

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE  
SANTA CATARINA  
CÂMPUS JOINVILLE  
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**BRUNO FERRARI TINO  
GERSON PEREIRA DA SILVEIRA JUNIOR  
MARCELO GIEHL**

**METODOLOGIA PARA VERIFICAÇÃO DE MÁQUINAS DE MEDIÇÃO POR  
COORDENADAS**

**JOINVILLE  
JULHO DE 2022**

**BRUNO FERRARI TINO  
GERSON PEREIRA DA SILVEIRA JUNIOR  
MARCELO GIEHL**

**METODOLOGIA PARA VERIFICAÇÃO DE MÁQUINAS DE MEDIÇÃO POR  
COORDENADAS.**

**JOINVILLE  
JULHO DE 2022**

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE  
SANTA CATARINA  
CÂMPUS JOINVILLE  
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**BRUNO FERRARI TINO  
GERSON PEREIRA DA SILVEIRA JUNIOR  
MARCELO GIEHL**

**METODOLOGIA PARA VERIFICAÇÃO DE MÁQUINAS DE MEDIÇÃO POR  
COORDENADAS.**

Trabalho de conclusão de curso submetido ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina como parte dos requisitos de obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Julio Fabio Scherer

**JOINVILLE  
JULHO DE 2022**

Giehl, Marcelo.

Metodologia para verificação de Máquinas de Medição por Coordenadas / Marcelo Giehl, Bruno Ferrari Tino, Gerson Pereira da Silveira Junior. – Joinville, SC, 2022. 65 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Curso de Bacharelado em Engenharia Mecânica, Joinville, 2022.

Orientador: Júlio Fabio Scherer.

1.Máquina de Medição por Coordenadas. 2.Verificações Intermediárias. 3. Padrão de Verificação. I. Silveira Junior, Gerson Pereira da. II. Tino, Bruno Ferrari. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina. IV. Título.

**BRUNO FERRARI TINO  
GERSON PEREIRA DA SILVEIRA JUNIOR  
MARCELO GIEHL**

**METODOLOGIA PARA VERIFICAÇÃO DE MÁQUINAS DE MEDIÇÃO POR  
COORDENADAS.**

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do Curso de Engenharia Mecânica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

**Joinville, 15 de Julho de 2022.**

**Banca Examinadora:**

---

Prof. Julio Fabio Scherer, Doutor  
Orientador

---

Prof. Eduardo Makoto Suzuki, Mestre  
Avaliador

---

Edinaldo dos Santos, Especialista  
Avaliador

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos primeiramente a Deus por nos dar a graça da vida e nos guiar ao longo dessa trajetória acadêmica. Nossos familiares e amigos também fazem parte desse momento memorável em nossas vidas, sem eles não conseguiríamos chegar até aqui. Todo o apoio e compreensão foram essenciais para chegarmos a esse momento.

Também gostaríamos de agradecer aos professores pelo conhecimento que nos foi transmitido ao longo da graduação, pela orientação, empenho e confiança em nosso potencial.

## RESUMO

Visando garantir a confiabilidade metrológica necessária a fim de atingir os mais altos índices de excelência produtiva e de qualidade, as máquinas de medição por coordenadas (M.M.C.) podem ser amplamente utilizadas nos mais diversos segmentos da indústria.

As M.M.C. são calibradas periodicamente, porém entre uma calibração e outra podem ocorrer situações que prejudicam o correto funcionamento do equipamento e conseqüentemente aumento da incerteza de medição. Por outro lado, dependendo da utilização do equipamento, a frequência de calibração pode ser diminuída caso seja evidenciado que o equipamento mantenha os resultados da calibração praticamente inalterados.

O presente trabalho propõe desenvolver um procedimento para verificação intermediária de uma M.M.C. em uma empresa de grande porte da cidade de Joinville. Para isso será utilizado um padrão de verificação adquirido pela própria empresa.

Porém, nos testes de estabilidade, utilizando o padrão de verificação, foram observadas variações dimensionais significativas e não condizentes com os resultados de calibração da M.M.C., o que inviabilizou a utilização do padrão de verificação. Para identificar os motivos das variações observadas nos resultados das medições, foi utilizado o método DMAIC, metodologia Seis Sigma que busca identificar, resolver e controlar o problema. Após a identificação e correção das variações dimensionais, foi possível desenvolver o procedimento correto para utilização do padrão de verificação.

Palavras-chave: Confiabilidade, estabilidade, Calibração, Máquina de medição por coordenadas, Verificação intermediária.

## **ABSTRACT**

Aiming to ensure the necessary metrological reliability in order to achieve the highest levels of productive excellence and quality, the coordinate measuring machines (C.M.M.) can be widely used in various segments of industry.

