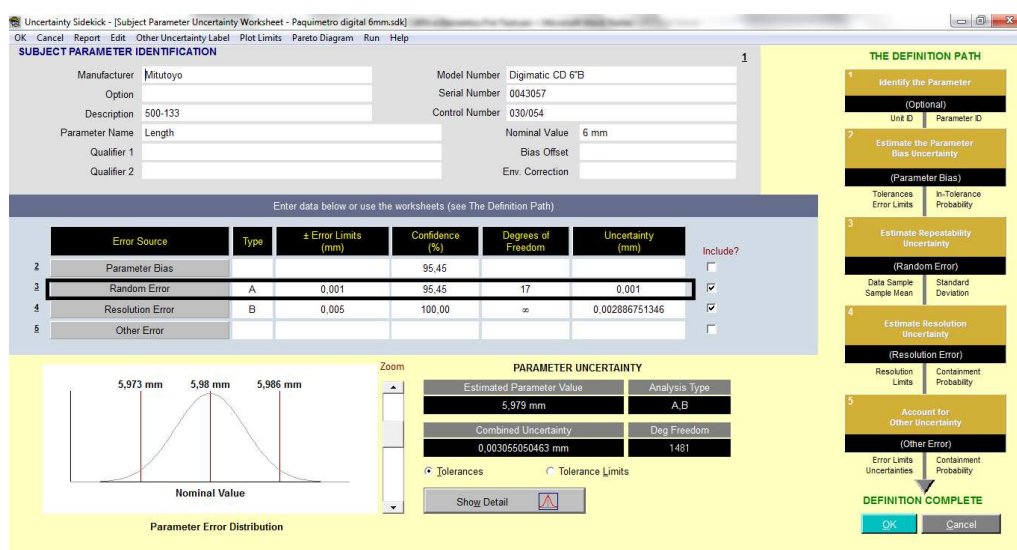


Figura 16 – Avaliação da Incerteza do Tipo A – Uncertainty Sidekick.
Fonte: Do Autor.

Desvio Padrão Experimental	
Graus de Liberdade (vdpe) (distribuição normal)	17
Incerteza (udpe)	
Desvio-padrão amostral (sxk) (caso seja zero aplicar um coeficiente de sensibilidade $\sqrt{2}$ na componente relativa à resolução)	0,002357023
Utdpe	0,000555556
Vtdpe	17

Quadro 2 – Avaliação da Incerteza Tipo A – Excel.
Fonte: Do Autor, 2011

Porém ainda vale notar que o gráfico do equipamento de ultrassom ainda apresenta uma reta com diferença quase inexistente entre o Excel e o *Sidekick* (embora fazendo a análise do Tipo A, mostra diferenças de até 10% entre o valor do Excel e do *Sidekick*). Nesta

situação, merece ser analisada atentamente a incerteza combinada (neste caso as incertezas-padrão do Tipo B).

Analisando os resultados das medições (conforme apêndice A) é possível constatar no ultrassom que a incerteza-padrão referente à linearidade no tempo-base do equipamento resultou num valor de $\pm 0,025\text{mm}$, considerando que este valor foi tomado como base a partir de um valor herdado fornecido pela norma do SAC-Singlas (2004, p.9). Comparando com as demais incertezas-padrão, o valor é de quatro a cinco vezes maiores que a incerteza do Tipo A, sendo este fator um dos mais influentes na pouca variação na incerteza final expandida, e no maior número de graus de liberdade.

4.3 Análise do *Sidekick*

Durante o desenvolvimento das medições foi possível avaliar o comportamento tanto da planilha em Excel como do *Sidekick*, onde é possível fazer uma análise comparativa dos dois aplicativos.

Embora mesmo sendo em uma versão demonstrativa, foi possível observar algumas particularidades no mesmo. Um ponto que merece atenção (em especial quando for implementado futuramente em aulas de metrologia) é que não é possível abrir diretamente uma análise salva, por exemplo, sendo que o programa abre com as informações em branco – o correto seria abrir o aplicativo e depois abrir a análise salva.

Outra diferença, inclusive mencionada anteriormente, consiste nos arredondamentos, em especial na obtenção de incertezas-padrão do Tipo A, que conseguiu impactar em até 13% na incerteza expandida.

Outro ponto a ser considerado durante a análise é na janela de estimativa de determinação de incertezas do elemento a ser mensurado, o ícone outros fatores, oferece a conveniência de ser personalizado de acordo com a necessidade (ver figuras 17 e 18).

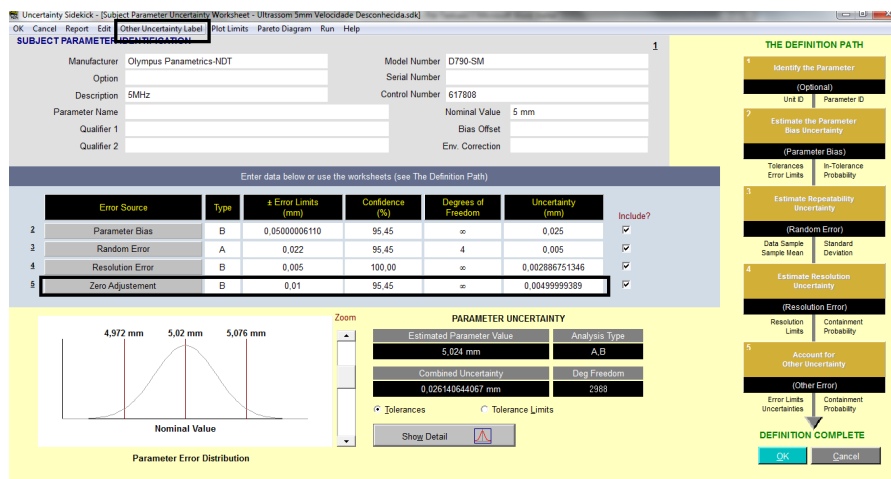


Figura 17 – Identificação para Outras Fontes de Incerteza no Sidekick.
Fonte: Do Autor.

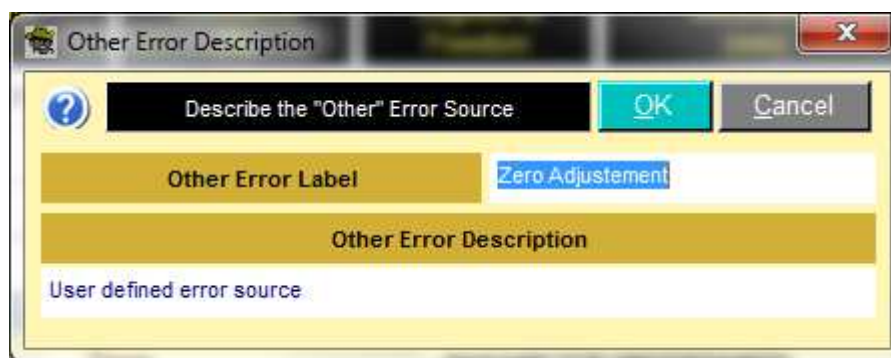


Figura 18 – Alteração de descrição de outras fontes de erro.
Fonte: Do Autor.

Porém um dos fatores que atrapalham durante a colocação dos dados, é o fato do sistema simplesmente não realizar os cálculos de incerteza-padrão, sendo necessário realizar o preenchimento manual da tabela conforme figura 19 (no caso da análise por ultrassom, que requereu este espaço, o resultado da incerteza-padrão foi praticamente idêntico – nas medições com os demais instrumentos, este campo não foi necessário).

Other Error Uncertainty Worksheet

OK Cancel Report Edit Run Help

Other Error Description User defined error source

Reference Values

Measurement Area	Nominal	Name	Value
Length	Nominal Value		5 mm
Nominal Units	Ref 1	Standard Value	0,0100 mm
Uncertainty Units	Ref 2		0 mm

Type A Uncertainty | **Type B Uncertainty**

± Error Containment Limits (Expanded Uncertainty)

Fixed Limit

mm

+ % ppm of Nominal

+ % ppm of Ref 1

+ % ppm of Ref 2

Error Limit

Estimated Type B Uncertainty

Confidence Level 95,45 % Coverage Factor 2,000

Degrees of Freedom

Standard Uncertainty

Combined Uncertainty Type Degrees of Freedom

Figura 19 – Janela de inserção de dados para outros tipos de fontes.
Fonte: Do Autor.

Também é válida a análise de temperatura, onde se mostrou um dado que, embora não tenha sido significativamente expressivo durante as medições, tem potencial de causar enormes diferenças no cálculo da incerteza-padrão (ver figura 20).

Measuring Environment Uncertainty Worksheet

OK Cancel Report Edit Degrees of Freedom Correlations Pareto Diagram Run Help

Estimate the Effect of Environmental Factors on Measurement Uncertainty

Environment Parameter	Measurement Area	± Error Limits	Units	% In-Tolerance	Deg. Freedom	Interaction Coefficient *	Standard Uncertainty
Ambient	Temperature Interval	0,3	deg C	95,45		0,000012	0,00001799
Operator	Temperature Interval	0,5	deg C	95,45		0,0000702	0,000017549

* Tolerance Units / Environment Parameter Units

Environmental Factors Combined Uncertainty

Standard Uncertainty 0,00001934997636 Units mm Degrees of Freedom ∞

Figura 20 – Janela para análise de fatores ambientais.
Fonte: Do Autor.

Analisando a figura acima é possível inserir dados como variação de temperatura (erro), a tolerância, os graus de liberdade e o coeficiente de dilatação térmico. Entretanto não é considerado no cálculo o valor nominal da peça-padrão analisada, conforme previsto na RM 53. Este detalhe representa uma diferença que pode ser expressiva em medições com padrões maiores, e que pode gerar divergências de resultados entre o Sidekick e o Excel. A solução neste caso foi “embutir” o valor da nominal, multiplicando o mesmo pelo coeficiente de dilatação com isso gerando resultados próximos.

5 CONCLUSÃO E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Em linhas gerais, este trabalho conseguiu atingir os objetivos iniciais quanto a demonstrar quais são as principais fontes de incerteza de medição encontradas e neste aspecto, as normas da rede metrológica gaúcha e do SAC-Singlas foram significativas. Além disso foi possível ir além do proposto inicialmente criando recursos que podem ser utilizados para o cálculo da incerteza de medição no dia-a-dia do laboratório de metrologia da UTFPR

Nas medições, foi possível verificar que a aplicação da norma do SAC-Singlas utilizada para o cálculo da incerteza de medição durante as medições por ultrassom mostra sinais de evolução, principalmente devido ao efeito da linearidade no tempo-base ser significativo. Isto não mostra apenas as falhas existentes na norma em questão, mas também a ausência de documentos voltados para a expressão de incerteza de medição. Exemplo disso, na Petrobras, em cujos processos de medição é bastante empregado a medição por ultrassom, não há documentos voltados para o cálculo da incerteza de medição. É a oportunidade de ser desenvolvida uma norma mais aprimorada para estes aparelhos de bastante importância em áreas estratégicas.

