

ESTUDO COMPARATIVO DE ESTABILIDADE DE SISTEMAS DE MEDIÇÃO COM BASE NA CAPABILIDADE E NO ERRO NORMALIZADO

Fernando Jose Pereira de Melo Neto (Instituto Federal de Pernambuco) E-mail:

fjpmn@discente.ifpe.edu.br

Esdras Weber Soares de Melo (Instituto Federal de Pernambuco) E-mail: ewsm@discente.ifpe.edu.br

José Eduardo Ferreira de Oliveira (Instituto Federal de Pernambuco) E-mail:

joseferreira@recife.ifpe.edu.br

Resumo: O estudo de capacidade aplicado a sistemas de medição vem sendo utilizado para acompanhar a estabilidade dos mesmos e para a verificação de aptidão de processos de medição. Por sua vez, o erro normalizado é um instrumento comparativo analítico utilizado para acompanhar e determinar o quanto um instrumento ou sistema de medição difere de um padrão. A proposta deste artigo é estabelecer um estudo que relaciona o comportamento do erro normalizado e do coeficiente de capacidade (Cdl^*), no tocante a se acompanhar a estabilidade de um projetor de perfil e de um microscópio de medição, por meio destes dois parâmetros, utilizando-se arames calibrados como padrões. Através deste estudo foi possível se responder as seguintes questões: Os dois parâmetros possuem comportamentos semelhantes para acompanhamento dos dois sistemas de medição? Um parâmetro está mais susceptível a detectar variabilidade que outro? Um parâmetro é mais efetivo que outro? A metodologia desenvolvida e adotada para utilização do erro normalizado como uma ferramenta de acompanhamento da estabilidade dos sistemas de medição estudados se mostrou eficiente?

Palavras-chave: Coeficiente de capacidade, Cdl^* , Erro normalizado, Incerteza de medição, Sistema de medição.

MEASUREMENT SYSTEMS STABILITY STUDY BASED ON CAPABILITY AND NORMALIZED ERROR

Abstract: The capability study applied to measurement systems has been used to monitor their stability and to verify the suitability of measurement processes. In turn, normalized error is an analytical comparative tool used to monitor and determine how much an instrument or measurement system differs from a standard. The purpose of this article is to establish a study that relates the behavior of normalized error and the capability coefficient (Cdl^*) regarding monitoring the stability of a profile projector and a measuring microscope, through these two parameters, using calibrated wires as standards. Through this study, it was possible to answer the following questions: Do both parameters have similar behaviors for monitoring the two measurement systems? Is one parameter more susceptible to detecting variability than the other? Is one parameter more effective than the other? Did the methodology developed and adopted for the use of normalized error as a tool for monitoring the stability of the studied measurement systems prove to be efficient?

Keywords: Capability coefficient, Cdl^* , Normalized error, Uncertainty in measurement, Measurement system.

1. Introdução

Uma das principais ações dentro do controle metrológico diz respeito ao acompanhamento do status de calibração de instrumentos e sistemas de medição ao longo do intervalo de calibração, através de verificações intermediárias. De acordo com Oliveira (2008), a estabilidade de um instrumento de medição, ou sistema de medição, ou material de referência ou uma medida materializada é a capacidade do mesmo manter perceptivelmente inalteradas suas características metrológicas.

Uma das formas de se acompanhar a estabilidade de instrumentos é através da utilização

de coeficientes de capacidade específicos para esse fim. Dentre eles, destaca-se o coeficiente Cdl^* (Oliveira et al., 2021). Além disto, o erro normalizado é um parâmetro utilizado para comparar uma determinada medição ou calibração, com uma referência. Dentro deste contexto, este estudo pensou em utilizar o erro normalizado como um parâmetro de acompanhamento da estabilidade de um projetor de perfil e de um microscópio de medição, estabelecendo a metodologia de tomar a primeira medição após uma calibração, como sendo a medição de referência, e, a partir daí, comparar sempre as medições posteriores com tal referência. Todas as vezes em que o erro normalizado apresentar valor menor ou igual a 1, considerou-se que o instrumento de medição permaneceu estável, ou seja, a medição realizada encontra-se compatível com a de referências, de modo a não existir variação expressiva no instrumento.

Este estudo também visou a realização de uma comparação entre o erro normalizado e o coeficiente Cdl^* , com o objetivo de verificar a sensibilidade do erro normalizado às variações dos instrumentos ao longo do tempo.