The C.M.M. are calibrated periodically, but between one calibration and another, situations may occur that affect the correct operation of the equipment and consequently increase the measurement uncertainty. On the other hand, depending on the use of the equipment, the calibration frequency can be decreased if it is evidenced that the equipment keeps the calibration results practically unchanged.

The present work proposes to develop a procedure for verification a C.M.M. in a large company in the city of Joinville. For this, a verification standard acquired by the company itself will be used.

However, in stability tests using the verification standard, significant dimensional variations were observed that are not consistent with the C.M.M. calibration results, which makes the use of the verification standard unfeasible. To identify the reasons for the variations observed in the measurement results, the DMAIC method was used, a Six Sigma methodology that seeks to identify, solve, and control the problem. After the identification and correction of the dimensional variations, it was possible to develop the correct procedure for using the verification standard.

Keywords: Reliability, stability, Calibration, Coordinate Measuring Machine, Intermediate Verification.

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

M.M.C.	Máquinas de Medição por Coordenadas
Seis Sigma	Ferramenta da Qualidade
VIM	Vocabulário Internacional de Metrologia
MSA	Análise de Sistemas de Medição
CNC	Comando Numérico Computadorizado
Teste T	Teste de Hipótese Utilizado em Estatística
P-Value	Probabilidade de significância
Alpha	Nível de significância

## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b>	<b>7</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>8</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS</b>	<b>9</b>
<b>SUMÁRIO</b>	<b>10</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>12</b>
1.1 Objetivo	15
1.2 Objetivos Específicos	15
1.3 Definição do Problema	15
1.4 Justificativa	16
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>17</b>
2.1 Metrologia	17
2.2 Confiabilidade Metrológica	17
2.3 Máquina de Medição por Coordenadas M.M.C.	18
2.4 Calibração	19
2.5 Estabilidade	19
2.6 Verificação Intermediária	20
2.7 Cartas de controle	21
2.7.1 Cálculo dos Limites de Controle	22
2.8 Erros	23
<b>2.9 Temperatura de medição</b>	<b>25</b>
2.9.1 Dilatação térmica dos materiais	25
2.9.2 Dilatação térmica linear	26
2.9.3 Cálculo Dilatação térmica dos materiais	26
2.10 DMAIC	27
<b>3. METODOLOGIA</b>	<b>28</b>
<b>3.1 DMAIC</b>	<b>32</b>
<b>3.2 Definir</b>	<b>32</b>
<b>3.3 Medir</b>	<b>33</b>
<b>3.4 Analisar</b>	<b>35</b>
3.4.1 Impacto da temperatura	35
3.4.2 Posição do padrão de verificação na mesa da M.M.C.	37
3.4.3 Força de apalpação	39
3.4.4 Estratégia de Medição	41

3.5 Melhorar	43
3.6 Controlar	44
<b>4. ANÁLISE DOS RESULTADOS</b>	<b>45</b>
<b>5. CONCLUSÃO</b>	<b>47</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>48</b>
<b>APÊNDICES</b>	<b>51</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Segundo Quelhas (2010 apud SANTOS, 2012, p. 1) “a aplicação da metrologia pode ser dividida em três segmentos: Industrial, Legal e Científica”. A metrologia Industrial é destinada para os cuidados com instrumentos de medição e ensaios garantindo a confiabilidade das medições. A metrologia Legal serve para dar validade aos resultados obtidos e garantir a confiabilidade com base em métodos regulamentados. E, como responsável por pesquisas, cuidando dos padrões e calibrações em níveis mais avançados, existe a metrologia Científica (SANTOS, 2012).

Entre diversos meios utilizados na indústria, existe o sistema de medição tridimensional, realizado por M.M.C., com a finalidade de garantir que as tolerâncias dimensionais estejam corretas. A M.M.C. é amplamente utilizada, pois, segundo Albertass e Souza (2008), por ser automatizada, além de promover alta velocidade e confiabilidade na medição, comporta a grande demanda da indústria. Esse sistema é utilizado em mecânica de precisão e em Sistemas Flexíveis de Manufatura (FMS), comumente associado à indústria automobilística e à robótica. Também pode ser utilizado onde sistemas convencionais seriam insuficientes, como em medições de peças complexas.

É necessário que seja feita uma calibração periódica do equipamento a fim de que a M.M.C. opere e forneça resultados confiáveis de medição. Conforme o Vocabulário Internacional de Metrologia (VIM), calibração é o conjunto de operações que estabelece, sob condições especificadas, a relação entre os valores indicados por um instrumento de medição ou sistema de medição, em comparação com valores representados por uma medida materializada ou um material de referência com valores correspondentes das grandezas estabelecidas por padrões. As observações constantes na definição (item 6.11 do VIM) também elucidam que os resultados das calibrações permitem estabelecer os valores dos mensurandos, a determinação das correções a serem feitas ou a determinação de outras

propriedades ou efeitos de grandezas de influência. Por intermédio da calibração, se estabelece uma relação entre os resultados das medições executadas em um dado processo às suas respectivas definições no SI ou à referências nacionais ou internacionais (rastreabilidade). Desta maneira fica evidente a extrema necessidade do adequado controle metrológico dos equipamentos e instrumentos, no que tange ao Sistema da Qualidade, de todas as atividades nas quais a qualidade dos produtos, processos ou serviços tenham seus resultados de medições afetados direta ou indiretamente.