As planilhas em Excel mostraram a viabilidade de aplicar toda a teoria de maneira simples e eficiente. Entretanto, a maior limitação deste recurso é da necessidade de utilizar uma planilha específica para cada instrumento. Como possível melhoria é possível desenvolver um *software* baseado em Excel para a expressão de incertezas de medição que possa abranger vários equipamentos de medição, considerando que não existem aplicativos voltados para o cálculo da incerteza em língua portuguesa.

Quanto ao Sidekick, tendo conhecimento de suas particularidades de funcionamento, mostrou viabilidade de ser aplicado, em conjunto com a planilha em Excel, nas disciplinas de Metrologia e mesmo nas avaliações de calibração de instrumentos. Entretanto, devido às particularidades observadas, um treinamento básico deve ser oferecido, principalmente na disciplina de Metrologia.

Mesmo com todas as limitações apresentadas, este trabalho serviu não apenas para apontar os fatores causadores de incerteza de medição, mas mostrar novas oportunidades de como os conceitos, normas e algoritmos podem ser evoluídos e melhor trabalhados no futuro não apenas no laboratório de Metrologia da UTFPR, mas também nas mais diversas áreas da Metrologia.

REFERÊNCIAS

ALBERTAZZI JR., Armando G.; SOUZA, Andre R. de; **Fundamentos de Metrologia Científica e Industrial**. Barueri, SP: Manole, 2008

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA; Metrologia fortalece competitividade da indústria, diz executivo da CNI; Curitiba; 15 mai. 2007. Disponível em: <<http://www.agenciacni.org.br/portal/data/pages/FF80808128B7C38B0128CC8A045D7D73.htm>>. Acesso em: 13 mai. 2010.

DA SILVA FILHO, José Alberto Pinheiro, et al. Importância da Avaliação das Incertezas na Medição dos Volumes de Petróleo e Gás Natural. **Produto & Produção**, Porto Alegre, vol.11, nº1, p.99-112, fev. 2010.

DE OLIVEIRA, Renato. **Bosch FCT Procedimento de Calibração – WP/QSG61 – 0065: Calibração de Micrômetros**. Robert Bosch do Brasil. Ed. 03. 1999. 4p.

FERREIRA, Aurélio B. de H. **Novo Dicionário da Língua Portuguesa**. Curitiba. Positivo. 2009. p.2122.

GÜNTER. **Bosch FCT Procedimento de Calibração – WP/QSG61 – 0060: Calibração de Paquímetros**. Robert Bosch do Brasil. Ed. 01. 1996. 3p.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. **Guia para a Expressão da Incerteza de Medição**. Associação Brasileira de Normas Técnicas; Rio de Janeiro, 1998.

_____. **Vocabulário de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia**. Rio de Janeiro, 1995. Disponível em <<http://www.materiais.ufsc.br/Disciplinas/metodosmat/vim.pdf>>. Acesso em: 04 mai. 2010.

INTEGRATED SCIENCE GROUP. **Free Measurement Uncertainty Calculation Software**. Bakersfield, CA; 12 mar. 2010. Disponível em: <http://www.isgmax.com/uncertainty_freeware.htm>. Acesso em: 14 mai. 2010.

_____. **UncertaintyAnalyzer Program Features**. Bakersfield, CA; 12 mar. 2010. Disponível em: <http://www.isgmax.com/unc_broc.htm>. Acesso em: 14 jan. 2011.

JOINT COMMITTEE FOR GUIDES IN METROLOGY. **JGCM 100**: Evaluation of Measurement Data – Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement. Bureau International des Poids et Mesures; Sèvres-Cedex; 2008. Disponível em: <<http://www.bipm.org/en/publications/guides/gum.html>>. Acesso em: 03 mai. 2010.

JORNADA, Daniel H. da; Calcular a Incerteza em Ensaio é Realmente Importante? *Jornal da Metrologia*; Porto Alegre, mar. 2007. Disponível em <<http://www.redemetrologica.com.br/arquivo/j59.pdf>>. Acesso em: 15 abr. 2010.

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

_____. **Incerteza de Medição**: Exemplos Práticos Aplicados na Química. In: IV Congresso Internacional de Medições em Química, Rastreabilidade e Garantia da Qualidade; São Paulo, 16 jul. 2007. Disponível em: <http://www.metrologiaquimica.org.br/ivmetrochem/lecture/palestras/20-07_Tarde/Walter%20Link%202020%2007%202017%2000.pdf>. Acesso em: 26 abr. 2010.

MAQUINAS e Equipamentos de Medição; 21 out. 2009. Disponível em: <<http://www.scribd.com/doc/21418428/Maquinas-e-Equipamentos-de-medicao.htm>>. Acesso em: 11 mai. 2010

MITUTOYO. **Catálogo Geral de Produtos**. Brasil, 2005, 305p.

OLIVIERI, José C.; **Incerteza em Medição**. JCOlivieri Consultoria; 01 jul. 2005. Disponível em: <<http://jcolivieri.sites.uol.com.br/incerteza.htm>>. Acesso em: 08 abr. 2010.

OLYMPUS INC. **Corrosion Thickness Gauges: MG2 Series**. Estados Unidos. 2010, 6p.

PETROBRAS. **E-QP-ECD-046**: Procedimento de Controle Dimensional – Método de Medição de Espessura. Revisão C. 2008. 7p. Disponível em: <<http://www.petrobras.com.br/CanalFornecedor/portugues/pdf/E-QP-ECD-046.pdf>>. Acesso em: 15 mar. 2011.

REDE METROLÓGICA DO RIO GRANDE DO SUL. **RM 53**: Orientações sobre Declaração da Incerteza de Medição em Metrologia Dimensional. Revisão 03. Porto Alegre 2009. 28p. Disponível em: <http://www.redemetrologica.com.br/ftp/dados/rec/DOC_9.pdf>. Acesso em: 25 jan. 2011.

_____. **RM 68: Incerteza de Medição – Guia Prático do Avaliador de Laboratórios. Revisão 03.** Porto Alegre. 2009. 32p. Disponível em:
<<http://www.redemetrologica.com.br/ftp/dados/RM68rev03.pdf>>. Acesso em: 26 jan. 2011.

SAC-SINGLAS. **Guidance Notes NDT 001: Guidance Document for Estimation of Measurement Uncertainty in Non-Destructive Testing.** 2004. 10p. Disponível em:
<<http://www.sac-accreditation.gov.sg/DOCs/SAC-SINGLAS/Guidance%20Note%20NDT%20001,%20Feb%2004.pdf>>. Acesso em: 03 fev. 2011.

SOLO STOCKS. **Jogo de Blocos Padrão em Metal Duro.** SBS Metrologia Ltda. Disponível em: <<http://www.solostocks.com.br/venda-produtos/instrumentos-medicao-analise/medidores/jogo-de-blocos-padrao-em-metal-duro-249775.htm>>. Acesso em: 12 jun. 2011.

VUOLO, José H.; Avaliação e Expressão de Incerteza de Medição; Revista Brasileira de Ensino de Física, São Paulo, vol. 21, nº3, 03 set. 1999. Disponível em
<http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/v21_350.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2010.

APÊNDICE A - RESULTADO DAS MEDIÇÕES EM EXCEL

A.1 Paquímetro Digital – Medições Lineares

Balanco de Incertezas					
Valor Nominal		3		Unidade	mm
Fontes de incerteza		Efeitos Sistemáticos	Efeitos Aleatórios		
Símbolo	Descrição	Correção	Distribuição	Incerteza	Graus de Liberdade
Bp	Incerteza herdada da calibração dos blocos-padrão	0	Normal	0,00004	∞
R	Resolução ou valor de divisão de escala	0	Retangular	0,002886751	∞
Er	Erro sistemático dos blocos-padrão, quando não corrigidos	0	Não Aplicável	0	∞
Ta	Temperatura (variação em relação a 20°C)	0	Retangular	1,03923E-06	∞
To	Temperatura (transferência de calor da mão do operador ao instrumento)	0	Retangular	1,01325E-05	∞
Dpe	Desvio-padrão experimental das médias	0	Normal	0,002681332	17
Cc	Correção combinada	0			
uc	Incerteza combinada		Normal	0,003940124	79,26584755
U	Incerteza expandida		Normal	0,008006903	

Balanco de Incertezas					
Valor Nominal		6		Unidade	mm
Fontes de incerteza		Efeitos Sistemáticos	Efeitos Aleatórios		
Símbolo	Descrição	Correção	Distribuição	Incerteza	Graus de Liberdade
Bp	Incerteza herdada da calibração dos blocos-padrão	0	Normal	0,00004	∞
R	Resolução ou valor de divisão de escala	0	Retangular	0,0028868	∞
Er	Erro sistemático dos blocos-padrão, quando não corrigidos		Não Aplicável	0	∞
Ta	Temperatura (variação em relação a 20°C)	0	Retangular	2,078E-06	∞
To	Temperatura (transferência de calor da mão do operador ao instrumento)	0	Retangular	2,026E-05	∞
Dpe	Desvio-padrão experimental das médias	0	Normal	0,0005556	17
Cc	Correção combinada	0			
uc	Incerteza combinada		Normal	0,0029401	13334,2
U	Incerteza expandida		Normal	0,0058807	

Balanco de Incertezas					
Valor Nominal		20		Unidade	mm
Fontes de incerteza		Efeitos Sistemáticos	Efeitos Aleatórios		
Símbolo	Descrição	Correção	Distribuição	Incerteza	Graus de Liberdade
Bp	Incerteza herdada da calibração dos blocos-padrão	0	Normal	0,00005	∞
R	Resolução ou valor de divisão de escala	0	Retangular	0,002886751	∞
Er	Erro sistemático dos blocos-padrão, quando não corrigidos	0	Não Aplicável	0	∞
Ta	Temperatura (variação em relação a 20°C)	0	Retangular	6,9282E-06	∞
To	Temperatura (transferência de calor da mão do operador ao instrumento)	0	Retangular	6,755E-05	∞
Dpe	Desvio-padrão experimental das médias	0	Normal	0,0012924	17
Cc	Correção combinada	0			
uc	Incerteza combinada		Normal	0,003163976	610,6518462
U	Incerteza expandida		Normal	0,006340952	

Balanco de Incertezas					
Valor Nominal		30		Unidade	mm
Fontes de incerteza		Efeitos Sistemáticos	Efeitos Aleatórios		
Símbolo	Descrição	Correção	Distribuição	Incerteza	Graus de Liberdade
Bp	Incerteza herdada da calibração dos blocos-padrão	0	Normal	0,00006	∞
R	Resolução ou valor de divisão de escala	0	Retangular	0,002886751	∞
Er	Erro sistemático dos blocos-padrão, quando não corrigidos	0	Não Aplicável	0	∞
Ta	Temperatura (variação em relação a 20°C)	0	Retangular	1,03923E-05	∞
To	Temperatura (transferência de calor da mão do operador ao instrumento)	0	Retangular	0,000101325	∞
Dpe	Desvio-padrão experimental das médias	0	Normal	0,003746216	17
Cc	Correção combinada	0			
uc	Incerteza combinada		Normal	0,004730903	43,23683117
U	Incerteza expandida		Normal	0,009744879	