2. Referencial teórico

Há diversos coeficientes de capacidade que podem ser aplicados a processos, sistemas ou equipamentos de medição específicos (Polák, 2014). No caso do Cdl^* observado na Equação 1, verifica-se se determinado instrumento de medição ou sistema de medição poderá ser utilizado para realização de determinada medição com confiabilidade ou para se acompanhar a estabilidade tanto de instrumentos quanto de sistemas de medição (Oliveira et al., 2021) (Oliveira et al., 2021).

$$Cdl^* = \frac{U}{3 \sqrt{\left(\frac{s}{\sqrt{n}}\right)^2 + \left(\frac{U_{cal}}{K_{cal}}\right)^2}} * l \quad (1)$$

Onde: U é a incerteza máxima de medição aceitável; s é o desvio padrão amostral; n é o tamanho da amostra; U_{cal} é a incerteza herdada do instrumento ou do sistema de medição; K_{cal} é o fator de abrangência associado à incerteza U_{cal} ; e l é a razão entre indicação da média aritmética (\bar{X}) e do valor nominal (VN), conforme apresentado na Equação 2 e na Equação 3, tomando-se o menor valor entre as duas equações.

$$\text{Se } \bar{X} < vn, \text{ então } l = \frac{\bar{X}}{vn} \quad (2)$$

$$\text{Se } \bar{X} \geq vn, \text{ então } l = \frac{vn}{\bar{X}} \quad (3)$$

O erro normalizado, observado na Equação 4, é usado para comparação de dados estatísticos entre resultados de referência e resultados obtidos em laboratório (HOGAN, 2015). Neste estudo, utilizou-se os primeiros dados obtidos após a calibração como os dados de referência com o objetivo de estudar o comportamento desses dados estatísticos realizando um estudo de acompanhamento ao longo do tempo.

$$E_n = \frac{|X_{lab} - X_{ref}|}{\sqrt{U_{mlab}^2 - U_{mref}^2}} \quad (4)$$

Onde: X_{lab} é a média dos dados obtidos em laboratório; X_{ref} é a média dos dados de referência obtidos após a calibração da cada instrumento; U_{mlab} é a incerteza expandida

dos dados obtidos em laboratório; U_{mref} é a incerteza expandida dos dados de referência obtidos após a calibração de cada instrumento.

Para obter os valores tanto do erro normalizado quanto do Cdl^* é preciso entender e calcular as incertezas de medição (GUM, 2012) (ALBERTAZZI, 2008). Para obtenção da incerteza expandida de medição (U), tanto para as medições realizadas com o projetor de perfil, quanto as realizadas no microscópio de medição, foram inicialmente, calculadas as seguintes fontes de incerteza padrão: incerteza estatística i_A , conforme Equação 5; incerteza herdada i_h , conforme Equação 6, onde U_{cal} é a incerteza obtida do certificado de calibração do instrumento e k_{cal} é o fator de abrangência associado a essa incerteza; i_r é a incerteza devida à resolução do instrumento, de acordo com a Equação 7, sendo r a resolução do instrumento e i_t a incerteza devida ao afastamento da temperatura de referência que para este caso é de $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$ (Nasa, 2010) (Brunelli, 2017), sendo α o coeficiente de dilatação linear do instrumento e \bar{T} , a temperatura média durante a medição. A Equação 8 apresenta essa fonte de incerteza padrão.

$$i_A = \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (5)$$

$$i_h = \frac{U_{cal}}{k_{cal}} \quad (6)$$

$$i_r = \frac{r}{2\sqrt{3}} \quad (7)$$

$$i_t = \frac{\bar{\alpha} \cdot \alpha \cdot (\bar{T} - 20)}{\sqrt{3}} \quad (8)$$

O passo seguinte diz respeito à determinação da incerteza combinada (u_c), conforme Equação 9. É importante salientar que a confiabilidade da incerteza combinada é de aproximadamente 68%. Daí, a necessidade de expandir essa confiabilidade para aproximadamente 95%, multiplicando-se a incerteza combinada por um fator de abrangência k , que é obtido pela distribuição t-Student, a partir da Equação 10, através da determinação do número de graus efetivos de liberdade (v_{eff}). A Equação 11 apresenta a incerteza expandida de medição.

$$u_c = \sqrt{i_A^2 + i_h^2 + i_r^2 + i_t^2} \quad (9)$$

$$v_{eff} = \frac{u_c^4 \cdot (n-1)}{i_A^4} \quad (10)$$

$$U_m = k \cdot u_c \quad (11)$$

A partir do cálculo da incerteza expandida é possível extrair os valores estatísticos para o coeficiente Cdl^* e para o erro normalizado. Depois, deve-se realizar uma comparação de forma analítica e procurar estabelecer um padrão para ajudar a ver como se comporta determinado sistema de medição com o passar do tempo (Montgomery, 2019), e já que os dados advêm de instrumentos de medição que são impulsionados por corrente elétrica, tanto o projetor de perfil quanto o microscópio de medição, esses dados estatísticos podem ser usados para observar a sua qualidade e a constância ao longo do tempo, e possivelmente estabelecer um período de calibração dos mesmos e, principalmente, verificar se a calibração, juntamente com seus resultados, permanecem válidos.