Por melhor que seja, todo instrumento com o decorrer do tempo tende a perder as suas características metrológicas, requerendo que seja determinada a periodicidade da calibração sendo feito o ajuste desse intervalo. Nos sistemas de gestão de medições esse processo é de extrema importância e fundamental para se obter a confiabilidade metrológica. (DUNHAM ; MACHADO, 2008, p. 1). Todos os instrumentos devem ser calibrados em um processo de medição, mantendo assim sua rastreabilidade e confiabilidade, pois esses instrumentos sofrem diversos tipos de variações por consequência dos fatores de influência, por serem construídos com vários materiais que ocasionam muitos tipos de variações e por terem características mecânicas complexas. Além das calibrações, no intuito de perceber se esses equipamentos estão mantendo sua calibração é possível realizar verificações periódicas, para então iniciar uma ação para alterar os intervalos de calibração (DUNHAM ; MACHADO, 2008, p. 1). Alves e Silva (2004, p. 1) explicam que, “Resultados de medição confiáveis só podem ser alcançados com instrumentos de medição comprovadamente qualificados, isto é, com parâmetros metrológicos garantidos por calibrações periódicas”.

Existem variadas formas para garantir a confiabilidade das medições e produtos na área metrológica, uma das mais importantes ações das empresas quando se trata de manutenção dos instrumentos de medição é dar ênfase na parte da calibração das M.M.C. (SOARES JUNIOR, 1999, p. 6). Mesmo seguindo rigorosamente as boas práticas de calibração não é possível assegurar que o equipamento mantenha a precisão e a exatidão desejada no decorrer do tempo. Além da variação gerada pela depreciação do equipamento inerente ao processo

natural de medição, problemas estruturais da instalação, vibrações, colisões, etc, acarretam em erros inaceitáveis que podem impactar na qualidade do produto sendo assim necessário realizar uma nova calibração do equipamento antes do tempo pré estipulado. O cenário oposto seria o equipamento não sofrer nenhum tipo de dano durante o intervalo entre as calibrações e com isso não haveria a necessidade de uma nova calibração sendo possível assim evitar a geração dos custos envolvidos em todo o processo de calibração.

Uma maneira de assegurar a confiabilidade metrológica é a realização de verificações intermediárias do equipamento auxiliada por um padrão materializado, monitorando a estabilidade das medições ao longo do tempo, identificando assim anormalidades no comportamento do sistema de medição. Segundo a norma NBR ISO/TS 16949 (ABNT, 2004, p. 31). “Estudos estatísticos devem ser conduzidos para analisar a variação presente nos resultados de cada tipo de sistema de equipamento de medição e ensaio. Este requisito deve se aplicar aos sistemas de medição referenciados no plano de controle”. A análise dos sistemas de medição, contribui por intermédio de sugestões e referências para a avaliação desses estudos analíticos, a fim de que todos os dados levantados sejam analisados estatisticamente para que se torne conhecida a variação do processo. Se tratando das M.M.C., o estudo relacionado realizar-se-á na intenção conhecer a variação das medições da máquina/padrão e se está sendo mantida a calibração do equipamento.

O presente trabalho visa apresentar um procedimento para verificação periódica das M.M.C. e com isso, garantir a confiabilidade metrológica e consequentemente diminuir a frequência de calibração diminuindo assim os custos envolvidos.

## **1.1 Objetivo**

O grande problema relacionado a calibração é o custo envolvido e o intervalo entre uma calibração e outra, visto que existem vários fatores inerentes ao processo de medição que impactam na estabilidade do equipamento, acarretando em erros acima do aceitável gerando assim tomadas de decisões equivocadas como ajustes desnecessários no processo ou rejeitando um produto conforme, duas situações que perdas financeiras para a empresa.

Desta forma, o trabalho busca desenvolver um procedimento para realização de uma verificação intermediária para monitorar a estabilidade do equipamento entre as calibrações e posteriormente diminuir a frequência de calibração da M.M.C. Com a verificação periódica das máquinas de medição por coordenadas é possível compreender o comportamento do sistema de medição e assim definir de forma mais assertiva o intervalo de calibração, diminuindo os erros de medição e otimizando os recursos necessários para a realização da calibração do equipamento.

## **1.2 Objetivos Específicos**

- Desenvolver procedimento para verificação intermediária da M.M.C.;
- Garantir a confiabilidade do controle dimensional;
- Diminuir a frequência de calibração;
- Utilizar ferramentas estatísticas para monitorar a estabilidade do equipamento.