Balço de Incertezas					
Valor Nominal		60		Unidade	mm
Fontes de incerteza		Efeitos Sistemáticos	Efeitos Aleatórios		
Símbolo	Descrição	Correção	Distribuição	Incerteza	Graus de Liberdade
Bp	Incerteza herdada da calibração dos blocos-padrão	0	Normal	0,000075	∞
R	Resolução ou valor de divisão de escala	0	Retangular	0,002886751	∞
Er	Erro sistemático dos blocos-padrão, quando não corrigidos	0	Não Aplicável	0	∞
Ta	Temperatura (variação em relação a 20°C)	0	Retangular	2,07846E-05	∞
To	Temperatura (transferência de calor da mão do operador ao instrumento)	0	Retangular	0,00020265	∞
Dpe	Desvio-padrão experimental das médias	0	Normal	0,004917622	17
Cc	Correção combinada	0			
uc	Incerteza combinada		Normal	0,005706441	30,82403765
U	Incerteza expandida		Normal	0,011908469	

Balço de Incertezas					
Valor Nominal		90		Unidade	mm
Fontes de incerteza		Efeitos Sistemáticos	Efeitos Aleatórios		
Símbolo	Descrição	Correção	Distribuição	Incerteza	Graus de Liberdade
Bp	Incerteza herdada da calibração dos blocos-padrão	0	Normal	0,00009	∞
R	Resolução ou valor de divisão de escala	0	Retangular	0,002886751	∞
Er	Erro sistemático dos blocos-padrão, quando não corrigidos	0	Não Aplicável	0	∞
Ta	Temperatura (variação em relação a 20°C)	0	Retangular	3,11769E-05	∞
To	Temperatura (transferência de calor da mão do operador ao instrumento)	0	Retangular	0,000303975	∞
Dpe	Desvio-padrão experimental das médias	0	Normal	0,004462789	17
Cc	Correção combinada	0			
uc	Incerteza combinada		Normal	0,005324593	34,44841264
U	Incerteza expandida		Normal	0,011055215	

A.2 Paquímetro Analógico – Medições Lineares

Balanco de Incertezas					
Valor Nominal		3		Unidade	mm
Fontes de incerteza		Efeitos Sistemáticos	Efeitos Aleatórios		
Símbolo	Descrição	Correção	Distribuição	Incerteza	Graus de Liberdade
Bp	Incerteza herdada da calibração dos blocos-padrão	0	Normal	0,00004	∞
R	Resolução ou valor de divisão de escala	0	Retangular	0,005773503	∞
Er	Erro sistemático dos blocos-padrão, quando não corrigidos	0	Não Aplicável	0	∞
Ta	Temperatura (variação em relação a 20°C)	0	Retangular	1,03923E-06	∞
To	Temperatura (transferência de calor da mão do operador ao instrumento)	0	Retangular	1,01325E-05	∞
Dpe	Desvio-padrão experimental das médias	0	Normal	0,002003084	17
Cc	Correção combinada	0			
uc	Incerteza combinada		Normal	0,006111251	1472,897695
U	Incerteza expandida		Normal	0,012232904	

Balanco de Incertezas					
Valor Nominal		6		Unidade	mm
Fontes de incerteza		Efeitos Sistemáticos	Efeitos Aleatórios		
Símbolo	Descrição	Correção	Distribuição	Incerteza	Graus de Liberdade
Bp	Incerteza herdada da calibração dos blocos-padrão	0	Normal	0,00004	∞
R	Resolução ou valor de divisão de escala	0	Retangular	0,005773503	∞
Er	Erro sistemático dos blocos-padrão, quando não corrigidos	0	Não Aplicável	0	∞
Ta	Temperatura (variação em relação a 20°C)	0	Retangular	2,07846E-06	∞
To	Temperatura (transferência de calor da mão do operador ao instrumento)	0	Retangular	2,0265E-05	∞
Dpe	Desvio-padrão experimental das médias	0	Normal	0,002698207	17
Cc	Correção combinada	0			
uc	Incerteza combinada		Normal	0,006373042	529,0969245
U	Incerteza expandida		Normal	0,012776288	

Balanco de Incertezas					
Valor Nominal		20		Unidade	mm
Fontes de incerteza		Efeitos Sistemáticos	Efeitos Aleatórios		
Símbolo	Descrição	Correção	Distribuição	Incerteza	Graus de Liberdade
Bp	Incerteza herdada da calibração dos blocos-padrão	0	Normal	0,00005	∞
R	Resolução ou valor de divisão de escala	0	Retangular	0,005773503	∞
Er	Erro sistemático dos blocos-padrão, quando não corrigidos	0	Não Aplicável	0	∞
Ta	Temperatura (variação em relação a 20°C)	0	Retangular	6,9282E-06	∞
To	Temperatura (transferência de calor da mão do operador ao instrumento)	0	Retangular	6,755E-05	∞
Dpe	Desvio-padrão experimental das médias	0	Normal	0,002318189	17
Cc	Correção combinada	0			
uc	Incerteza combinada		Normal	0,006222093	882,265822
U	Incerteza expandida		Normal	0,012461863	

Balanco de Incertezas					
Valor Nominal		30		Unidade	mm
Fontes de incerteza		Efeitos Sistemáticos	Efeitos Aleatórios		
Símbolo	Descrição	Correção	Distribuição	u	v
Bp	Incerteza herdada da calibração dos blocos-padrão	0	Normal	0,00006	∞
R	Resolução ou valor de divisão de escala	0	Retangular	0,005773503	∞
Er	Erro sistemático dos blocos-padrão, quando não corrigidos	0	Não Aplicável	0	∞
Ta	Temperatura (variação em relação a 20°C)	0	Retangular	1,03923E-05	∞
To	Temperatura (transferência de calor da mão do operador ao instrumento)	0	Retangular	0,000101325	∞
Dpe	Desvio-padrão experimental das médias	0	Normal	0,002711631	17
Cc	Correção combinada	0			
uc	Incerteza combinada		Normal	0,006379675	520,8598434
U	Incerteza expandida		Normal	0,012790109	

Balço de Incertezas					
Valor Nominal		60		Unidade	mm
Fontes de incerteza		Efeitos Sistemáticos	Efeitos Aleatórios		
Símbolo	Descrição	Correção	Distribuição	Incerteza	Graus de Liberdade
Bp	Incerteza herdada da calibração dos blocos-padrão	0	Normal	0,000075	∞
R	Resolução ou valor de divisão de escala	0	Retangular	0,005773503	∞
Er	Erro sistemático dos blocos-padrão, quando não corrigidos	0	Não Aplicável	0	∞
Ta	Temperatura (variação em relação a 20°C)	0	Retangular	2,07846E-05	∞
To	Temperatura (transferência de calor da mão do operador ao instrumento)	0	Retangular	0,00020265	∞
Dpe	Desvio-padrão experimental das médias	0	Normal	0,004501271	17
Cc	Correção combinada	0			
uc	Incerteza combinada		Normal	0,007324063	119,156194
U	Incerteza expandida		Normal	0,014803607	

Balço de Incertezas					
Valor Nominal		90		Unidade	Mm
Fontes de incerteza		Efeitos Sistemáticos	Efeitos Aleatórios		
Símbolo	Descrição	Correção	Distribuição	Incerteza	Graus de Liberdade
Bp	Incerteza herdada da calibração dos blocos-padrão	0	Normal	0,00009	∞
R	Resolução ou valor de divisão de escala	0	Retangular	0,005773503	∞
Er	Erro sistemático dos blocos-padrão, quando não corrigidos	0	Não Aplicável	0	∞
Ta	Temperatura (variação em relação a 20°C)	0	Retangular	3,11769E-05	∞
To	Temperatura (transferência de calor da mão do operador ao instrumento)	0	Retangular	0,000303975	∞
Dpe	Desvio-padrão experimental das médias	0	Normal	0,002209933	17
Cc	Correção combinada	0			
uc	Incerteza combinada		Normal	0,006190203	1046,530165
U	Incerteza expandida		Normal	0,012395233	

A.3 Paquímetro Digital – Medições de Diâmetro Interno

Balanco de Incertezas					
Valor Nominal		8		Unidade	mm
Fontes de incerteza		Efeitos Sistemáticos	Efeitos Aleatórios		
Símbolo	Descrição	Correção	Distribuição	Incerteza	Graus de Liberdade
Cal	Incerteza herdada da calibração dos blocos-padrão	0	Normal	0,00004	∞
R	Resolução ou valor de divisão de escala	0	Retangular	0,002886751	∞
Er	Erro sistemático dos blocos-padrão, quando não corrigidos	0	Não Aplicável	0	∞
Ta	Temperatura (variação em relação a 20°C)	0	Retangular	2,77128E-06	∞
To	Temperatura (transferência de calor da mão do operador ao instrumento)	0	Retangular	2,702E-05	∞
Dpe	Desvio-padrão experimental das médias	0	Normal	0,008539126	3
Cil	Circularidade ou cilíndricidade do calibrador-anel liso cilíndrico	0	Retangular	0	∞
Cc	Correção combinada	0			
uc	Incerteza combinada		Normal	0,009014008	3,725112311
U	Incerteza expandida		Normal	0,029807791	

Balanco de Incertezas					
Valor Nominal		17		Unidade	mm
Fontes de incerteza		Efeitos Sistemáticos	Efeitos Aleatórios		
Símbolo	Descrição	Correção	Distribuição	Incerteza	Graus de Liberdade
Cal	Incerteza herdada da calibração dos blocos-padrão	0	Normal	0,00005	∞
R	Resolução ou valor de divisão de escala	0	Retangular	0,002886751	∞
Er	Erro sistemático dos blocos-padrão, quando não corrigidos	0	Não Aplicável	0	∞
Ta	Temperatura (variação em relação a 20°C)	0	Retangular	5,88897E-06	∞
To	Temperatura (transferência de calor da mão do operador ao instrumento)	0	Retangular	5,74175E-05	∞
Dpe	Desvio-padrão experimental das médias	0	Normal	0,008539126	3
Cil	Circularidade ou cilíndricidade do calibrador-anel liso cilíndrico	0	Retangular	0	∞
Cc	Correção combinada	0			
uc	Incerteza combinada		Normal	0,009014202	3,725432663
U	Incerteza expandida		Normal	0,029808432	

Balanco de Incertezas					
Valor Nominal		25		Unidade	mm
Fontes de incerteza		Efeitos Sistemáticos	Efeitos Aleatórios		
Símbolo	Descrição	Correção	Distribuição	Incerteza	Graus de Liberdade
Cal	Incerteza herdada da calibração dos blocos-padrão	0	Normal	0,00005	∞
R	Resolução ou valor de divisão de escala	0	Retangular	0,002886751	∞
Er	Erro sistemático dos blocos-padrão, quando não corrigidos	0	Não Aplicável	0	∞
Ta	Temperatura (variação em relação a 20°C)	0	Retangular	8,66025E-06	∞
To	Temperatura (transferência de calor da mão do operador ao instrumento)	0	Retangular	8,44375E-05	∞
Dpe	Desvio-padrão experimental das médias	0	Normal	0,006454972	3
Cil	Circularidade ou cilindricidade do calibrador-anel liso cilíndrico	0	Retangular	0	∞
Cc	Correção combinada	0			
uc	Incerteza combinada		Normal	0,007071754	4,321677133
U	Incerteza expandida		Normal	0,020291091	