3. Método de pesquisa

Sucedem-se o desenvolvimento da coleta e validação de dados laboratoriais extraídos do projetor de perfil e do microscópio de medição, dados esses que logo após são submetidos a testes estatísticos para geração dos coeficientes Cdl^* e do erro normalizado, e que se tornarão ferramentas de comparação analítica com auxílio de recursos visuais para estabelecer padrões comportamentais ao longo do tempo.

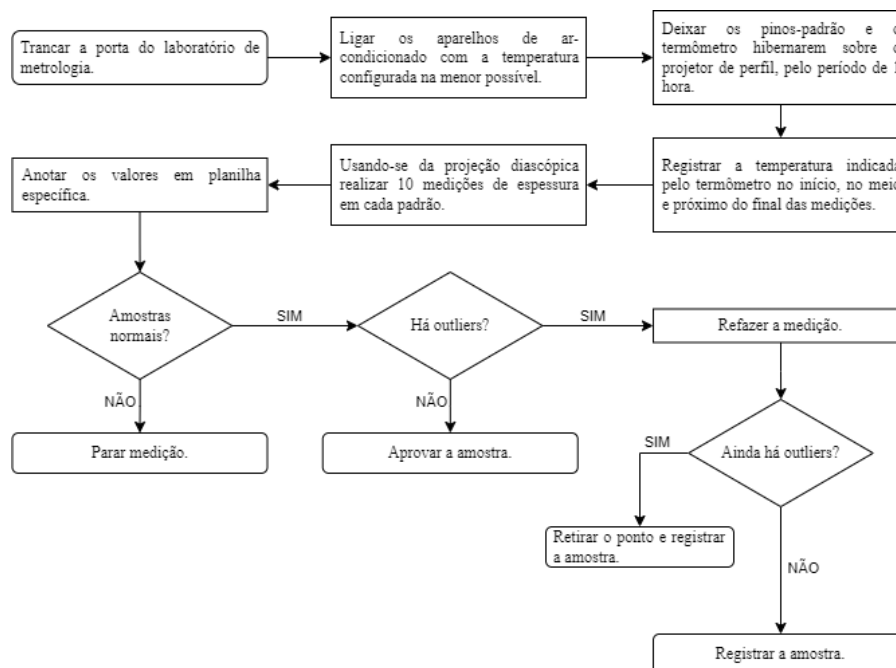
3.1 Medição em laboratório

Para que se estabeleça uma análise correta, ou seja, com o objetivo de minimizar os erros sistemáticos e incertezas de medição, os dados medidos em laboratório precisam ser coletados seguindo um determinado protocolo padrão de trabalho (Neto, 2007), que estabelece normas e um passo a passo a ser seguido, a Figura 1 ilustra a instrução de trabalho utilizada para coleta dos dados deste estudo comparativo para o projetor de perfil, no laboratório de Metrologia dimensional, em conformidade com a NBR ISO/IEC 17025 (2017). A Figura 2 apresenta o arame calibrado com seu diâmetro sendo medido no projetor de perfil, utilizando-se a projeção diascópica, enquanto a Figura 3, ilustra a medição do arame calibrado no microscópio de medição, também utilizando-se a projeção diascópica.

O projetor de perfil possui as seguintes características: Tipo: digital; Marca: Pantec; Menor divisão: 0,001 mm; Incerteza U_{cal} : 0,004 mm; Fator de abrangência k_{cal} : 2,0, Incerteza máxima permitida: 0,02 mm.

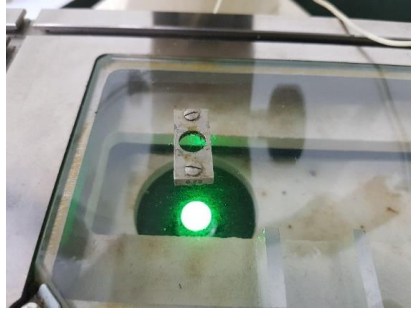
Por sua vez, o microscópio de medição apresenta as seguintes características: Tipo: analógico; Marca: Mitutoyo; Menor divisão: 0,005 mm; Incerteza U_{cal} : 0,008 mm; Fator de abrangência k_{cal} : 2,0; Incerteza máxima permitida: 0,04 mm.

Foram realizadas 10 medições em cada um dos três arames calibrados de 0,22 mm, 0,29 mm e 0,335 mm de diâmetro, como os observados na Figura 4. É importante ainda destacar que ambos os instrumentos estão sendo normalmente usados no laboratório e que estas medições são realizadas semanalmente durante um período de um ano.



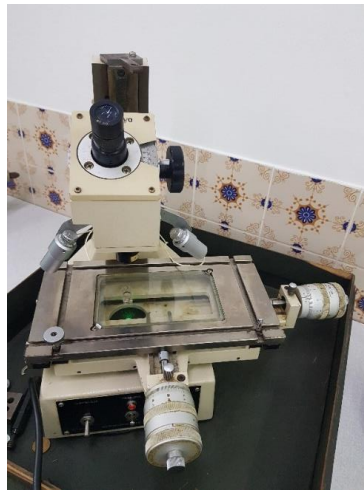
Fonte: arquivo dos autores.