## **1.3 Definição do Problema**

A empresa adquiriu um padrão de verificação intermediária em 2016, foram realizadas algumas tentativas para definir um procedimento de verificação intermediária, mas os resultados encontrados não foram coerentes com o sistema de medição, ou seja, existe uma falha em algum dos possíveis erros relacionados à

medição. Isso pode ocorrer na estratégia de medição, nos pontos de apalpação, na fixação, nos erros de forma relacionados ao padrão, na análise de dados, etc.

#### **1.4 Justificativa**

Com verificação periódica das máquinas de medição por coordenadas é possível compreender o comportamento do sistema de medição e assim definir de forma mais assertiva o intervalo de calibração, diminuindo os erros de medição e otimizando os recursos necessários para a realização da calibração do equipamento.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Metrologia**

Metrologia pode ser definida como a ciência da medição e suas aplicações. Um conceito relativamente simples, mas que abrange um universo gigante, que compreende aspectos teóricos e práticos da medição (CRUZ, 2019).

Medir é uma das formas que o ser humano desenvolveu para facilitar sua rotina, se desenvolver e controlar melhor seus recursos. Diariamente realizamos medições em quase tudo que fazemos, seja de tempo, volume, massa, temperatura, dimensões entre outros. Para definir quantitativamente uma grandeza física, é necessário compará-la a uma unidade e definir o número de vezes que essa unidade está contida na grandeza medida. (JUNIOR, 2017)

A metrologia industrial é uma aplicação específica da metrologia para determinado fim, em grande parte dos casos, esse fim é garantir que os processos de produção tenham qualidade metrológica para assegurar produtividade (LASERMAC, 2020).

### **2.2 Confiabilidade Metrológica**

Para a indústria, garantir que as tolerâncias estejam de acordo com as especificações técnicas dos produtos é vital para garantir a qualidade no processo produtivo. Garantindo essas especificações é possível prevenir geração de sucata por conta de produtos fora da especificação nominal, reduzindo custos e atendendo os requisitos de desempenho necessários para produção de grande escala (SILVA NETO, 2012).

Para garantir a qualidade dos produtos industriais é necessário e imprescindível medir com exatidão, possibilitando ao fabricante obter as dimensões reais e entender os ajustes entre peças, a fabricação de produtos de acordo com as especificações técnicas e quantidades específicas, a intercambialidade e universalidade das peças, a redução de perdas pela pronta detecção de desvios no processo produtivo, evitando o

desperdício de matéria prima. Ao mesmo tempo, garante o atendimento a normas, regulamentos e requisitos de desempenho nacionais ou internacionais, favorecendo as negociações pela confiança do cliente e se constitui em um diferenciador tecnológico e comercial para as empresas. (ROCHA, 2020)

## **2.3 Máquina de Medição por Coordenadas M.M.C.**

Diante da importância para a indústria em garantir qualidade e confiabilidade no que está sendo medido, uma das opções são as Máquinas de Medição por coordenadas. As características, medição, e versatilidade das máquinas de medição por coordenadas, são definidas por GOMES (2017, p.8-9) da seguinte maneira:

A máquina de medição por coordenadas, mais conhecida por CMM (Coordinate Measuring Machine), visa a medição de características físicas geométricas de um determinado objeto. O operador analisa o objeto, os controles dimensionais a serem realizados, a melhor posição, fixação e forma de medição a efetuar.

A medição é executada por uma ponteira, sendo esta um sensor mecânico que permite a detecção, após o toque, do material. Uma máquina destas é constituída por 3 eixos de medição que são definidos no pórtico e ortogonais entre si. Cada eixo é composto por uma régua que permite a localização exata do eixo em questão. Com alguns cálculos efetuados no software, é possível determinar a posição e dimensão. Este equipamento está dotado de precisões elevadas, rondando os 3 micrómetros..

A versatilidade deste tipo de equipamento, no que toca ao controlo de objetos de diversas dimensões, é bastante vasta, dependendo apenas das dimensões da máquina. As mais usuais vão até dimensões que permitem o controle até 1000mm de comprimento, contudo podem ultrapassar essas dimensões, sendo estas mais usuais em empresas com uma produção essencial de objetos de maiores dimensões (ex.: paraquedas). As CMM são máquinas muito utilizadas nas indústrias, mais propriamente em processos de fabrico ou até linhas de montagem. Apesar dos tempos elevados a elaborar os programas, tornam-se bastante rápidas ao nível de repetibilidade.