A.4 Paquímetro Analógico – Medições de Diâmetro Interno

Balanco de Incertezas					
Valor Nominal		8		Unidade	mm
Fontes de incerteza		Efeitos Sistemáticos	Efeitos Aleatórios		
Símbolo	Descrição	Correção	Distribuição	Incerteza	Graus de Liberdade
Cal	Incerteza herdada da calibração dos blocos-padrão	0	Normal	0,00004	∞
R	Resolução ou valor de divisão de escala	0	Retangular	0,005773503	∞
Er	Erro sistemático dos blocos-padrão, quando não corrigidos	0	Não Aplicável	0	∞
Ta	Temperatura (variação em relação a 20°C)	0	Retangular	2,77128E-06	∞
To	Temperatura (transferência de calor da mão do operador ao instrumento)	0	Retangular	2,702E-05	∞
Dpe	Desvio-padrão experimental das médias	0	Normal	0,002886751	3
Cil	Circularidade ou cilindricidade do calibrador-anel liso cilíndrico	0	Retangular	0	∞
Cc	Correção combinada	0			
uc	Incerteza combinada		Normal	0,006455153	75,00841617
U	Incerteza expandida		Normal	0,013129054	

Balanco de Incertezas					
Valor Nominal		17		Unidade	mm
Fontes de incerteza		Efeitos Sistemáticos	Efeitos Aleatórios		
Símbolo	Descrição	Correção	Distribuição	Incerteza	Graus de Liberdade
Cal	Incerteza herdada da calibração dos blocos-padrão	0	Normal	0,00005	∞
R	Resolução ou valor de divisão de escala	0	Retangular	0,005773503	∞
Er	Erro sistemático dos blocos-padrão, quando não corrigidos	0	Não Aplicável	0	∞
Ta	Temperatura (variação em relação a 20°C)	0	Retangular	5,88897E-06	∞
To	Temperatura (transferência de calor da mão do operador ao instrumento)	0	Retangular	5,74175E-05	∞
Dpe	Desvio-padrão experimental das médias	0	Normal	0,004082483	3
Cil	Circularidade ou cilíndricidade do calibrador-anel liso cilíndrico	0	Retangular	0	∞
Cc	Correção combinada	0			
uc	Incerteza combinada		Normal	0,00707148	27,00629833
U	Incerteza expandida		Normal	0,014828506	

Balanco de Incertezas					
Valor Nominal		25		Unidade	mm
Fontes de incerteza		Efeitos Sistemáticos	Efeitos Aleatórios		
Símbolo	Descrição	Correção	Distribuição	Incerteza	Graus de Liberdade
Cal	Incerteza herdada da calibração dos blocos-padrão	0	Normal	0,00005	∞
R	Resolução ou valor de divisão de escala	0	Retangular	0,005773503	∞
Er	Erro sistemático dos blocos-padrão, quando não corrigidos	0	Não Aplicável	0	∞
Ta	Temperatura (variação em relação a 20°C)	0	Retangular	8,66025E-06	∞
To	Temperatura (transferência de calor da mão do operador ao instrumento)	0	Retangular	8,44375E-05	∞
Dpe	Desvio-padrão experimental das médias	0	Normal	0,004787136	3
Cil	Circularidade ou cilíndricidade do calibrador-anel liso cilíndrico	0	Retangular	0	∞
Cc	Correção combinada	0			
uc	Incerteza combinada		Normal	0,007500647	18,08061737
U	Incerteza expandida		Normal	0,016117783	

A.5 Micrômetro

Balço de Incertezas					
Valor Nominal		3		Unidade	mm
Fontes de incerteza		Efeitos Sistemáticos	Efeitos Aleatórios		
Símbolo	Descrição	Correção	Distribuição	Incerteza	Graus de Liberdade
Bp	Incerteza herdada da calibração dos blocos-padrão	0	Normal	0,00004	∞
R	Resolução ou valor de divisão de escala	0	Retangular	0,002886751	∞
Er	Erro sistemático dos blocos-padrão, quando não corrigidos	0	Não Aplicável	0	∞
Ta	Temperatura (variação em relação a 20°C)	0	Retangular	1,03923E-06	∞
To	Temperatura (transferência de calor da mão do operador ao instrumento)	0	Retangular	1,01325E-05	∞
Dpe	Desvio-padrão experimental das médias	0	Normal	0,003073181	5
Cc	Correção combinada	0			
uc	Incerteza combinada		Normal	0,004216572	17,71965884
U	Incerteza expandida		Normal	0,009100474	

Balço de Incertezas					
Valor Nominal		6		Unidade	mm
Fontes de incerteza		Efeitos Sistemáticos	Efeitos Aleatórios		
Símbolo	Descrição	Correção	Distribuição	Incerteza	Graus de Liberdade
Bp	Incerteza herdada da calibração dos blocos-padrão	0	Normal	0,00004	∞
R	Resolução ou valor de divisão de escala	0	Retangular	0,002886751	∞
Er	Erro sistemático dos blocos-padrão, quando não corrigidos	0	Não Aplicável	0	∞
Ta	Temperatura (variação em relação a 20°C)	0	Retangular	2,07846E-06	∞
To	Temperatura (transferência de calor da mão do operador ao instrumento)	0	Retangular	2,0265E-05	∞
Dpe	Desvio-padrão experimental das médias	0	Normal	0,002108185	5
Cc	Correção combinada	0			
uc	Incerteza combinada		Normal	0,003574884	41,34116049
U	Incerteza expandida		Normal	0,007374421	

Balanco de Incertezas					
Valor Nominal		20		Unidade	mm
Fontes de incerteza		Efeitos Sistemáticos	Efeitos Aleatórios		
Símbolo	Descrição	Correção	Distribuição	Incerteza	Graus de Liberdade
Bp	Incerteza herdada da calibração dos blocos-padrão	0	Normal	0,00005	∞
R	Resolução ou valor de divisão de escala	0	Retangular	0,002886751	∞
Er	Erro sistemático dos blocos-padrão, quando não corrigidos	0	Não Aplicável	0	∞
Ta	Temperatura (variação em relação a 20°C)	0	Retangular	6,9282E-06	∞
To	Temperatura (transferência de calor da mão do operador ao instrumento)	0	Retangular	6,755E-05	∞
Dpe	Desvio-padrão experimental das médias	0	Normal	0,003073181	5
Cc	Correção combinada	0			
uc	Incerteza combinada		Normal	0,004217213	17,7304386
U	Incerteza expandida		Normal	0,009101857	

A.6 Ultrassom – Velocidade Conhecida

Balanco de Incertezas					
Valor Nominal		1		Unidade	mm
Fontes de incerteza		Efeitos Sistemáticos	Efeitos Aleatórios		
Símbolo	Descrição	Correção	Distribuição	Incerteza	Graus de Liberdade
Bp	Incerteza herdada da calibração dos blocos-padrão	0	Normal	0,00004	∞
R	Resolução ou valor de divisão de escala	0	Retangular	0,002886751	∞
Tb	Linearidade do Tempo Base	0	Normal	0,025	∞
Ta	Temperatura (variação em relação a 20°C)	0	Retangular	1,1547E-06	∞
A0	Ajuste do Zero	0	Normal	0,005	∞
Dpe	Desvio-padrão experimental das médias	0	Normal	0,006	4
Cc	Correção combinada	0			
uc	Incerteza combinada		Normal	0,026350236	1487,966054
U	Incerteza expandida		Normal	0,052744874	

Balanco de Incertezas					
Valor Nominal		2		Unidade	mm
Fontes de incerteza		Efeitos Sistemáticos	Efeitos Aleatórios		
Símbolo	Descrição	Correção	Distribuição	Incerteza	Graus de Liberdade
Bp	Incerteza herdada da calibração dos blocos-padrão	0	Normal	0,00004	∞
R	Resolução ou valor de divisão de escala	0	Retangular	0,002886751	∞
Tb	Linearidade do Tempo Base	0	Normal	0,025	∞
Ta	Temperatura (variação em relação a 20°C)	0	Retangular	2,3094E-06	∞
A0	Ajuste do Zero	0	Normal	0,005	∞
Dpe	Desvio-padrão experimental das médias	0	Normal	0,003162278	4
Cc	Correção combinada	0			
uc	Incerteza combinada		Normal	0,025852175	17866,86361
U	Incerteza expandida		Normal	0,05170803	

Balanco de Incertezas					
Valor Nominal		5		Unidade	mm
Fontes de incerteza		Efeitos Sistemáticos	Efeitos Aleatórios		
Símbolo	Descrição	Correção	Distribuição	Incerteza	Graus de Liberdade
Bp	Incerteza herdada da calibração dos blocos-padrão	0	Normal	0,00004	∞
R	Resolução ou valor de divisão de escala	0	Retangular	0,002886751	∞
Tb	Linearidade do Tempo Base	0	Normal	0,025	∞
Ta	Temperatura (variação em relação a 20°C)	0	Retangular	5,7735E-06	∞
A0	Ajuste do Zero	0	Normal	0,005	∞
Dpe	Desvio-padrão experimental das médias	0	Normal	0,003741657	4
Cc	Correção combinada	0			
uc	Incerteza combinada		Normal	0,025929423	9225,189947
U	Incerteza expandida		Normal	0,051865937	

Balanco de Incertezas					
Valores Nominais		10		Unidade	mm
Fontes de incerteza		Efeitos Sistemáticos	Efeitos Aleatórios		
Símbolo	Descrição	Correção	Distribuição	Incerteza	Graus de Liberdade
Bp	Incerteza herdada da calibração dos blocos-padrão	0	Normal	0,00005	∞
R	Resolução ou valor de divisão de escala	0	Retangular	0,002886751	∞
Tb	Linearidade do Tempo Base	0	Normal	0,025	∞
Ta	Temperatura (variação em relação a 20°C)	0	Retangular	1,1547E-05	∞
A0	Ajuste do Zero	0	Normal	0,005	∞
Dpe	Desvio-padrão experimental das médias	0	Normal	0,004472136	4
Cc	Correção combinada	0			
uc	Incerteza combinada		Normal	0,026044884	4601,396837
U	Incerteza expandida		Normal	0,052103987	

Balanco de Incertezas					
Valor Nominal		20		Unidade	mm
Fontes de incerteza		Efeitos Sistemáticos	Efeitos Aleatórios		
Símbolo	Descrição	Correção	Distribuição	Incerteza	Graus de Liberdade
Bp	Incerteza herdada da calibração dos blocos-padrão	0	Normal	0,00005	∞
R	Resolução ou valor de divisão de escala	0	Retangular	0,002886751	∞
Tb	Linearidade do Tempo Base	0	Normal	0,025	∞
Ta	Temperatura (variação em relação a 20°C)	0	Retangular	2,3094E-05	∞
A0	Ajuste do Zero	0	Normal	0,005	∞
Dpe	Desvio-padrão experimental das médias	0	Normal	0,007071068	4
Cc	Correção combinada	0			
uc	Incerteza combinada		Normal	0,026614589	802,7846533
U	Incerteza expandida		Normal	0,053312334	