Figura 1 – Instrução de trabalho utilizada para extrair medições de forma controlada no laboratório



Fonte: arquivo dos autores.

Figura 2 – Destaque da medição do arame calibrado no projetor de perfil utilizando a projeção diascópica



Fonte: arquivo dos autores.

Figura 3 – Medição do arame calibrado no microscópio de medição, utilizando-se a projeção diascópica



Fonte: arquivo dos autores.

Figura 4 – Arames calibrados de 0,22 mm e 0,29 mm

3.2 Análise dos dados

O tratamento dos dados é de grande importância quanto a uma obtenção de dados precisos e dentro da curva de normalidade (Thompson,2001). Sendo assim, logo após as medições dos diâmetros dos três pinos padrões seguindo-se o passo a passo da instrução de trabalho no laboratório, realiza-se o tratamento dos dados para verificação de normalidade das amostras, aplicando-se, por exemplo, o teste de Shapiro-Wilk (Shapiro, 1965) e possíveis *outliers* (Grubbs, 1969) (Sheskin, 2003) (Kapur, 2014), e, em seguida, calcula-se o Cdl^* . É importante destacar que o Cdl^* pode ser calculado para qualquer

amostra, seja de referência ou de acompanhamento, em contrapartida o erro normalizado necessita de uma amostra de referência (Hogan, 2015), que neste caso, tomou-se a primeira amostra obtida após a calibração de cada instrumento, com o objetivo de analisar uma possível mudança de comportamento estatístico ao longo do tempo.

4. Resultados e discussões

Semanalmente, são realizadas 10 medições com cada um dos 3 arames calibrados, tanto no projetor de perfil, quanto no microscópio de medição. O estudo apresentado considerou as 8 primeiras semanas, tendo-se, portanto, 8 amostras, além da amostra de referência que foi gerada após a calibração de cada instrumento. Assim, as Tabelas 1, 2 e 3 apresentam os valores medidos com os arames calibrados de 0,22 mm; 0,29 mm e 0,335 mm, respectivamente para o projetor de perfil. Por sua vez, as Figuras 5, 6 e 7 apresentam as comparações entre tendência central e variabilidade, para os dados referentes às Tabelas 1, 2 e 3, respectivamente. Os *boxplots* foram gerados através do software R (R Core Team, 2023).

Tabela 1 - Medições no projetor de perfil com o arame calibrado de 0,22 mm

Amostra	Medições (mm)									
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10
Referência	0,222	0,222	0,221	0,219	0,219	0,219	0,22	0,219	0,223	0,223
1	0,221	0,218	0,217	0,221	0,217	0,223	0,219	0,216	0,219	0,218
2	0,222	0,221	0,218	0,223	0,223	0,223	0,222	0,22	0,217	0,223
3	0,217	0,216	0,215	0,217	0,221	0,221	0,218	0,223	0,218	0,218
4	0,223	0,221	0,225	0,22	0,225	0,226	0,222	0,223	0,225	0,223
5	0,218	0,219	0,223	0,218	0,221	0,224	0,219	0,222	0,222	0,221
6	0,22	0,219	0,223	0,218	0,215	0,215	0,224	0,22	0,225	0,218
7	0,218	0,215	0,22	0,222	0,22	0,22	0,219	0,218	0,223	0,222
8	0,222	0,22	0,218	0,218	0,217	0,219	0,223	0,221	0,222	0,223

Fonte: dados da pesquisa.

Tabela 2 - Medições no projetor de perfil com o arame calibrado de 0,29 mm

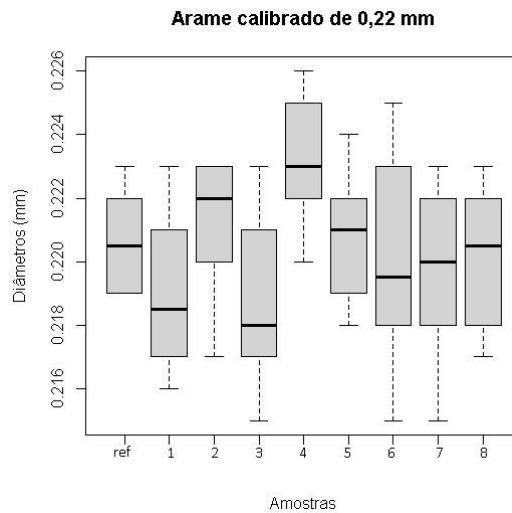
Amostra	Medições (mm)									
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10
Referência	0,29	0,291	0,285	0,287	0,283	0,295	0,291	0,289	0,288	0,296
1	0,289	0,285	0,286	0,283	0,286	0,288	0,288	0,287	0,287	0,283
2	0,289	0,289	0,287	0,29	0,288	0,293	0,296	0,292	0,294	0,294
3	0,291	0,287	0,291	0,287	0,284	0,285	0,289	0,292	0,287	0,288
4	0,284	0,291	0,29	0,291	0,291	0,284	0,288	0,28	0,292	0,284
5	0,295	0,295	0,293	0,295	0,296	0,296	0,288	0,294	0,29	0,29
6	0,29	0,286	0,289	0,287	0,294	0,292	0,294	0,287	0,284	0,288
7	0,29	0,287	0,285	0,29	0,291	0,292	0,29	0,288	0,285	0,288
8	0,293	0,291	0,287	0,288	0,292	0,289	0,295	0,293	0,291	0,295