## **2.4 Calibração**

Para garantir que a máquina de medição por coordenadas esteja realizando medições assertivas e confiáveis, é necessário garantir que a mesma está calibrada. Nas normativas de qualidade que estão presentes em grande parte das indústrias mundiais, fica claro a responsabilidade da empresa em assegurar resultados válidos e confiáveis em relação ao que se mede, como visto em ISO 9001:2015 (item 7.1.5.1):

### 7.1.5 Recursos de monitoramento e medição

#### 7.1.5.1 Generalidades

A organização deve determinar e prover os recursos necessários para assegurar resultados válidos e confiáveis quando monitoramento ou medição for usado para verificar a conformidade de produtos e serviços com requisitos.

A organização deve assegurar que os recursos providos:

- a) sejam adequados para o tipo específico de atividades de monitoramento e medição assumidas;
- b) sejam mantidos para assegurar que estejam continuamente apropriados aos seus propósitos.

A organização deve reter informação documentada apropriada como evidência de que os recursos de monitoramento e medição sejam apropriados para os seus propósitos.

## **2.5 Estabilidade**

A estabilidade desse processo está diretamente ligado a entender os erros e incertezas dos instrumentos de medição, em nosso caso a máquina de medição por coordenadas, e entender se a magnitude desses erros não terão impacto significativo para o controle no processo fabril (SILVA NETO, 2012).

Por melhor que seja o instrumento, suas características metrológicas podem ser prejudicadas com o passar do tempo, por conta de desgastes materiais, atritos, umidade, entre outros fatores. Por conta disso, para garantir a confiabilidade metrológica é necessário aplicar a calibração dos instrumentos com uma periodicidade definida (DUNHAM ; MACHADO, 2008, p. 1).

Alves e Silva (2004, p. 1) explicam que:

Resultados de medição confiáveis só podem ser alcançados com instrumentos de medição comprovadamente qualificados, isto é, com parâmetros metrológicos garantidos por calibrações periódicas.

Além da calibração periódica, é possível definir verificações intermediárias que podem detectar se o equipamento está dentro dos parâmetros mantidos após a calibração. Dessa forma é possível alterar os intervalos de calibração e encontrar possíveis erros que teriam impacto no processo produtivo e na qualidade do produto (DUNHAM ; MACHADO, 2008, p. 1).

## **2.6 Verificação Intermediária**

Como apenas a calibração periódica não garante a confiabilidade metrológica ao longo da utilização do equipamento, é necessário criar verificações intermediárias que asseguram a confiabilidade do equipamento entre as calibrações, garantindo as condições operacionais desejáveis (SHEREMETIEFF, 2017).

A frequência da verificação intermediária, deve ser determinada com base na utilização do equipamento. Quanto maior for a utilização, maior deve ser a periodicidade das verificações intermediárias entre as calibrações. Uma das formas mais comuns de se realizar essa verificação, é por comparação com padrões de referência (SHEREMETIEFF, 2017).

Para realizar a verificação intermediária com padrões de referência, é necessário comparar o resultado das medições obtidas do equipamento que se deseja a verificação, com as medições nominais do padrão conhecido. Sheremetieff, levanta alguns cuidados que devem ser tomados ao realizar essa comparação:

Os instrumentos escolhidos como referência para as comparações devem apresentar:

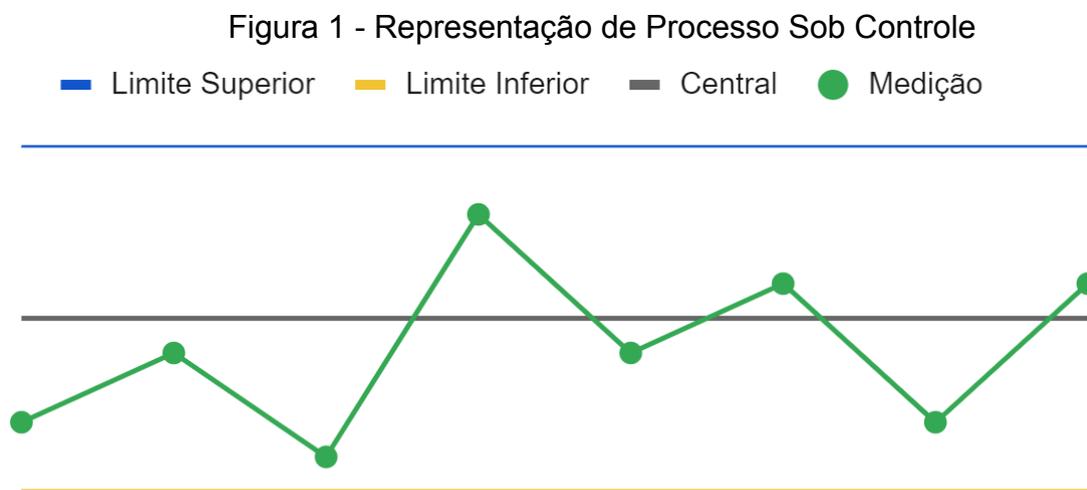
- Estabilidade em relação ao seu erro conhecida
- Certificado de calibração recente
- Resolução ou classe de exatidão melhor ou igual ao padrão/instrumento que se pretende verificar
- Condições de utilização e armazenamento que garantam que seu status não seja alterado.