A.7 Ultrassom – Velocidade Desconhecida

Balanco de Incertezas					
Valor Nominal		4		Unidade	mm
Fontes de incerteza		Efeitos Sistemáticos	Efeitos Aleatórios		
Símbolo	Descrição	Correção	Distribuição	Incerteza	Graus de Liberdade
Bp	Incerteza herdada da calibração dos blocos-padrão	0	Normal	0,00004	∞
R	Resolução ou valor de divisão de escala	0	Retangular	0,002886751	∞
Tb	Linearidade do Tempo Base	0	Normal	0,025	∞
Ta	Temperatura (variação em relação a 20°C)	0	Retangular	4,6188E-06	∞
A0	Ajuste do Zero	0	Normal	0,005	∞
Dpe	Desvio-padrão experimental das médias	0	Normal	0,003162278	4
Cc	Correção combinada	0			
uc	Incerteza combinada		Normal	0,025852175	17866,86447
U	Incerteza expandida		Normal	0,051708031	

Balanco de Incertezas					
Valor Nominal		4,5		Unidade	mm
Fontes de incerteza		Efeitos Sistemáticos	Efeitos Aleatórios		
Símbolo	Descrição	Correção	Distribuição	Incerteza	Graus de Liberdade
Bp	Incerteza herdada da calibração dos blocos-padrão	0	Normal	0,00004	∞
R	Resolução ou valor de divisão de escala	0	Retangular	0,002886751	∞
Tb	Linearidade do Tempo Base	0	Normal	0,025	∞
Ta	Temperatura (variação em relação a 20°C)	0	Retangular	5,19615E-06	∞
A0	Ajuste do Zero	0	Normal	0,005	∞
Dpe	Desvio-padrão experimental das médias	0	Normal	0,003741657	4
Cc	Correção combinada	0			
uc	Incerteza combinada		Normal	0,025929423	9225,189773
U	Incerteza expandida		Normal	0,051865937	

Balço de Incertezas					
Valor Nominal		5		Unidade	mm
Fontes de incerteza		Efeitos Sistemáticos	Efeitos Aleatórios		
Símbolo	Descrição	Correção	Distribuição	Incerteza	Graus de Liberdade
Bp	Incerteza herdada da calibração dos blocos-padrão	0	Normal	0,00004	∞
R	Resolução ou valor de divisão de escala	0	Retangular	0,002886751	∞
Tb	Linearidade do Tempo Base	0	Normal	0,025	∞
Ta	Temperatura (variação em relação a 20°C)	0	Retangular	5,7735E-06	∞
A0	Ajuste do Zero	0	Normal	0,005	∞
Dpe	Desvio-padrão experimental das médias	0	Normal	0,00509902	4
Cc	Correção combinada	0			
uc	Incerteza combinada		Normal	0,026159797	2771,090808
U	Incerteza expandida		Normal	0,052343269	

Balço de Incertezas					
Valor Nominal		5,5		Unidade	mm
Fontes de incerteza		Efeitos Sistemáticos	Efeitos Aleatórios		
Símbolo	Descrição	Correção	Distribuição	Incerteza	Graus de Liberdade
Bp	Incerteza herdada da calibração dos blocos-padrão	0	Normal	0,00004	∞
R	Resolução ou valor de divisão de escala	0	Retangular	0,002886751	∞
Tb	Linearidade do Tempo Base	0	Normal	0,025	∞
Ta	Temperatura (variação em relação a 20°C)	0	Retangular	6,35085E-06	∞
A0	Ajuste do Zero	0	Normal	0,005	∞
Dpe	Desvio-padrão experimental das médias	0	Normal	0,005477226	4
Cc	Correção combinada	0			
uc	Incerteza combinada		Normal	0,026236139	2105,80016
U	Incerteza expandida		Normal	0,052503519	

Balanco de Incertezas					
Valor Nominal		6		Unidade	mm
Fontes de incerteza		Efeitos Sistemáticos	Efeitos Aleatórios		
Símbolo	Descrição	Correção	Distribuição	U	v
Bp	Incerteza herdada da calibração dos blocos-padrão	0	Normal	0,00004	∞
R	Resolução ou valor de divisão de escala	0	Retangular	0,002886751	∞
Tb	Linearidade do Tempo Base	0	Normal	0,025	∞
Ta	Temperatura (variação em relação a 20°C)	0	Retangular	6,9282E-06	∞
A0	Ajuste do Zero	0	Normal	0,005	∞
Dpe	Desvio-padrão experimental das médias	0	Normal	0,00509902	4
Cc	Correção combinada	0			
uc	Incerteza combinada		Normal	0,026159797	2771,090927
U	Incerteza expandida		Normal	0,05234327	

APÊNDICE B - PROCEDIMENTOS DE CALIBRAÇÃO

B.1 Procedimento para a Calibração do Paquímetro



LAMEC

PROCEDIMENTO PARA A CALIBRAÇÃO DO PAQUÍMETRO

Os comentários e sugestões referentes a este documento devem ser encaminhados à UTFPR/DAMEC/LAMEC, indicando o item a ser revisado, a proposta e a justificativa.

Este documento normativo tem a validade de 2(dois) anos a partir da sua edição, prazo máximo para a realização da próxima revisão.

Este prazo poderá ser alterado em razão de requisitos operacionais.

ÍNDICE

- | | |
|----------------------|--|
| 1. APLICAÇÃO | |
| 2. CALIBRAÇÃO | |
| 3. DISPOSIÇÃO | |

Paralelismo => manter o instrumento zerado e avaliar a presença de passagem de luz.
Medir um bloco padrão em 3 pontos (acima/meio/ponta).

Linearidade => medir pela superfície externa e a partir do ponto zero a linearidade de acordo com a escala do instrumento:

0-150mm: 5 blocos padrões, com medidas de 30, 70, 90, 110 e 150mm

0-200mm: 6 blocos padrões, com medidas de 30, 70, 90, 110, 150 e 190mm

0-300mm: 6 blocos padrões, com medidas de 10, 50, 110, 170, 250 e 290mm

0-600mm: 6 blocos padrões, com medidas de 100, 200, 300, 400, 500 e 600mm.

Superfície de medição interna => medir 30mm no Padrão para paquímetro.

Folga Topo/Base => avaliar presença de folga com a superfície do bloco padrão.

- Medir três vezes e anotar os valores médios de cada característica no registro/protocolo de calibração.

2.7 – Critério de aceitação

Os valores encontrados devem estar dentro das seguintes tolerâncias:

- Digital

Paralelismo: 0,02mm

Linearidade:

Escala de 0 a 150mm: $\pm 0,02$ mm

Escala de 0-200mm: $\pm 0,02$ mm

Escala de 0-300mm: $\pm 0,03$ mm

Escala de 0-600mm: $\pm 0,05$ mm

- Analógico

Paralelismo: 1 divisão

Linearidade:

Resolução	$\pm 0,02\text{mm}$	Resolução	$\pm 0,05\text{mm}$
Campo	Tolerância	Campo	Tolerância
0-150	$\pm 0,03\text{mm}$	0-150	$\pm 0,02\text{mm}$
0-200	$\pm 0,03\text{mm}$	0-200	$\pm 0,02\text{mm}$
0-300	$\pm 0,04\text{mm}$	0-300	$\pm 0,02\text{mm}$
0-600	$\pm 0,05\text{mm}$		

- Digital / Analógico

Folga Topo / Base: 0,02mm

3 – DISPOSIÇÃO

3.1 - Providências

- Aprovado

Substituir etiqueta de prazo;

- Reprovado

Sucatear instrumento e enviar respectivo registro/protocolo de calibração com a informação “sucata” para a área de patrimônio da universidade, ou enviar instrumento com respectivo registro/protocolo de calibração com a informação “conserto” ou “devolução” para a área de patrimônio.

1º exame: emitir Solicitação de Ação Corretiva (SAC) conforme OT – 2.01.14.017.

Reexame: emitir Reclamação de Defeito conforme OT – 2.01.13.013

3.2 - Registros

Instrumento atualizado em banco de dados eletrônico.

B.2 Procedimento para a Calibração do Micrômetro



LAMEC

PROCEDIMENTO PARA A CALIBRAÇÃO DO MICRÔMETRO

Os comentários e sugestões referentes a este documento devem ser encaminhados à UTFPR/DAMEC/LAMEC, indicando o item a ser revisado, a proposta e a justificativa.

Este documento normativo tem a validade de 2(dois) anos a partir da sua edição, prazo máximo para a realização da próxima revisão.

Este prazo poderá ser alterado em razão de requisitos operacionais.

ÍNDICE

- | | |
|----------------------------------|--|
| 1. APLICAÇÃO | |
| 2. CALIBRAÇÃO | |
| 3. DISPOSIÇÃO | |
| 4. NAUREZA DA MODIFICAÇÃO | |

1 – APLICAÇÃO

Aplica-se a todos os tipos de micrômetros.

2 – CALIBRAÇÃO

2.1 – Método

Examinar instrumentos com os padrões adequados

2.2 – Frequência

Conforme IT/QSG61 – 001 Plano de Calibração

2.3 – Parâmetros

Calibrar a faixa de medição do instrumento com os padrões apropriados

2.4 – Padrão utilizado

- Micrômetro mecânico, de relógio, digitais e Micrômetro para engrenagem:

Linearidade => Blocos-padrão

Planeza => Paralelo ótico

Paralelismo => Bloco-padrão de 10,3mm

2.5 – Condição de calibração

- Temperatura: $20 \pm 1^\circ\text{C}$

- Umidade: $\leq 70\%$

2.6 – Sistemática

- Fazer inspeção visual:

Conferir quantidade, gravação, N° de ct/inv., sistemas de trava/catraca, ajuste do fuso, movimentação homogênea, danos nos batentes fixos e móveis.

- Providenciar padrões.

- Realizar medições de modo que possa refletir a mesma condição de uso.

Escala => Verificar coincidência entre o zero da bainha e o zero do tambor.

Micrômetros mecânicos e digitais:

Linearidade => medir com os blocos padrão de 2.5, 5.1, 7.7, 10.3, 12.9, 15.0, 17.6, 20.2, 22.8 e 25.0mm. Para micrômetros maiores que 25.0mm acrescentar aos valores blocos-padrão múltiplos de 25 conforme a necessidade.

Paralelismo (0-25mm) => verificar e medir o erro do paralelismo dos batentes fixo e móvel, com 4 paralelos óticos distanciados em $\frac{1}{4}$ de volta entre si, realizando as medições em ordem crescente ou decrescente.

Planeza => medir a planeza da superfície dos batentes fixo móvel, com paralelo ótico

Micrômetros para engrenagem:

Linearidade => medir com os blocos-padrão de 2.5, 5.1, 7.7, 10.3, 12.9, 15.0, 17.6, 20.2, 22.8 e 25.0mm. Para micrômetros maiores que 25.0mm acrescentar aos valores blocos-padrão múltiplos de 25 conforme a necessidade.

Paralelismo => medir um bloco padrão de 10.3mm nas posições de 0° , 90° , 180° 270° , tendo como apoio o semi-plano formado a partir do centro.