Fonte: dados da pesquisa.

Tabela 3 - Medições no projetor de perfil com o arame calibrado de 0,335 mm

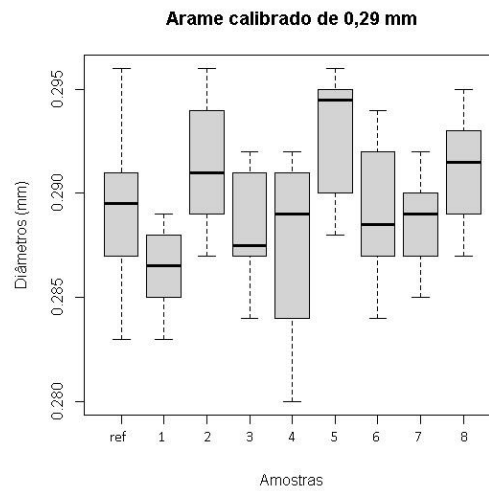
Amostra	Medições (mm)									
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10
Referência	0,333	0,335	0,334	0,332	0,331	0,335	0,336	0,334	0,334	0,332
1	0,334	0,338	0,335	0,332	0,337	0,333	0,334	0,333	0,343	0,342
2	0,328	0,332	0,332	0,334	0,328	0,334	0,333	0,333	0,33	0,332
3	0,329	0,331	0,325	0,333	0,325	0,326	0,327	0,328	0,329	0,325
4	0,335	0,328	0,328	0,325	0,324	0,331	0,335	0,332	0,327	0,33
5	0,341	0,343	0,339	0,339	0,34	0,346	0,339	0,34	0,346	0,343
6	0,338	0,334	0,331	0,334	0,334	0,335	0,333	0,335	0,33	0,33
7	0,333	0,332	0,33	0,335	0,337	0,335	0,338	0,33	0,332	0,33
8	0,338	0,333	0,335	0,333	0,337	0,335	0,33	0,337	0,33	0,332

Fonte: dados da pesquisa.



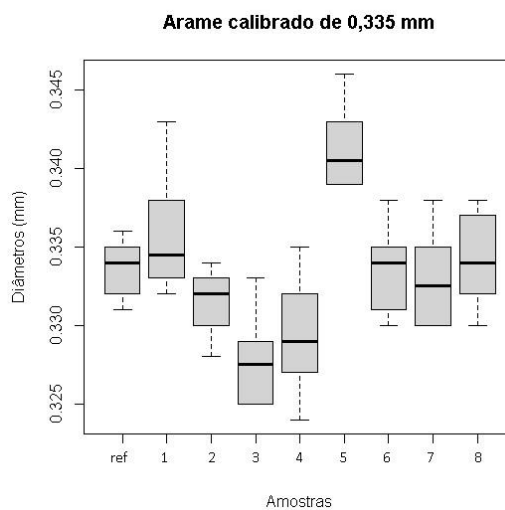
Fonte: dados da pesquisa.

Figura 5 – *Boxplot* dos dados amostrais obtidos no projetor de perfil com o arame de 0,22 mm



Fonte: dados da pesquisa.

Figura 6 – *Boxplot* dos dados amostrais obtidos no projetor de perfil com o arame de 0,29 mm



Fonte: dados da pesquisa.

Figura 7 – *Boxplot* dos dados amostrais obtidos no projetor de perfil com o arame de 0,335 mm