## 2.7 Cartas de controle

Para validar as verificações intermediárias e garantir que os valores medidos são válidos ou não para a qualidade do processo, pode-se utilizar cartas de controle. Esse tipo de gráfico determina através de limites de controle, se os valores estão ou não dentro dos padrões especificados. Esses limites são linhas de limites superiores (LSC), inferiores (LIC) e central (LC) (OLIVEIRA, 2013).

Com as medições analisadas dessa forma gráfica, fica muito mais fácil entender se o processo está sob ou fora de controle. Para isso, basta analisar os pontos dispostos, se estiverem dentro dos limites de controle, o processo pode ser considerado sob controle, caso algum ponto esteja fora dos limites especificados, o processo pode ser considerado fora de controle. Com essa informação, pode-se tomar ações para detectar e eliminar as causas dessa variação (OLIVEIRA, 2013).

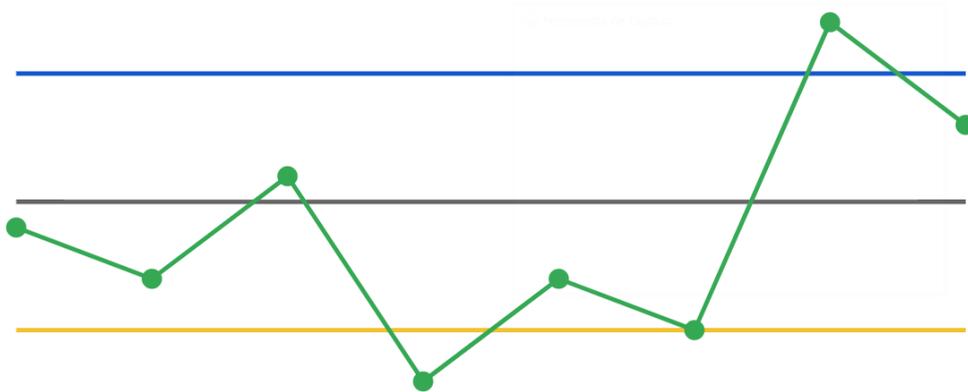
Abaixo a figuras 1 e a figura 2 , exemplificando processos sob controle e fora de controle respectivamente:



Fonte: Do Autor (2022)

Figura 2 - Representação de Processo Fora de Controle

■ Limite Superior (LSC) ■ Limite Inferior (LIC) ■ Central (LC) ● Medição



Fonte: Do Autor (2022)

### 2.7.1 Cálculo dos Limites de Controle

O controle estatístico do processo, monitora o processo atual em comparação com dados previamente estabelecidos de medições históricas de confiança. Com isso é possível comparar os resultados atuais com os dados do passado que representam o esperado para o processo. Com os dados previamente conhecidos, é possível definir a linha central (LC), os desvios padrões e posteriormente os limites inferiores (LIC) e superiores (LSC). Em geral, são aplicados 3 desvios padrão, como mostrado abaixo na figura 3 (DAVIS 2001):

Figura 3 - Cálculo dos Limites de Controle

$$\begin{aligned} LSC &= \bar{\rho} + 3s \\ LC &= \bar{\rho} \\ LIC &= \bar{\rho} - 3s \end{aligned} \quad s = \sqrt{\frac{\bar{\rho}(1-\bar{\rho})}{n}}$$

Sendo:  
 $\bar{\rho}$  = Média Histórica  
 $s$  = Desvio Padrão  
 $n$  = Amostra

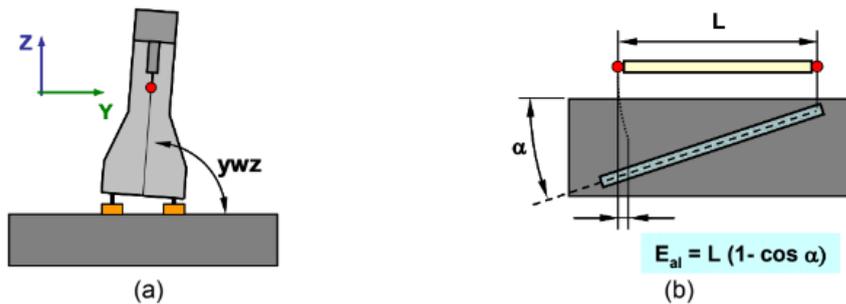
Fonte: Adaptado de DAVIS (2001)



Portanto, temos que cada guia em uma máquina de medição por coordenadas, pode apresentar estes seis erros, totalizando 18 erros. Os outros 3 tipos de erro, são provenientes da perpendicularidade entre as guias, somando assim os 21 erros paramétricos (ARENHART, 2007).

