

Artigo Científico

PROPOSTA DE UMA METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DA NECESSIDADE DE CALIBRAÇÃO DE DISPOSITIVOS DE MEDIÇÃO: UMA ABORDAGEM COM TESTE-T PAREADO

Proposal of a methodology for assessing the need for calibration in measuring devices: a paired t-test approach

Sérgio Henrique Silva Junior*

Submetido em: 15.10.2024; Aceito em: 30.06.2025; Publicado em: 09.08.2025.

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro, campus Nilópolis. R. Lúcio Tavares, 1045, Centro, Nilópolis, RJ. CEP: 26530-060

***Autor para correspondência:** sergio.junior@ifrj.edu.br

Resumo: Ajustes e manutenções realizadas nos equipamentos podem impactar seu desempenho, tornando necessária uma reavaliação da calibração. Uma das metodologias estatísticas que pode ser utilizada para determinar a necessidade de calibração após ajustes é o *Teste-t pareado*. Este artigo explora a aplicação do *Teste-t pareado* na avaliação da necessidade de calibração e/ou manutenção, discutindo sua fundamentação teórica, aplicação prática e implicações para a qualidade dos processos

Palavras-chave: calibração, ajuste, metrologia, teste-t pareado, esfigmomanômetro.

Abstract: Adjustments and maintenance performed on equipment can impact its performance, making it necessary to reevaluate the calibration. One of the statistical methodologies that can be used to determine the need for calibration after adjustments is the *paired t-test*. This article explores the application of the paired t-test in the assessment of the need for calibration and/or maintenance, discussing its theoretical foundation, practical application and implications for the quality of the processes.

Keywords: calibration, fitting, metrology, paired t-test, sphygmomanometer.

INTRODUÇÃO

A metrologia é a ciência que compreende todos os aspectos relacionados às medições, sejam elas nas áreas de ciência, tecnologia, saúde e qualquer outra área que utilize dispositivos de medição. A metrologia tem como foco os resultados de medições associados à avaliação de suas incertezas. O resultado de uma medição sem a sua incerteza associada pode deixar dúvidas em relação a sua confiabilidade, pois o resultado de uma medição não corresponde a um único valor, mas a um intervalo de valores possíveis delimitado pela incerteza de medição associada (INMETRO, 2012).

Na metrologia, a calibração de dispositivos de medição é uma prática essencial em diversas indústrias e laboratórios, garantindo a precisão e confiabilidade das medições. Ajustes e manutenções realizadas nos equipamentos podem impactar seu desempenho, tornando necessária uma reavaliação da calibração.

Uma das metodologias estatísticas que pode ser utilizada para determinar a necessidade de calibração após ajustes é o *Teste-t pareado*. Este artigo explora a aplicação do Teste-t pareado na avaliação da necessidade de calibração e/ou manutenção, discutindo sua fundamentação teórica, aplicação prática e implicações para a qualidade dos processos.

A calibração é o processo de comparar as medições de um dispositivo com um MRC (Material de Referência Certificado), assegurando que os resultados estejam dentro de limites aceitáveis de precisão (INMETRO, 2012). Dispositivos de medição, como manômetros, termômetros e balanças, são utilizados em diversas aplicações, desde laboratórios até linhas de produção. A precisão dessas medições é vital para garantir a qualidade e segurança dos produtos. Além disso, a calibração é frequentemente regulamentada por normas de qualidade, como a ABNT NBR ISO 9001 e a ABNT NBR ISO/IEC 17025. A conformidade com essas normas não apenas assegura a integridade dos processos, mas também evita sanções e garante a confiança dos clientes (ABNT 2015; 2017).

Ajustes podem incluir a configuração de parâmetros do dispositivo, enquanto a manutenção envolve reparos ou substituições de componentes. Estas intervenções podem alterar a precisão do equipamento e, conseqüentemente, a necessidade de recalibração. Alguns ajustes podem implementar mudanças na configuração ou componentes desgastados, podendo resultar em desvios nas medições. Por exemplo, um termômetro cujo sensor foi substituído pode apresentar leituras diferentes das que apresentava anteriormente. Assim, uma avaliação sistemática da necessidade de calibração se torna essencial após essas intervenções.