Micrômetros de relógio:

Linearidade => medir um bloco padrão de 1,50mm usando-o como zero; intercalar blocos com: 0,01mm para curso de $\pm 0,025$ mm, 0,03mm para curso de $\pm 0,060$ mm, e 0,2mm para curso de 1mm.

Paralelismo (0-25mm) => verificar e medir o erro de paralelismo dos batentes fixo e móvel, com 4 paralelos óticos distanciados em $\frac{1}{4}$ de volta em si, realizando as medições em ordem crescente ou decrescente.

Planeza => medir a planeza da superfície dos batentes fixo e móvel, com paralelo ótico.

- Medir 3 vezes e anotar os valores médios de cada característica no registro / protocolo de calibração.

2.7 – Critério de aceitação

Os valores encontrados devem estar dentro das seguintes tolerâncias:

- Micrômetros mecânicos e digitais:

Linearidade:

Micrômetro centesimal: $\pm 0,01$ mm.

Micrômetro milesimal: $\pm 0,002$ mm.

Paralelismo: a soma dos desvios encontrados com os paralelos óticos não deve ultrapassar a $2\mu\text{m}$.

Planeza: desvio máximo de $0,6\mu\text{m}$

- Micrômetro de relógio:

Linearidade: $\pm 0,002\text{mm}$.

Paralelismo: a soma dos desvios encontrados com os paralelos óticos não deve ultrapassar a $2\mu\text{m}$.

Planeza: desvio máximo de $0,6\mu\text{m}$

- Micrômetro para engrenagem:

Linearidade:

Micrômetro centesimal: $\pm 0,01\text{mm}$.

Micrômetro milesimal: $\pm 0,002\text{mm}$.

Paralelismo: $10\mu\text{m}$

3 – DISPOSIÇÃO

3.1 - Providências

- Aprovado:

Substituir etiqueta de prazo;

- Reprovado:

Sucatear instrumento e enviar respectivo registro/protocolo de calibração com a informação “sucata” para a área de patrimônio da universidade, ou enviar instrumento com respectivo registro/protocolo de calibração com a informação “conserto” ou “devolução” para a área de patrimônio.

1º exame: emitir Solicitação de Ação Corretiva (SAC) conforme OT – 2.01.14.017.

Reexame: emitir Reclamação de Defeito conforme OT – 2.01.13.013

3.2 - Registros

Instrumento atualizado em banco de dados eletrônico.

4 – NATUREZA DA MODIFICAÇÃO

Inclusão de um novo padrão.

B.3 Procedimento para a Calibração de Equipamento de Medição por Ultrassom

PROCEDIMENTO PARA A CALIBRAÇÃO DE EQUIPAMENTO DE MEDIÇÃO POR ULTRASSOM



Os comentários e sugestões referentes a este documento devem ser encaminhados à UTFPR/DAMEC/LAMEC, indicando o item a ser revisado, a proposta e a justificativa.

Este documento normativo tem a validade de 2(dois) anos a partir da sua edição, prazo máximo para a realização da próxima revisão.

Este prazo poderá ser alterado em razão de requisitos operacionais.

ÍNDICE

- | ÍNDICE | |
|---------------|--|
| 1. APLICAÇÃO | |
| 2. CALIBRAÇÃO | |
| 3. DISPOSIÇÃO | |

1 – APLICAÇÃO

Aplica-se ao equipamento Panametrics MG2-XT.

2 – CALIBRAÇÃO

2.1 – Método

Examinar instrumentos com os padrões adequados

2.2 – Frequência

Conforme E-QP-ECD-046

2.3 – Material a Ser Examinado

Material – aço carbono (chapa ou tubos);

Processo de fabricação – laminado/;

Espessura – 1,5 a 62,5 mm.

2.4 – Padrão utilizado

- Material: Aço carbono;
- Dimensões: (conforme figura 1 ou figura 2)

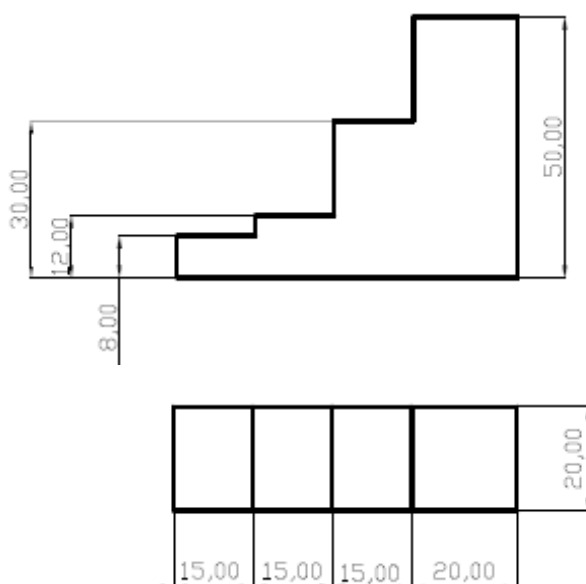


Figura 1

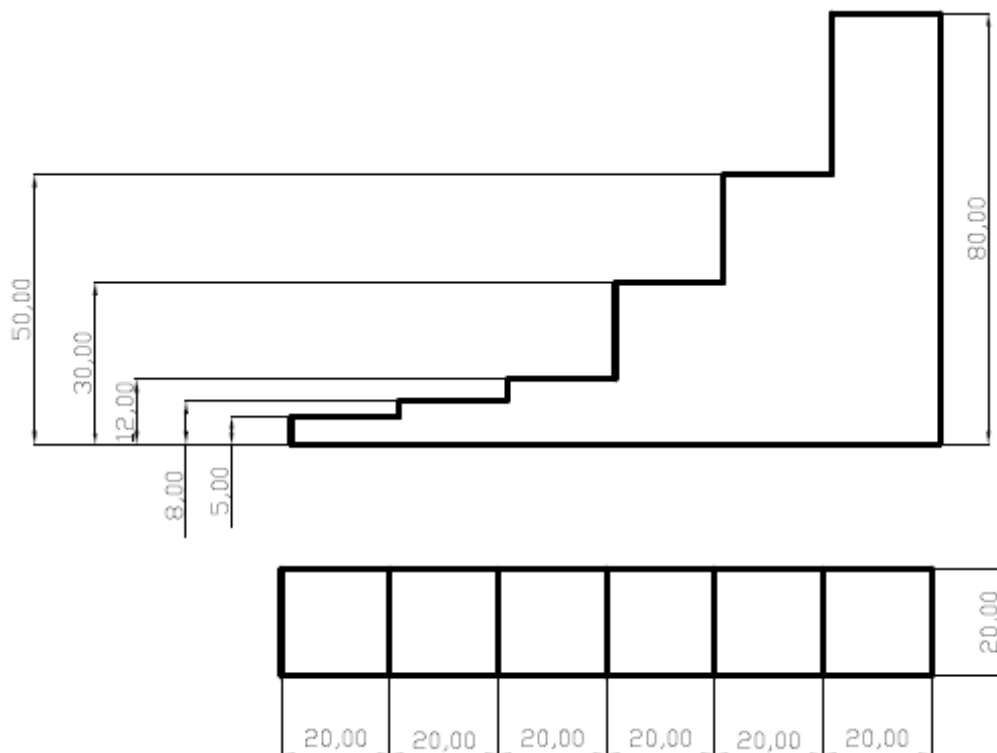


Figura 2

2.5 – Condição de calibração

- Temperatura: $20 \pm 1^\circ\text{C}$
- Umidade: $\leq 70\%$

2.6 – Calibração dos Padrões

Será efetuada a cada início de trabalho a qualquer mudança de faixa de espessura, a cada meia hora de trabalho contínuo, e ao reinício dos trabalhos, após cada interrupção. A faixa para calibração, para cada espessura, está indicada na Tabela “A”.

Espessura do Padrão (mm)	Faixa Calibrada (mm)
5	3,7 - 6,2
8	6,0 - 10,0
12	9,0 - 15,0
20	15,0 - 25,0
30	22,5 - 37,5
35	26,5 - 43,5
50	37,5 - 62,5
80	60,0 - 100,0

Tabela A

2.7 – Calibração do Instrumento

Antes de iniciar a medição de espessura, é necessário efetuar o ajuste do zero e a calibração do instrumento ao material que será inspecionado.

Efetue a calibração do zero utilizando um bloco de calibração padrão do mesmo material que será inspecionado.

2.7.1 – Ajuste do Zero

Para a calibração, um bloco padrão do mesmo material a ser inspecionado deve ser utilizado. O bloco padrão deve ter aproximadamente a menor espessura do material a ser medido. A espessura do bloco deve ser conhecida.

Para o ajuste do zero, conectar o cabeçote, ligar o instrumento e certificar-se de que a superfície de contato do cabeçote está limpa.

Pressionar a tecla [2ndF] e em seguida a tecla [CAL ZERO]. O instrumento mostrará rapidamente o valor da velocidade de som atual e a tela de medição.

Aplicar uma fina camada de acoplante na superfície do bloco padrão e acoplar o cabeçote ao bloco.

Pressionar a tecla [CAL ZERO] e quando estabilizar o valor mostrado no display do instrumento, pressionar a tecla [ENTER].

Desacoplar o cabeçote do bloco padrão e usar as setas do teclado para ajustar o valor lido ao valor do bloco padrão utilizado.

Após o ajuste do valor, pressionar a tecla [MEAS] para completar a calibração e entrar no modo de medição.

Se o instrumento desligar antes de ser pressionada a tecla [MEAS], a calibração do zero não foi atualizada para o novo valor.

Se o instrumento emitir um longo “beep” antes de retornar ao modo de medição, um erro foi cometido na calibração e o valor não foi atualizado.

2.7.2 - Calibração para uma Velocidade de Som Conhecida

Se a velocidade do som do material a ser inspecionado for conhecida, pressione a tecla [2ndF] e em seguida a tecla [CAL VEL], para que a velocidade do som atual seja mostrada no display. Esse valor pode ser modificado através do uso das setas do teclado.

Quando a velocidade for a desejada, pressione a tecla [MEAS] para armazenar o valor.

Se o instrumento desligar ou apresentar erro antes de ser pressionada a tecla [MEAS], o valor da velocidade não foi atualizado.

2.7.3 - Calibração para uma Velocidade de Som Desconhecida

Para essa calibração, um bloco padrão feito do mesmo material a ser inspecionado é necessário. O bloco deve ter aproximadamente a mesma espessura da maior espessura a ser medida. A espessura do bloco deve ser conhecida.

Pressionar a tecla [2ndF] e em seguida a tecla [CAL ZERO] e verificar se a superfície de acoplamento do cabeçote está limpa. Aplicar uma fina camada de acoplante na superfície do bloco, acoplar a superfície do cabeçote ao bloco e pressionar a tecla [CAL VEL].

Quando o valor mostrado no display estiver estável, pressionar a tecla [ENTER].

Nesse estágio, o cabeçote pode ser desacoplado do bloco e, através das setas do teclado, o valor da espessura conhecida do bloco pode ser ajustado.

Após ajustar a espessura, pressionar a tecla [MEAS] para armazenar o valor.

O instrumento retornará à tela de medição e estará ajustado para as medições do material selecionado.