A figura 5 de ARENHART (2007), representa esses 3 erros:

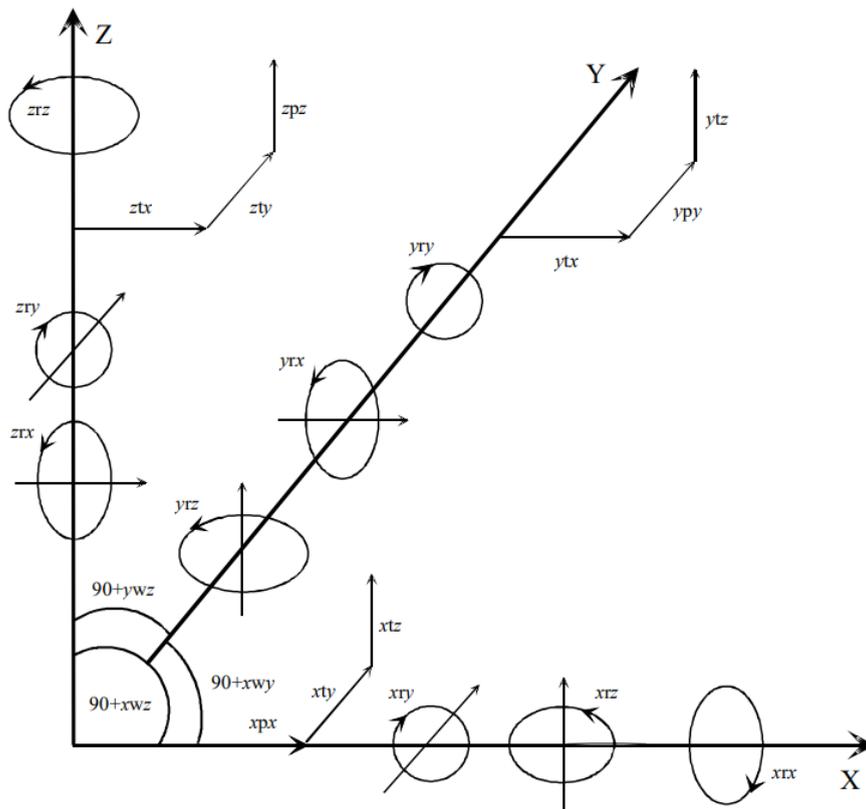
Figura 5 – Erros advindos da não-ortogonalidade entre as guias (a) e do não-alinhamento entre escala e guia (b)



Fonte: ARENHART, 2007

Para visualização geral, VICENTE (1997) apresenta esses 21 erros na figura 6:

Figura 6 - 21 Erros Paramétricos de uma Máquina de Medição por Coordenadas



Fonte: VICENTE (1997)

## 2.9 Temperatura de medição

Como a variação da temperatura pode impactar na geometria da peça através da expansão ou contração dos materiais ocasionando erros de natureza sistemática, na medição por coordenadas, os laboratórios costumam utilizar o ambiente termicamente controlado. A temperatura de 20° C é a temperatura de referência para medições de comprimento estabelecida pela norma ISO 1 (ISO 1 2002).

### 2.9.1 Dilatação térmica dos materiais

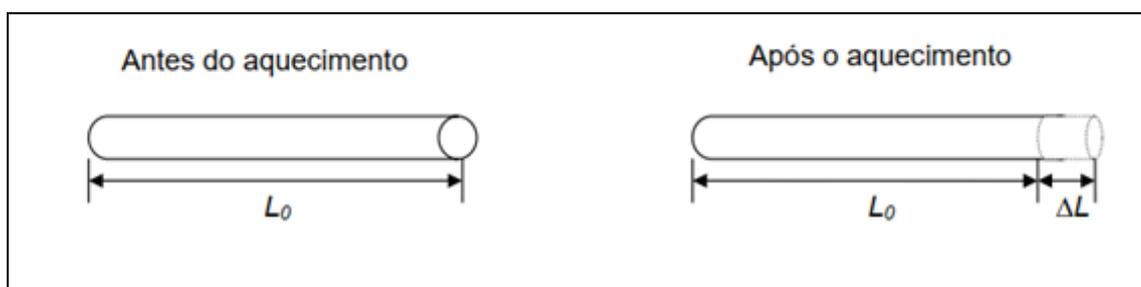
Quando um corpo é aquecido suas moléculas se afastam ocorrendo a dilatação. O aumento da agitação das moléculas de um corpo sólido faz com que suas dimensões sejam ampliadas devido ao aumento de separação entre elas. Pode-se dizer que o corpo se dilatou. Elevando a temperatura desse corpo, suas

moléculas irão adquirir um certo grau de liberdade de movimento provocando alteração em sua forma (SOBRINHO; SOUZA, 2006).

