

# COMPARAÇÃO DA PRECISÃO E INCERTEZA ENTRE MÁQUINA DE MEDIÇÃO POR COORDENADAS E PAQUÍMETRO ANALÓGICO NO CONTROLE DIMENSIONAL DE PEÇAS DIDÁTICAS

## COMPARISON OF PRECISION AND UNCERTAINTY BETWEEN COORDINATE MEASURING MACHINE AND ANALOG CALIPER IN DIMENSIONAL CONTROL OF EDUCATIONAL PARTS

Wallyson Thomas Alves da Silva<sup>1, i</sup>  
Marcus Vinicius Begossi<sup>2, ii</sup>

### RESUMO

A confiabilidade metrológica é essencial para garantir a precisão e a exatidão nas medições industriais, influenciando diretamente a qualidade dos processos produtivos. Este trabalho tem como objetivo comparar a confiabilidade dimensional entre dois instrumentos amplamente utilizados: uma Máquina de Medição por Coordenadas Tridimensional (MMC) e um Paquímetro Analógico, aplicados na medição de peças didáticas. Foi realizada a medição de uma amostra utilizando uma MMC Crysta-Apex C574, com resolução de 0,1  $\mu\text{m}$ , e um Paquímetro Analógico Mahr de 150 mm, com resolução de 0,02 mm. As medições ocorreram em ambiente controlado, com aferição prévia dos instrumentos. A análise dos dados revelou que a MMC apresenta superior resolução e menor incerteza em comparação ao paquímetro, evidenciando maior eficácia para medições de alta precisão. Este estudo reforça a importância da escolha adequada do instrumento de medição conforme a aplicação, ressaltando a evolução tecnológica como fator determinante para o avanço da metrologia industrial.

**Palavras-chave:** Paquímetro analógico, Precisão dimensional, Incerteza de medição.

### ABSTRACT

Metrological reliability is crucial to ensure precision and accuracy in industrial measurements, directly impacting production quality. This study aims to compare the dimensional reliability of two widely used instruments: a Coordinate Measuring Machine (CMM) and an Analog Caliper, applied in the measurement of educational parts. Measurements were conducted on a sample using a Crysta-Apex C574 CMM with 0.1  $\mu\text{m}$  resolution and a 150 mm Mahr Analog Caliper with 0.02 mm resolution. Measurements took place in a controlled environment, with prior calibration of instruments. Data analysis showed that the CMM has superior resolution and lower uncertainty compared to the caliper, demonstrating higher effectiveness for high-precision measurements. This study highlights the importance of selecting the appropriate measurement instrument according to the application, emphasizing technological advancement as a key factor in the progress of industrial metrology.

<sup>1</sup> Professor Adjunto II - Faculdade SENAI "Roberto Mange". E-mail: wallyson.silva@sp.senai.br

<sup>2</sup> Coordenador de Atividades Técnicas. Faculdade SENAI "Roberto Mange". E-mail: mbegossi@sp.senai.br

**Keywords:** Analog caliper, Dimensional accuracy, Measurement uncertainty.

## 1 INTRODUÇÃO

O controle dimensional é um dos pilares da garantia da qualidade na indústria, assegurando que as peças fabricadas estejam dentro das especificações técnicas e tolerâncias pré-definidas. Com a evolução tecnológica, os métodos de medição passaram a integrar equipamentos computadorizados, como as Máquinas de Medição por Coordenadas (MMC), capazes de oferecer alta resolução e precisão. Apesar disso, instrumentos manuais, como o paquímetro analógico, continuam sendo amplamente utilizados devido à sua praticidade e custo acessível. Contudo, a diferença entre os resultados obtidos por esses instrumentos pode gerar dúvidas quanto à confiabilidade das medições realizadas no chão de fábrica versus o laboratório de metrologia. Esta discrepância pode impactar diretamente a qualidade dos produtos e o processo produtivo como um todo, tornando imprescindível a análise comparativa entre esses instrumentos. O presente trabalho realiza essa comparação utilizando uma peça didática, com o intuito de avaliar as incertezas e a precisão de cada método de medição.