Se o instrumento emitir um longo “beep” ou mensagem de erro antes de retornar ao modo de medição, então ocorreu um erro e o valor da velocidade não foi atualizado.

2.8 – Condição Superficial

Acabamento de laminado e ou usinado. A faixa de temperatura da superfície da peça deve estar entre 15 e 50 °C.

2.9 – Técnica de Preparação

Lixamento elétrico ou esmerilhamento da região a ser medida de modo a proporcionar um bom acoplamento, quando este bom acoplamento não é conseguido na superfície em sua condição original.

2.10 – Acoplante

Óleo automotivo, Carboxi metil celulose dissolvido em água, na proporção de 1:10 a 1:20 ou vaselina líquida.

3 – DISPOSIÇÃO

3.1 - Providências

- Aprovado

Substituir etiqueta de prazo;

- Reprovado

Sucatear instrumento e enviar respectivo registro/protocolo de calibração com a informação “sucata” para a área de patrimônio da universidade, ou enviar instrumento com respectivo registro/protocolo de calibração com a informação “conserto” ou “devolução” para a área de patrimônio.

1º exame: emitir Solicitação de Ação Corretiva (SAC) conforme OT – 2.01.14.017.

Reexame: emitir Reclamação de Defeito conforme OT – 2.01.13.013

3.2 - Registros

Instrumento atualizado em banco de dados eletrônico.

APÊNDICE C - CERTIFICADOS DE CALIBRAÇÃO



UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO
PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE MECÂNICA
CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO Nº 0001

Cliente

Laboratório Acadêmico de Metrologia Mecânica - LAMEC / UTFPR

Objeto Calibrado: Paquímetro Digital

Fabricante	Mitutoyo
Modelo	Digimatic CD 6"B
Nº de Série	030/354
Nº do Cliente	500-133
Resolução	0,01mm

Resultado da Calibração da Medição

Unidade mm

Indicação do Padrão	3	6	20	30	60	90
Média encontrada	2,99	5,979444	19,95778	29,98944	59,99333	90,00944
Incerteza encontrada	0,008007	0,005881	0,006341	0,009745	0,011908	0,011055

Informações da Calibração

Temperatura: 20,3°C
Umidade: 47,3%

Assinatura:



UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE MECÂNICA
CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO Nº 0002

Cliente

Laboratório Acadêmico de Metrologia Mecânica - LAMEC / UTFPR

Objeto Calibrado: Paquímetro Analógico

Fabricante	Tesa
Modelo	200mm / 7in
Nº de Série	030/337
Nº do Cliente	
Resolução	0,02mm

Resultado da Calibração da Medição

Unidade mm

Indicação do Padrão	3	6	20	30	60	90
Média encontrada	3,006111	6,013889	20,00444	30,015	60,03	89,99944
Incerteza encontrada	0,012233	0,012776	0,012462	0,01279	0,014804	0,012395

Informações da Calibração

Temperatura: 20,3°C
Umidade: 47,3%

Assinatura:



UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE MECÂNICA
CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO Nº 0003

Cliente

Laboratório Acadêmico de Metrologia Mecânica - LAMEC / UTFPR

Objeto Calibrado: Paquímetro Digital

Fabricante	Mitutoyo
Modelo	Digimatic CD 6" B
Nº de Série	030/354
Nº do Cliente	500-133
Resolução	0,01mm

Resultado da Calibração da Medição

Unidade

mm

Indicação do Padrão	8	17	25				
Média encontrada	7,9625	16,9425	24,935				
Incerteza encontrada	0,029808	0,029808	0,020291				

Informações da Calibração

Temperatura: 20,3°C

Umidade: 47,3%

Assinatura:



UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE MECÂNICA
CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO Nº 0004

Cliente

Laboratório Acadêmico de Metrologia Mecânica - LAMEC / UTFPR

Objeto Calibrado: Paquímetro Analógico

Fabricante	Tesa
Modelo	200mm / 7in
Nº de Série	030/337
Nº do Cliente	
Resolução	0,02mm

Resultado da Calibração da Medição

Unidade

mm

Indicação do Padrão	8	17	25				
Média encontrada	7,995	16,99	24,9925				
Incerteza encontrada	0,013129	0,014829	0,016118				

Informações da Calibração

Temperatura: 20,3°C

Umidade: 47,3%

Assinatura:



UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE MECÂNICA
CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO Nº 0005

Cliente

Laboratório Acadêmico de Metrologia Mecânica - LAMEC / UTFPR

Objeto Calibrado: Micrômetro

Fabricante	Mitutoyo
Modelo	
Nº de Série	
Nº do Cliente	6607 4305
Resolução	0,01mm

Resultado da Calibração da Medição

Unidade

mm

Indicação do Padrão	3	6	20				
Média encontrada	2,971667	5,983333	19,98833				
Incerteza encontrada	0,0091	0,007374	0,009102				

Informações da Calibração

Temperatura: 20,3°C

Umidade: 47,3%

Assinatura:



UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE MECÂNICA
CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO Nº 0006

Cliente

Laboratório Acadêmico de Metrologia Mecânica - LAMEC / UTFPR

Objeto Calibrado: Equipamento de Medição por Ultrassom

Fabricante	Olympus
Modelo	Panametrics MG2-XT em conjunto com Transdutor Panametrics NDT-D790-SM 5MHz
Nº de Série	617808
Nº do Cliente	
Resolução	0,01mm

Resultado da Calibração da Medição

Unidade mm

Indicação do Padrão	1	2	5	10	20		
Média encontrada	1,016	2,01	5,042	10,02	20,02		
Incerteza encontrada	0,052745	0,051708	0,051866	0,052104	0,053312		

Informações da Calibração

Temperatura: 19,0°C

Umidade: 51,1%

Assinatura:



UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE MECÂNICA
CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO Nº 0007

Cliente

Laboratório Acadêmico de Metrologia Mecânica - LAMEC / UTFPR

Objeto Calibrado: Equipamento de Medição por Ultrassom

Fabricante	Olympus
Modelo	Panametrics MG2-XT em conjunto com Transdutor Panametrics NDT-D790-SM 5MHz
Nº de Série	617808
Nº do Cliente	
Resolução	0,01mm

Resultado da Calibração da Medição

Unidade mm

Indicação do Padrão	4	4,5	5	5,5	6		
Média encontrada	4,01	4,512	5,024	5,51	5,996		
Incerteza encontrada	0,051708	0,051866	0,052343	0,052504	0,052343		

Informações da Calibração

Temperatura: 19,0°C

Umidade: 51,1%

Assinatura:

APÊNDICE D – ALGORITMO EM EXCEL



PLANILHA DE MEDIÇÕES LINEARES PARA PAQUÍMETROS

bloco-padrão			
valor nominal			
resolução do paquímetro			
temperatura ambiente			
Nº	Indicação		
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
Média			
Desvio-Padrão			
análise de			
mensurando			
procedimento de medição			
condições ambientais			
operador			
sistema de medição			
Fontes de Incerteza			
Incerteza herdada da calibração dos blocos-padrão			
Resolução ou valor de divisão de escala			
Erro sistemático dos blocos-padrão, quando não corrigidos			
Temperatura (variação em relação a 20°C)			
Temperatura (transferência de calor da mão do operador ao instrumento)			
Desvio-padrão experimental das médias			

Efeitos sistemáticos		
Incerteza herdada da calibração dos blocos-padrão		
Resolução ou valor de divisão de escala		
Erro sistemático dos blocos-padrão, quando não corrigidos		
Temperatura (variação em relação a 20°C)		
Temperatura (transferência de calor da mão do operador ao instrumento)		
Desvio-padrão experimental das médias		

Efeitos Aleatórios		
Incerteza dos blocos-padrão		
Graus de liberdade (vbp) (distribuição normal)		
Incerteza (ubp)		
Incerteza expandida do conjunto de blocos-padrão (Ubp)		
Fator de Abrangência (k) (disposto no certificado)		
ubp	Ubp/k	
vbp	∞	
Cálculo de graus de liberdade	ubp^4/vbp	

Resolução		
Graus de Liberdade (vr) (distribuição retangular)		
Incerteza (ur)		
último dígito significativo (mostrador digital)		
valor de uma divisão do nônio (mostrador analógico)		
ur	(Último dígito ou divisão de escala)/ $\sqrt{3}$	
vr	∞	
Cálculo de graus de liberdade	ur^4/vr	

Declarado no certificado de calibração dos blocos-padrão com desvio do comprimento central "lm". Somar algebricamente o maior desvio, no final, com a incerteza expandida. Nota: Se forem utilizadas combinações (montagem) de blocos-padrão, a contribuição de incerteza será o somatório dos erros sistemáticos não corrigidos de cada bloco-padrão.	Erro Sistemático Não Corrigido		
	Graus de Liberdade (ver) (Não Aplicável)		
	Incerteza (uer)		
	Valor declarado no certificado de calibração		
uer	Valor declarado no certificado de calibração		
ver	∞		
Cálculo de graus de liberdade	uer^4/ver		

Temperatura (ambiente)			
Graus de Liberdade (vta) (distribuição retangular)			
Incerteza (uta)			
$\Delta L = L \cdot \Delta \alpha \cdot \Delta t$			
(diferença dos coeficientes de dilatação térmica do paquímetro e dos instrumentos padrão - caso desconhecidos empregar o valor a seguir) $\Delta \alpha$			
(afastamento máximo entre a temperatura ambiente e a de referência) Δt			
ΔL			
uta	$\Delta L / \sqrt{3}$		
vta	∞		

Cálculo de graus de liberdade uta^4/vta

Temperatura (com interferência do operador)			
Graus de Liberdade (vto) (distribuição retangular)			
Incerteza (uto)			
$\Delta L = L \cdot \alpha \cdot \Delta t$			
(média aritmética dos coeficientes de dilatação térmica do paquímetro e dos instrumentos padrão) α			
(afastamento máximo entre a temperatura do instrumento e a dos blocos-padrão, considerar pelo menos 0,5°C) Δt			
ΔL			
uto	$\Delta L / \sqrt{3}$		
vto	∞		

Cálculo de graus de liberdade uto^4/vto

Desvio Padrão Experimental			
Graus de Liberdade (vdpe) (distribuição normal)			
Incerteza (udpe)			
Desvio-padrão amostral (sxx) (caso seja zero aplicar um coeficiente de sensibilidade $\sqrt{2}$ na componente relativa à resolução)			
udpe	desvio-padrão		
vdpe	n-1		

Cálculo de graus de liberdade $udpe^4/vdpe$

Correção combinada			
$C_c = C_{bp} + C_r + C_{er} + C_{ta} + C_{to} + C_{dpe}$			
C_{bp}			
C_r			
C_{er}			
C_{ta}			
C_{to}			
C_{dpe}			
C_c			

Cálculo da Incerteza Combinada e dos graus de liberdade efetivos			
$uc = \sqrt{ubp^2 + ur^2 + uer^2 + uta^2 + uto^2 + udpe^2}$			
uc			

Cálculo dos graus de liberdade efetivos (vef)			
$(uc^4/vef) = (ubp^4/vbp) + (ur^4/vr) + (uer^4/ver) + (uta^4/vta) + (uto^4/vto) + (udpe^4/vdpe)$			
vef			