No contexto de uma calibração, o custo pode ser relativamente alto, pois envolve a contratação de um laboratório acreditado, logística para envio e retorno do dispositivo, risco de dano ou perda do dispositivo durante o trajeto de ida e retorno para calibração e atualização do sistema de gestão com as novas informações sobre o dispositivo.

MATERIAL E MÉTODOS

O *Teste-t pareado* é uma técnica estatística utilizada para comparar as médias de duas amostras relacionadas. É particularmente útil em situações em que medições são realizadas antes e depois de uma intervenção, como ajustes ou manutenções em dispositivos de medição. Este teste estatístico baseia-se na hipótese nula (H_0) de que não há diferença significativa entre as duas médias. A hipótese alternativa (H_1) sugere que existe uma diferença, neste caso a hipótese alternativa indica que houve uma mudança significativa, indicando a necessidade de uma nova calibração. A equação do *Teste-t pareado* é ilustrada na equação 1 (TRIOLA, 2017; MORETTIN & BUSAB, 2017).

Equação 1

$$T_{calc} = \frac{\bar{D}}{\left(\frac{s_D}{\sqrt{n}}\right)}$$

Onde:

- $\bar{D}$ é a média das diferenças das medições
- S_D é o desvio padrão das diferenças,
- n é o número valores em um conjunto de dados.

Para aplicar o *Teste-t pareado* na avaliação da necessidade de calibração e/ou manutenção, as seguintes etapas devem ser seguidas:

1. Realizar medições com o dispositivo “antes” (dados do certificado de calibração, por exemplo) e “após” uma verificação, ajuste ou manutenção, considerando as características ambientais das medições em “antes” como temperatura, umidade e quaisquer fatores que possam impactar a medição. Todas as medições devem ser realizadas por um mesmo operador e em curto espaço de tempo (no mesmo dia por exemplo).
2. Determinar as diferenças entre as medições pareadas.
3. Calcular o valor do *Teste-t pareado* (T_{calc}) e compará-lo com um valor crítico da distribuição *t-Student* (tabela *t-Student* bi-caudal), considerando um nível de significância (por exemplo, 0,05).
4. Se o valor de t calculado for maior que o valor crítico, rejeita-se, a hipótese nula, indicando que a calibração é necessária.

Para ilustrar a aplicação do *Teste-t pareado* na avaliação da necessidade de calibração, considere um esfigmomanômetro aneroide, ilustrado na Figura 1, que utiliza um indicador mecânico (manômetro) para medir a pressão arterial em pessoas. Após a manutenção de rotina recomendada, as medições do manômetro antes da manutenção foram comparadas com as medições obtidas após a manutenção de rotina.



Figura 1. Ilustração de um esfigmomanômetro aneroide mecânico. Fonte: CENTERCOR HOSPITALAR, (2024)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 ilustra os resultados das medições antes e depois do ajuste, onde a unidade de trabalho é em mmHg, mas representada no SI (sistema internacional de unidades) em Pa (Pascal). Os pontos de medição recomendados para um esfigmomanômetro aneróide mecânico são: 4 kPa (30 mmHg), 9 kPa (70 mmHg), 12 kPa (90 mmHg), 13 kPa (100 mmHg), 20 kPa (150 mmHg), 26 kPa (200), 33(250 mmHg) e 40 kPa (300 mmHg), definidos pelo documento disponibilizado pelo INMETRO NIE-DIMEL-006 (INMETRO, 2005; SILVA-JÚNIOR & MONTEIRO, 2008). Para este exemplo foram utilizados os resultados de medição obtidos para o ponto de 13 kPa (100 mmHg) ilustrado no Quadro 1.

Medição antes	Medição depois
105	100
104	100
106	101
100	100
105	101

Quadro1. Resultados das medições “antes” e “depois”. Fonte: autoria própria.

O cálculo do *Teste-t pareado* foi realizado utilizando planilha eletrônica Excel e nível de significância de 0,05 (5%), na opção ferramentas de análise de dados e selecionado-se o *Teste-t em par para médias*. A tabela 1 ilustra o resultado obtido.