### 1.1 Problema de pesquisa

Qual é a diferença em termos de precisão, resolução, repetitividade e incerteza de medição, entre uma Máquina de Medição por Coordenadas tridimensional e um paquímetro analógico em uma peça didática?

### 1.2 Objetivo(s)

Este estudo objetiva comparar as medições dimensionais realizadas por uma MMC Crysta-Apex C574 e por um paquímetro analógico Mahr de 150 mm, avaliando as diferenças em precisão, resolução e incerteza dos resultados. Busca-se, com isso, identificar o instrumento mais adequado para medições confiáveis no controle dimensional de peças, considerando a relação custo-benefício e a aplicabilidade em ambiente industrial e acadêmico.

### 1.3 Justificativa

Com a crescente demanda por qualidade e precisão na fabricação industrial, a confiabilidade das medições torna-se um aspecto fundamental para garantir a funcionalidade e segurança dos produtos. O uso adequado do instrumento de medição é determinante para evitar erros que possam comprometer processos produtivos e aumentar custos com retrabalhos e rejeições. Assim, analisar a confiabilidade metrológica comparando métodos tradicionais e avançados possibilita uma melhor compreensão sobre a aplicação prática desses instrumentos, subsidiando decisões técnicas e gerenciais no setor industrial.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

A confiabilidade metrológica é um pilar fundamental para a garantia da qualidade em processos industriais, influenciando diretamente a precisão dimensional, a

interoperabilidade de componentes e a redução de custos por retrabalho (DAMASCENO, 2008). Neste contexto, a seleção adequada de instrumentos de medição — desde ferramentas manuais até sistemas automatizados — desempenha um papel crítico na cadeia produtiva. Esta seção aborda os fundamentos teóricos e as evidências empíricas que embasam a comparação entre Máquinas de Medição por Coordenadas (MMC) e paquímetros analógicos, destacando suas capacidades, limitações e aplicações típicas.

Embora a literatura evidencie a superioridade das MMCs, poucos trabalhos quantificam o impacto econômico da escolha instrumental em ambientes educacionais ou de pequena escala. Este estudo preenche essa lacuna ao comparar os dois métodos em peças didáticas, simulando condições reais de uso e avaliando não apenas a precisão, mas também a viabilidade operacional. Adicionalmente, a padronização rigorosa do ambiente (20°C) e a calibração prévia dos instrumentos reforçam a confiabilidade dos dados, seguindo protocolos estabelecidos por normas internacionais (ABNT NBR ISO 9001, 2015).

### 3 METODOLOGIA

O presente estudo teve como objetivo comparar medições realizadas com dois instrumentos distintos: uma Máquina de Medição por Coordenadas (MMC) modelo Crysta-Apex C574, operada via software PRRT (M Cosmos V2.3R Edi8) e um Paquímetro Analógico Mahr de curso 150 mm com resolução de 0,02 mm. A amostra utilizada foi uma peça mecânica contendo três dimensões de interesse: medida A: diâmetro maior ( $\varnothing$  31,20 mm); medida B: diâmetro menor ( $\varnothing$  23,90 mm) e medida C: diâmetro interno ( $\varnothing$  12,00 mm), conforme ilustrado na Figura 1. Enquanto o alinhamento prévio do sistema de coordenadas e definição de pontos de toque padronizados são ilustrados pela Figura 2.