Cálculo da Incerteza Expandida (U)			
$U = t \cdot uc$			
t			
U			

Expressão do Resultado de Medição		
$C_b = (MP + C_c) - Im \pm U$		
C_b		

Balanço de Incertezas					
Valor Nominal			Unidade		
Fontes de incerteza		Efeitos Sistemáticos	Efeitos Aleatórios		
Símbolo	Descrição	Correção	Distribuição	u	v
Bp	Incerteza herdada da calibração dos blocos-padrão		Normal	U _{bp} /k	∞
R	Resolução ou valor de divisão de escala		Retangular	u _r /√3	∞
Er	Erro sistemático dos blocos-padrão, quando não corrigidos		Não Aplicável	Valor declarado no certificado de calibração	∞
Ta	Temperatura (variação em relação a 20°C)		Retangular	ΔL/√3	∞
To	Temperatura (transferência de calor da mão do operador ao instrumento)		Retangular	ΔL/√3	∞
Dpe	Desvio-padrão experimental das médias		Normal	desvio-padrão	n-1
Cc	Correção combinada				
uc	Incerteza combinada		Normal		
U	Incerteza expandida		Normal		

ANEXO A - QUADRO BASEADO NA NORMA RM 53 DA REDE METROLÓGICA GAÚCHA

Componentes de incerteza a serem considerados na calibração de micrômetros externos				
Medição do erro de indicação $f_{máx}$ com blocos-padrão de faces planas e paralelas.				
Componentes de Incerteza	Causa	Método de Determinação	Distribuição de Probabilidade	Divisor Adequado
Incerteza herdada da calibração dos blocos-padrão.	Exatidão limitada na calibração. Incerteza de medição na calibração do bloco-padrão.	Declarada no certificado de calibração dos blocos-padrão como incerteza expandida "U". Nota: Se forem utilizadas combinações (montagem) de blocos-padrão, a contribuição de incerteza relativa será o somatório das incertezas individuais de cada bloco-padrão.	Normal	Fator de abrangência "k" expresso no certificado de calibração dos blocos-padrão.
Resolução ou valor de uma divisão de escala ou interpolação.	Resolução, valor de uma divisão de escala ou capacidade de interpolação limitadas.	Para instrumento digital: Último dígito significativo. Para instrumento analógico: Valor de uma divisão de escala, capacidade de interpolação do operador ou valor de uma divisão do nônio.	Retangular	$2\sqrt{3}$
Erro sistemático dos blocos-padrão, quando não corrigidos.	Desvio do comprimento central do bloco-padrão em relação ao seu valor nominal.	Declarado no certificado de calibração dos blocos-padrão com desvio do comprimento central "lm". Considerar o erro, em módulo, e somá-lo algebricamente, no final, com a incerteza expandida. Nota: Se forem utilizadas combinações (montagem) de blocos-padrão, a contribuição de incerteza relativa será o somatório dos erros sistemáticos não corrigidos de cada bloco-padrão.	Não aplicável	Não aplicável

Componentes de incerteza a serem considerados na calibração de micrômetros externos Medição do erro de indicação f_{\max} com blocos-padrão de faces planas e paralelas (Continuação).				
Temperatura	Limites de temperatura estabelecidos pelo laboratório. Ou seja, a variação de temperatura ambiental em relação a temperatura de referência (20°C).	$\Delta L = L \cdot \alpha \cdot \Delta t$, onde ΔL – Dilatação linear α - Diferença entre os coeficientes de dilatação linear do micrômetro e dos blocos-padrão. Se for desconhecido, assumir pelo menos $2 \times 10^{-6} \text{°C}^{-1}$. Δt - Afastamento máximo da temperatura ambiente, em relação a temperatura de referência	Retangular	$\sqrt{3}$
Temperatura	A transferência de calor pelas mãos do operador causa uma diferença de temperatura entre o instrumento que está sendo calibrado e os blocos-padrão.	$\Delta L = L \cdot \alpha \cdot \Delta t$, onde ΔL – Dilatação linear α - Média aritmética entre os coeficientes de dilatação linear do micrômetro e dos blocos-padrão. Δt - Diferença estimada de temperatura entre o instrumento que está sendo calibrado e os blocos-padrão. Considerar pelo menos 0,5°C.	Retangular	$\sqrt{3}$
Desvio padrão experimental da média	Diversas	A função estatística utilizada para caracterizar a dispersão nos resultados é o desvio padrão amostral $s(x_k)$ dos n valores que compõem a série de medições. Nota: Nos casos onde o desvio padrão amostral for igual a zero, aplicar um coeficiente de sensibilidade de $\sqrt{2}$ na componente relativa a resolução.	Normal	\sqrt{n}

Componentes de incerteza a serem considerados na calibração de paquímetros universais Medição do erro de indicação para os medidores externos, com blocos-padrão de faces planas e paralelas.				
Componentes de Incerteza	Causa	Método de Determinação	Distribuição de Probabilidade	Divisor Adequado
Incerteza herdada da calibração dos blocos-padrão.	Exatidão limitada na calibração. Incerteza de medição na calibração do bloco-padrão.	Declarada no certificado de calibração dos blocos-padrão como incerteza expandida “U”. Nota: Se forem utilizadas combinações (montagem) de blocos-padrão, a contribuição de incerteza relativa será o somatório das incertezas individuais de cada bloco-padrão.	Normal	Fator de abrangência “k” expresso no certificado de calibração dos blocos-padrão.
Resolução ou valor de uma divisão de escala.	Resolução, valor de uma divisão de escala ou capacidade de interpolação limitadas.	Para instrumento digital: Último dígito significativo. Para instrumento analógico: Valor de uma divisão do nônio.	Retangular	$2\sqrt{3}$
Erro sistemático dos blocos-padrão, quando não corrigidos.	Desvio do comprimento central do bloco-padrão em relação ao seu valor nominal.	Declarado no certificado de calibração dos blocos-padrão com desvio do comprimento central “lm”. Somar algebricamente o maior desvio, no final, com a incerteza expandida. Nota: Se forem utilizadas combinações (montagem) de blocos-padrão, a contribuição de incerteza será o somatório dos erros sistemáticos não corrigidos de cada bloco-padrão.	Não aplicável	Não aplicável
Temperatura	Limites de temperatura estabelecidos pelo laboratório. Ou seja, a variação da temperatura ambiental em relação a temperatura de referência (20°C).	$\Delta L = L \cdot \Delta a \cdot \Delta t$, onde ΔL – Dilatação linear Δa - Diferença entre os coeficientes de dilatação linear do paquímetro e dos blocos-padrão. Se for desconhecido, assumir pelo menos $2 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. Δt - Afastamento máximo da temperatura ambiente, em relação a temperatura de referência	Retangular	$\sqrt{3}$
Temperatura	A transferência de calor pelas mãos do operador causa uma diferença de temperatura entre o instrumento que está sendo calibrado e os blocos-padrão.	$\Delta L = L \cdot a \cdot \Delta t$, onde ΔL – Dilatação linear a - Média aritmética entre os coeficientes de dilatação linear do paquímetro e dos blocos-padrão. Δt - Diferença estimada de temperatura entre o instrumento que está sendo calibrado e os blocos-padrão. Considerar pelo menos 0,5°C.	Retangular	$\sqrt{3}$

Componentes de incerteza a serem considerados na calibração de paquímetros universais Medição do erro de indicação para os medidores externos, com blocos-padrão de faces planas e paralelas (Continuação).				
Desvio padrão experimental da média	Diversas	A função estatística utilizada para caracterizar a dispersão nos resultados é o desvio padrão amostral $s(x_k)$ dos n valores que compõem a série de medições. Nota: Nos casos onde o desvio padrão amostral for igual a zero, aplicar um coeficiente de sensibilidade de $\sqrt{2}$ na componente relativa a resolução.	Normal	\sqrt{n}

Componentes de incerteza a serem considerados na calibração de paquímetros universais Medição do erro de indicação para os medidores internos, com calibrador-anel liso cilíndrico.				
Componentes de Incerteza	Causa	Método de Determinação	Distribuição de Probabilidade	Divisor Adequado
Incerteza herdada da calibração do calibrador anel-liso cilíndrico.	Exatidão limitada na calibração. Incerteza de medição na calibração do calibrador anel-liso cilíndrico.	Declarada no certificado de calibração do calibrador-anel liso cilíndrico como uma incerteza expandida “U”.	Normal	Fator de abrangência “k” expresso no certificado de calibração do calibrador anel-liso cilíndrico.
Resolução ou valor de uma divisão de escala.	Resolução, valor de uma divisão de escala ou capacidade de interpolação limitadas.	Para instrumento digital: Último dígito significativo. Para instrumento analógico: Valor de uma divisão do nãoio.	Retangular	$2\sqrt{3}$
Erro sistemático dos blocos-padrão, quando não corrigidos.	Desvio do diâmetro do calibrador-anel liso cilíndrico em relação ao seu valor nominal.	Declarado no certificado de calibração do calibrador-anel liso cilíndrico. Somar algebricamente o desvio do diâmetro, no final, com a incerteza expandida.	Não aplicável	Não aplicável
Temperatura	Limites de temperatura estabelecidos pelo laboratório. Ou seja, a variação da temperatura ambiental em relação a temperatura de referência (20°C).	$\Delta L = L \cdot \Delta a \cdot \Delta t$, onde ΔL – Dilatação linear Δa - Diferença entre os coeficientes de dilatação linear do paquímetro e do calibrador anel-liso cilíndrico. Se for desconhecido, assumir pelo menos $2 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. Δt - Afastamento máximo da temperatura ambiente, em relação a temperatura de referência	Retangular	$\sqrt{3}$
Temperatura	A transferência de calor pelas mãos do operador causa uma diferença de temperatura entre o instrumento que está sendo calibrado e o calibrador anel-liso cilíndrico.	$\Delta L = L \cdot a \cdot \Delta t$, onde ΔL – Dilatação linear a - Média aritmética entre os coeficientes de dilatação linear do paquímetro e dos blocos-padrão. Δt - Diferença estimada de temperatura entre o instrumento que está sendo calibrado e o calibrador anel-liso cilíndrico. Considerar pelo menos 0,5°C.	Retangular	$\sqrt{3}$

Componentes de incerteza a serem considerados na calibração de paquímetros universais Medição do erro de indicação para os medidores internos, com calibrador-anel liso cilíndrico (Continuação).				
Desvio padrão experimental da média	Diversas	A função estatística utilizada para caracterizar a dispersão nos resultados é o desvio padrão amostral $s(x_k)$ dos n valores que compõem a série de medições. Nota: Nos casos onde o desvio padrão amostral for igual a zero, aplicar um coeficiente de sensibilidade de $\sqrt{2}$ na componente relativa a resolução.	Normal	\sqrt{n}
Circularidade ou cilindridade do calibrador-anel liso cilíndrico.	Desvio de forma do calibrador-anel liso cilíndrico em relação a um cilindro perfeito.	Declarada no certificado de calibração do calibrador-anel liso cilíndrico como circularidade ou cilindridade.	Retangular	$\sqrt{3}$