Teste-t: duas amostras em par para médias	Medição Antes	Medição Depois
Média	104	100,4
Variância	5,5	0,3
Observações	5	5
Correlação de Pearson	0,583874208	
Hipótese da diferença de média	0	
gl	4	
Stat t	3,881979835	(Tcalc)
P(T<=t) uni-caudal	0,008905663	
t crítico uni-caudal	2,131846786	
P(T<=t) bi-caudal	0,017811325	
t crítico bi-caudal	2,776445105	(Valor Tabelado)

Tabela 1. Resultado do Teste-t pareado calculado utilizando a planilha eletrônica Excel. Fonte: autoria própria.

Na interpretação do resultado do *Teste-t pareado*, o valor calculado (*Tcalc* – no Excel: *Stat t*) é maior que o valor tabelado (t crítico bi-caudal). Neste caso rejeita-se a hipótese H_0 (sem diferença significativa) e aceita-se a hipótese H_1 (existe diferença significativa). Neste exemplo conclui-se que existe a necessidade de uma nova calibração, pois a média das medições de “antes” possui uma diferença estatisticamente significativa em relação a média dos resultados obtidos depois da manutenção de rotina.

Portanto, aceitar a hipótese H_1 também indica que a manutenção teve um efeito significativo no dispositivo.

A utilização do Teste-t pareado para avaliar a necessidade de calibração após ajustes ou manutenções traz alguns benefícios:

- Redução de custos: Avaliações sistemáticas podem evitar calibrações desnecessárias, economizando recursos e tempo. Isso é particularmente relevante em ambientes de alta demanda, onde a eficiência operacional é crucial.
- Melhoria na qualidade: A calibração adequada garante que os dispositivos mantenham um padrão de qualidade elevado. Isso é vital para setores onde a precisão das medições é crítica, como na indústria farmacêutica e em laboratórios clínicos.
- Conformidade com normas e requisitos legais: Utilizar métodos estatísticos na avaliação da calibração não apenas fortalece a conformidade com normas de qualidade, mas também fornece uma base sólida para auditorias e certificações.

A calibração de dispositivos de medição é um componente vital na garantia da precisão e confiabilidade das medições, especialmente após ajustes ou manutenções. O uso do *Teste-t pareado* oferece uma abordagem estatística robusta para avaliar a necessidade de calibração, permitindo decisões informadas e baseadas em dados. Ao adotar essa metodologia, as organizações podem melhorar a qualidade de seus processos, reduzir custos e garantir a conformidade com regulamentações. A combinação de práticas rigorosas de calibração com técnicas estatísticas avançadas, como o *Teste-t pareado*, representa uma melhoria na gestão da qualidade em ambientes industriais e laboratoriais.

REFERÊNCIAS

- INMETRO. **Avaliação de dados de medição: Guia para a expressão de incerteza de medição – GUM 2008**. Duque de Caxias, RJ: INMETRO/CICMA/SEPIN, 2012. 141 p.
- ABNT NBR ISO 9001, **Sistemas de gestão da qualidade – Requisitos**. 2015.
- ABNT NBR ISO/IEC 17025. **Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração**, 2017
- TRIOLA, MF. **Introdução à Estatística**. Ed. Grupo Editorial Nacional/LTC. 12ª edição. 2017.
- MORETTIN, PA.; BUSSAB, WO. **Estatística Básica**. São Paulo, SP. Saraiva. 9ª edição. 2017.
- CENTERCOR HOSPITALAR. Site da internet. <https://www.centercorhospitalar.com.br/esfigmomanometro-aneloide-comestetoscopiaesfs50n/p>. Acesso em 15/10/2024.
- INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. NIE-DIMEL-006. **Rev02 - Procedimentos de Verificação e Inspeção de Esfigmomanômetros Mecânicos**. INMETRO, Rio de Janeiro, 2005. Disponível em <http://www.inmetro.gov.br/kits/niedimel006r02.pdf>. Acesso em 15 de outubro de 2024.
- SILVA-JUNIOR, SE; MONTEIRO, EC. **Incerteza de medição na avaliação da conformidade de Esfigmomanômetros mecânicos**. Publicado nos anais do XXI Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica. Novembro, 2008. P. 1-4.