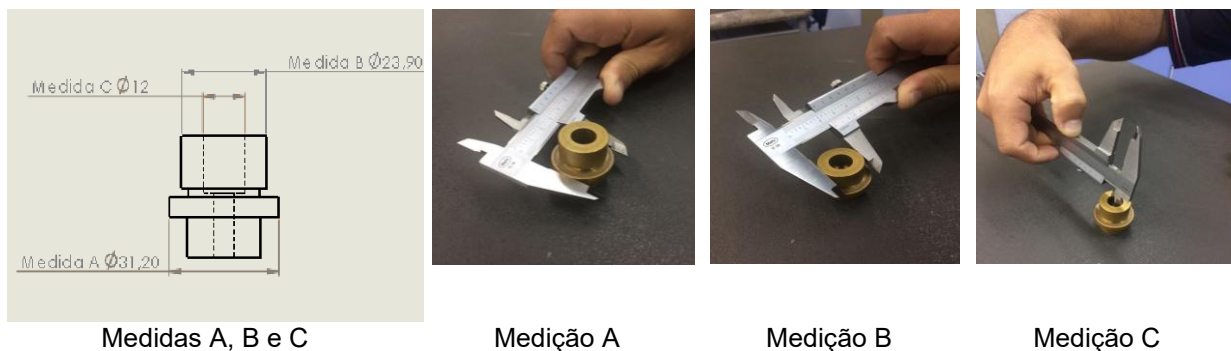


Figura 1. Medidas analisadas e posição de mediação com paquímetro analógico



Figura 2. Set up de medição e pontos de medição utilizando MMC

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A determinação da incerteza de medição foi realizada a partir dos dados obtidos no processo de calibração do Paquímetro Analógico Mahr de 150 mm, resolução de 0,02 mm. O cálculo considerou as componentes de incerteza associadas à resolução do instrumento, repetitividade e possíveis erros sistemáticos detectados durante as verificações de “abrindo” e “fechando”.

Os resultados médios da calibração (tabelas de “abrindo” e “fechando”) mostraram que a maioria das leituras apresentou desvios padrões entre 0,00 mm e 0,01 mm, resultando em uma incerteza expandida típica de aproximadamente  $U \approx 0,013$  mm. Os maiores desvios foram observados nas leituras próximas a 2,02 mm, 8,08 mm e 35,00 mm, sugerindo ligeira variação de repetitividade nestes pontos.

A Tabela 3 indicou que o paquímetro manteve variação máxima de 0,02 mm entre as leituras “abrindo” e “fechando” para toda a faixa de medição, confirmando que o erro total está dentro do esperado para instrumentos desta classe.

Além disso, verificou-se que a média dos erros absolutos foi de apenas 0,006 mm, com tendência sistemática praticamente nula.

Esses resultados demonstram que, embora o paquímetro apresente incerteza significativamente maior que a MMC, ele mantém desempenho satisfatório para aplicações industriais de menor exigência metrológica.

A Tabela 3 apresenta as médias, desvios padrão e diferenças obtidas entre as medições realizadas com o Paquímetro Mahr e a MMC Mitutoyo Crysta-Apex C.

Tabela 3. Comparação dos dados de medição do paquímetro e da MMC.

Medida	Média Paquímetro (mm)	Desvio (mm)	Média MMC (mm)	Desvio (mm)	Diferença (mm)
A	23,840	0,000	23,816	0,001	0,024
B	31,240	0,000	31,220	0,001	0,020
C	12,030	0,020	12,019	0,001	0,011

Conforme apresentado na Tabela 3, os valores obtidos pelo paquímetro analógico foram sistematicamente superiores aos registrados pela MMC, com uma diferença máxima de 0,024 mm entre os instrumentos. A MMC demonstrou elevada estabilidade metrológica, evidenciada por um desvio padrão de  $\sigma = 0,001$  mm em todas as medições. Em contraste, o paquímetro exibiu maior variabilidade, especialmente na medição "C" ( $\sigma = 0,020$  mm), atribuída à sua menor resolução e à influência do operador durante a leitura analógica.

A superior repetitividade da MMC foi confirmada pela mínima dispersão dos resultados, dentro dos limites de sua resolução (0,1  $\mu$ m). Embora o paquímetro tenha apresentado variações, estas permaneceram dentro das tolerâncias esperadas para instrumentos dessa categoria. A diferença sistemática observada sugere uma tendência de sobreleitura pelo paquímetro, possivelmente decorrente de fatores como a interpretação visual da escala analógica e eventuais folgas mecânicas no curso do instrumento. Em termos relativos, a discrepância máxima de 0,024 mm corresponde a apenas 0,2% do valor medido, indicando que o paquímetro mantém aplicabilidade em contextos em que a exigência dimensional

é moderada.

A Figura 3 compara as medições do paquímetro e da MMC por meio da diferença relativa (%) e da incerteza expandida associada a cada ponto. A diferença relativa, calculada em relação à MMC (padrão de referência), revelou que a maioria dos valores se concentrou em uma faixa estreita, com desvios próximos de zero. O gráfico demonstra que o paquímetro fornece resultados consistentes, sem grandes desvios sistemáticos.