Analisando-se as Figuras 5, 6 e 7, fica clara tanto as variações de tendência central, quanto as diferenças na variabilidade, no entanto, vale ressaltar que para os arames de 0,22 mm e de 0,29 mm, a amostra de referência apresentaram as suas respectivas medianas mais próximas dos respectivos valores nominais, situação que não ocorreu com o arame de 0,335 mm, onde a amostra 1 foi a que apresentou a mediana mais próxima do valor nominal. Outra situação que vale ressaltar diz respeito à amostra de referência do arame de 0,29 mm que apresentou a maior amplitude de todas as amostras, ao contrário das amostras de 0,22 mm e 0,335 mm que apresentaram as menores amplitudes. Logo, verifica-se que analisando-se apenas as amostras, mesmo em conjunto como em cada *boxplot*, não é possível se afirmar que as variações sofridas são expressivas a ponto de se achar que o instrumento deixou de ser estável, havendo, portanto, a necessidade de determinar os valores do erro normalizado, que à princípio não é comumente utilizado para esse fim, e o coeficiente de capacidade *Cdl** que tem como um dos seus propósitos, essa finalidade. Dentro deste contexto, as Tabelas 4, 5 e 6 apresentam os valores do erro normalizado e do coeficiente de capacidade *Cdl**, obtidos no projetor de perfil para os arames de 0,22mm, 0,29 mm e 0,335 mm, respectivamente.

Tabela 4 - Dados do erro normalizado e *Cdl** referentes ao arame de 0,22 mm no projetor de perfil

Amostra	Erro normalizado (%)	<i>Cdl*</i>
Referência	-	3,21
1	0,30	3,14
2	0,08	3,13
3	0,38	3,08
4	0,44	3,14
5	0,00	3,15
6	0,16	2,92
7	0,17	3,12
8	0,07	3,14

Fonte: dados da pesquisa.

Tabela 5 - Dados do erro normalizado e *Cdl** referentes ao arame de 0,29 mm no projetor de perfil

Amostra	Erro normalizado (%)	<i>Cdl*</i>
Referência	-	2,80
1	0,51	3,13
2	0,26	3,00
3	0,21	3,06
4	0,29	2,76
5	0,56	3,00
6	0,06	2,93
7	0,14	3,10
8	0,29	3,04

Fonte: dados da pesquisa.

Tabela 6 - Dados do erro normalizado e *Cdl** referentes ao arame de 0,335 mm no projetor de perfil

Amostra	Erro normalizado (%)	<i>Cdl*</i>
Referência	-	3,22
1	0,40	2,84
2	0,33	3,11
3	0,96	2,99
4	0,65	2,81
5	1,32	3,00
6	0,03	3,08
7	0,07	3,01
8	0,07	3,03

Fonte: dados da pesquisa.

As Tabelas 7, 8 e 9 apresentam os valores do erro normalizado e do coeficiente de capacidade Cdl^* , obtidos no microscópio de medição para os arames de 0,22mm, 0,29 mm e 0,335 mm, respectivamente.

Tabela 7 - Dados do erro normalizado e Cdl^* referentes ao arame de 0,22 mm no microscópio de medição

Amostra	Erro normalizado (%)	Cdl^*
Referência	-	3,25
1	0,30	3,14
2	0,11	3,13
3	0,25	2,98
4	0,33	3,21
5	0,40	3,22
6	0,44	3,14
7	0,09	3,22
8	0,09	3,12

Fonte: dados da pesquisa.

Tabela 8 - Dados do erro normalizado e Cdl^* referentes ao arame de 0,29 mm no microscópio de medição

Amostra	Erro normalizado (%)	Cdl^*
Referência	-	3,18
1	0,51	3,13
2	0,17	3,00
3	0,10	2,87
4	0,40	3,26
5	0,59	3,00
6	0,67	3,13
7	0,36	3,17
8	0,46	2,98

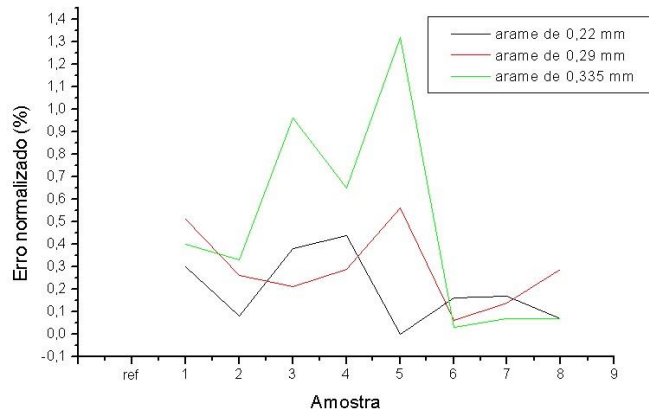
Fonte: dados da pesquisa.

Tabela 9 - Dados do erro normalizado e Cdl^* referentes ao arame de 0,335 mm no microscópio de medição

Amostra	Erro normalizado (%)	Cdl^*
Referência	-	3,19
1	0,40	2,84
2	0,33	3,11
3	0,53	2,99
4	0,11	2,99
5	0,71	3,18
6	0,69	3,17
7	0,58	3,22
8	0,56	3,15

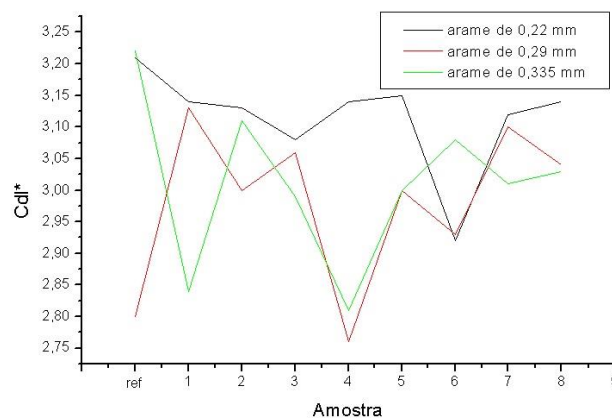
Fonte: dados da pesquisa.

A Figura 8 apresenta a variação do erro normalizado e a Figura 8 apresenta a variação do coeficiente Cdl^* nos três arames calibrados com os diâmetros medidos no projetor de perfil. Analisando-se as duas figuras, é possível se verificar que não há um comportamento igual para cada um dos arames utilizados. Porém, percebe-se que as amostras 6, 7 e 8 apresentam dispersões menores tanto em relação ao erro normalizado quanto ao coeficiente Cdl^* .



Fonte: dados da pesquisa.

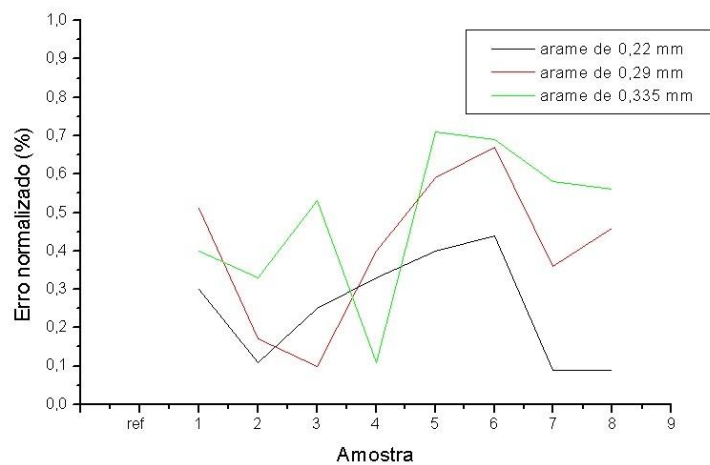
Figura 8 – Erro normalizado para cada arame calibrado no projetor de perfil



Fonte: dados da pesquisa.

Figura 9 – Coeficiente Cdl* para cada arame calibrado no projetor de perfil

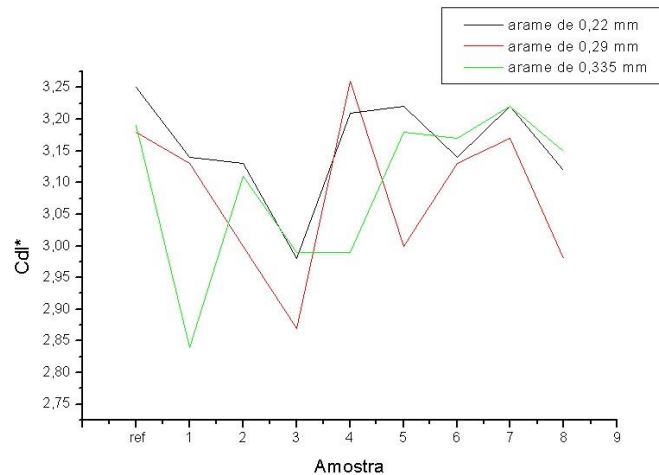
A Figura 10 apresenta o erro normalizado para cada os arames de 0,22 mm, 0,29 mm e 0,335 mm. Analisando-se esta figura, verifica-se, no geral, um comportamento semelhante entre as três curvas, principalmente com relação aos arames com diâmetros de 0,22 mm e 0,29 mm.



Fonte: dados da pesquisa.

Figura 10 - Erro normalizado para cada arame calibrado no microscópio de medição

A Figura 11 apresenta as variações sofridas ao longo do tempo pelo coeficiente Cdl^* com relação aos arames de 0,22 mm, 0,29 mm e 0,335 mm. As curvas mostradas nesta figura também apresentam, no geral, um comportamento semelhante, principalmente em relação



Fonte: dados da pesquisa.

Figura 11 – Coeficiente Cdl^* para cada arame calibrado no microscópio de medição

5. Conclusões

De acordo com os dados apresentados, não foi possível se estabelecer uma relação entre o comportamento do erro normalizado e o do coeficiente Cdl^* . Porém, ambos os parâmetros indicaram que tanto o projetor de perfil quanto o microscópio de medição permaneceram estáveis no intervalo de tempo apresentado até este momento. Esta metodologia continuará sendo aplicada até que os dois parâmetros apresentem, continuamente, e não pontualmente, valores fora dos seus limites. A partir daí, será aplicada a engenharia reversa com métodos empíricos de ajuste de intervalos de calibração, para se verificar quais deles se apresentarão mais próximos dos intervalos de perda da estabilidade por meio do erro normalizado e do coeficiente de capacidade empregado.