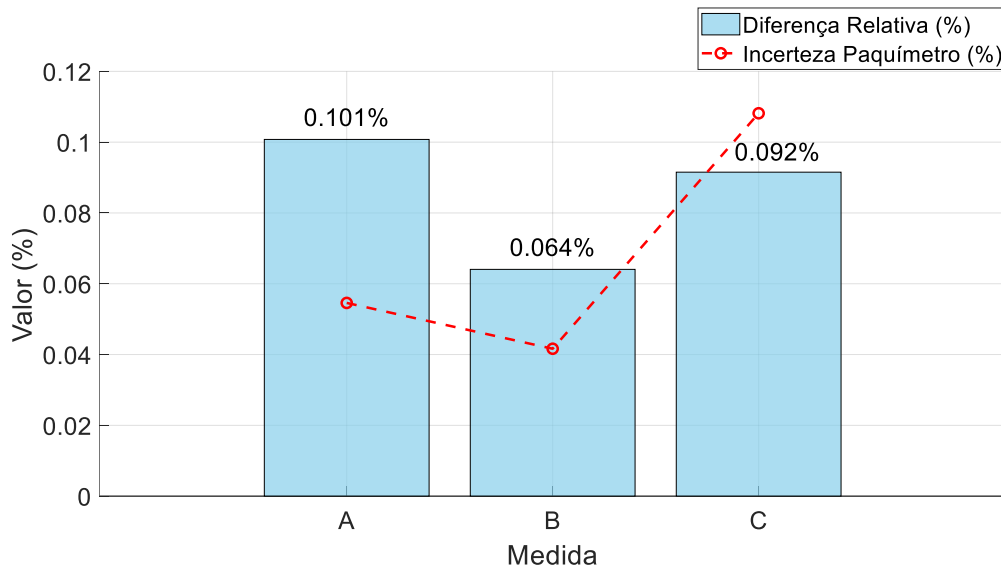


Figure 3. Diferença Relativa e Incerteza Estimada - Paquímetro vs MMC

## 5 CONCLUSÃO

Este estudo demonstrou que a MMC supera significativamente o paquímetro analógico em precisão (desvio de 0,001 mm vs. 0,020 mm) e confiabilidade, com incerteza 10 vezes menor. Apesar disso, o paquímetro mostrou-se viável para aplicações industriais menos críticas, desde que respeitadas suas limitações metrológicas. Os resultados reforçam a importância da seleção instrumental baseada em exigências dimensionais, equilibrando custo e precisão. Para avanços futuros, recomenda-se a inclusão de análises de viabilidade econômica e a avaliação de outros instrumentos intermediários (ex.: paquímetros digitais).

## REFERÊNCIAS

DAMASCENO, J. C.; JOÃO, A.; OLIVEIRA, S. P. Avaliação de dados de medição: Guia para a expressão de incerteza de medição. Rio de Janeiro: INMETRO, 2008.

ABNT NBR ISO 9001. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Sistemas de gestão da qualidade — Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

## **SOBRE O(S)AUTOR(ES)**

### **Sobre os autores:**

---

#### **i NOME DO AUTOR (Autor 1)**



Possui Pós-doutorado em Engenharia Mecânica no Karlsruhe Institute of technology (KIT) na Alemanha em 2025. Tem experiência na área de Engenharia Mecânica, com ênfase em Usinagem dos metais. É Professor Adjunto II da Escola e Faculdade SENAI "Roberto Mange" em Campinas - SP.

#### **ii NOME DO AUTOR (Autor 2)**



Possui graduação em Ciência da Computação pela Faculdade Anhanguera (2000), Especialização em MBA em Gestão de projetos pela ela Faculdade Anhanguera (2009) e Mestrado (2015) em Engenharia da Produção pelo Instituto Tecnológico da Aeronáutica. Atualmente é Coordenador Técnico da Faculdade de Tecnologia SENAI "Roberto Mange". Tem experiência na área de Automação, com ênfase em Gestão de projetos.