Não houve correlação entre o coeficiente Cdl^* e o erro normalizado nas amostras do projetor de perfil. Com relação ao microscópio de medição, para as amostras obtidas com o arame de 0,29 mm houve correlação baixa, e para o arame de 0,335 mm, a correlação foi considerada moderada.

É importante salientar a necessidade de se ampliar este estudo para outros valores ao longo da faixa nominal de cada instrumento de medição utilizado, com o intuito de se verificar o comportamento dos mesmos ao longo da faixa nominal.

Vale ainda destacar, a influência da incerteza máxima permitida nos valores do coeficiente Cdl^* . Quanto mais próxima essa incerteza se apresentar da variabilidade da medição, representada pelo denominador da Equação 1, o Cdl^* tenderá a 1. Logo, esse parâmetro também expressa a aptidão do processo de medição. Além disto, quanto mais distante do valor nominal a média das indicações se apresentar, menor será o valor do Cdl^* .

Referências

- ADIAN F. R.** Chauvenet's Criterion, Peirce's Criterion, and Thompson's Criterion (Literatures Review). 2nd Quantitative and Qualitative Analysis Course Homework, 21 March 2016. Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering University of Indonesia, Depok, Indonesia.
- ALBERTAZZI, A.; SOUSA, A. R.** Fundamentos de metrologia científica e industrial. Barueri, SP: Manole, 2008.
- Avaliação de dados de medição: Guia para a expressão de incerteza de medição – **GUM 2008**. Duque de Caxias, RJ: INMETRO/CICMA/SEPIN, 2012.
- BRUNELLI, A.** Calibration Handbook of Measuring Instruments. 1th ed. ISA, 2017.
- GRUBBS, F. E.** Procedures for Detecting Outlying Observations in Samples. American Society for Quality, Technometrics, Vol. 11, No. 1, 1969, p. 1-21.
- HOGAN, R.** How to calculate normalized error. Isobudgets, 2015. Disponível em: <<https://www.isobudgets.com/how-to-calculate-normalized-error/>>.
- KAPUR, K. C.** Reability Engineering. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2014.
- MONTGOMERY, D. C.** Design and Analysis of experiments. Eighth edition. John Wiley & Sons, Inc. ISBN 978-1118-14692-7.
- MUKAKA, M. M.** Statistics Corner: A guide to appropriate use of correlation coefficient in medical research. Malawai Medical Journal. PMC 3576830, 2012.
- NASA.** Measurement Uncertainty Analysis Principles and Methods - NASA Measurement Quality Assurance Handbook – ANNEX 3. National Aeronautics and Space Administration, Washington DC 20546, 2010.
- NBR ISO/IEC 17025.** Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração. Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, Rio de Janeiro, 2017.
- OLIVEIRA, J. E. F.** A metrologia aplicada aos setores industrial e de serviços – principais aspectos a serem compreendidos e praticados no ambiente organizacional. SEBRAE, Brasília, 2008.
- OLIVEIRA, J. E. F.; OLIVEIRA, C. A. N.; SOARES, A. M. F.; OLIVEIRA, E. J. A.; ARAUJO, R. P.** Development of the capability coefficient (Cdl*) for quality control of measuring instruments and systems. Brazilian Journal of Development, 2021.
- OLIVEIRA, J. E. F.; OLIVEIRA, C. A. N.; OLIVEIRA, S. T.; SOARES, A. M. F.; OLIVEIRA, E. J. A.; SILVA, N. G.; ARAUJO, R. P.;** Aplicação da Análise de Pareto através de um experimento fatorial para o coeficiente de capacidade (Cdl*) – um estudo de caso relacionado à grandeza torque. Brazilian Journal of Development, 2021.
- POLÁK, P.; DRLICKA, R.; ZKINANSKY, J.** Capability assessment of measuring equipment using statistic method. Management systems in production engineering, n. 4 (16), pp 184 – 186, 2014.
- R CORE TEAM,** 2023. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <<https://www.R-project.org/>>
- SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B.** An analysis of variance test for normality (complete samples). Biometrika, vol. 52, No. 3/4, (Dec., 1965), 591 – 611.
- SHESKIN, D. J.** Handbook of parametric and nonparametric statistical procedures. 3rd Edition. CRC Press LLC. Florida, 2003.
- THOMPSON, P. W.** Understanding Sampling Distributions and Margin of Error. Paper presented at 2nd Conference on Statistics Reasoning, Teaching, and Literacy. 2001.
- Vocabulário Internacional de Metrologia: conceitos fundamentais e gerais de termos associados (**VIM 2012**). Duque de Caxias, RJ: INMETRO, 2012.