### 2.9.2 Dilatação térmica linear

Mesmo que, de modo geral, não exista dilatação unidimensional, quando a maior evidência da dilatação é em uma direção, como por exemplo em uma barra, considera-se uma dilatação linear (SOBRINHO; SOUZA, 2006). A figura 7 exemplifica o comportamento da barra.

Figura 7 - Dilatação Linear



Fonte: Física Térmica Teórica e Experimental (2006).

### 2.9.3 Cálculo Dilatação térmica dos materiais

Segundo Sobrinho (2006, p. 39) “a variação relativa no comprimento da barra ( $\Delta L$ ) é proporcional à variação de temperatura ( $\Delta\theta$ ) e ao material de que é feita a barra.” Denomina-se de coeficiente de dilatação linear do material a constante ( $\alpha$ ) através da qual o material é relacionado. A figura 8 apresenta a fórmula do coeficiente de dilatação linear

Figura 8 - Fórmula do coeficiente de dilatação linear

$$\frac{\Delta L}{L_0} = \alpha \Delta \theta \quad \Rightarrow \quad \Delta L = L_0 \alpha \Delta \theta$$

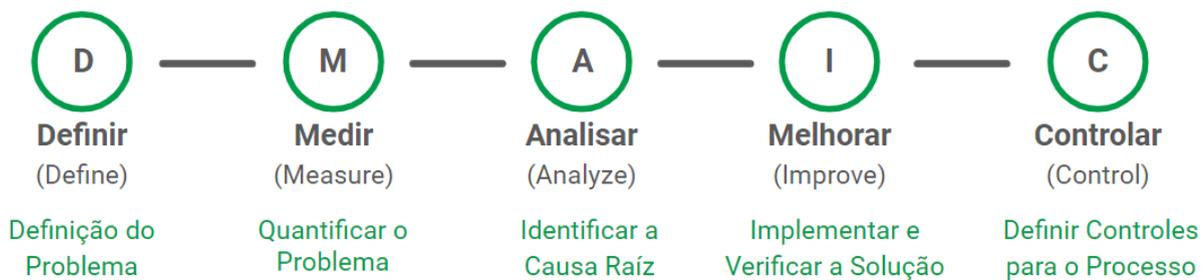
Fonte: Física Térmica Teórica e Experimental (2006).

## 2.10 DMAIC

Entre muitos instrumentos diferentes de gestão da qualidade que podem ser considerados como métodos, podemos citar DMAIC como um dos principais e com base nele se dará a continuidade do projeto (KUMAR 2009).

DMAIC é um acrônimo das palavras *Define-Measure-Analyze-Improve-Control*. Muito parecido com o ciclo PDCA, esse método apresenta uma metodologia que pode ser aplicada em diferentes processos e áreas da empresa para melhorá-los. O ciclo DMAIC, apresentado na figura 9, consiste em cinco fases que estão ligadas entre si (SOKOVIC, 2010):

Figura 9 - Sequência de Análise DMAIC



Fonte: Do Autor (2022)

**Definir:** O principal objetivo desta fase é verificar se as ações, que devem ser tomadas para resolver os problemas, estão ligadas às prioridades na organização e que há apoio da gestão e disponibilidade de recursos necessários. Começa com a identificação do problema que necessita de uma solução e termina com a compreensão do mesmo. (SHANKAR, 2009).

**Medir:** A fase de medir fala sobre a coleta de informações dos processos que vão ser melhorados. A principal questão da fase de medir é a recolha e análise dos dados, pois eles serão utilizados para a solução do problema. Por tanto, é essencial avaliar o sistema de medição e assegurar que todos os dados são verdadeiros e recolhidos de uma forma adequada (SHANKAR, 2009).

**Analisar:** Na fase de análise, são utilizados diferentes instrumentos e métodos para identificar o problema, analisar os dados e avaliar o risco. Nesta fase, podemos aprimorar os objetivos com base em dados reais obtidos na fase de medição e iniciar a análise da causa raiz que tem impacto na variabilidade do processo (SMĘTKOWSKA, 2018).

**Melhorar:** O objetivo desta fase é criar e desenvolver um plano de ação para implantar a solução do problema que foi identificado na etapa anterior. As soluções possíveis para resolver o problema devem ser apresentadas e executadas em um tipo de solução-piloto, confirmando a validade e precisão do trabalho analítico que permite fazer quaisquer correções antes de aplicar as soluções em grande escala (SMĘTKOWSKA, 2018).

**Controlar:** Na última fase, a fase de controle, é necessário garantir que as alterações implementadas na fase de melhoria foram suficientes e contínuas, verificando a qualidade do processo melhorado. Um ponto importante é entender o estado futuro do processo, a fim de minimizar desvio dos objetivos e assegurar que a correção seja implementada antes que tenha má influência sobre o resultado no processo (SMĘTKOWSKA, 2018).

### 3. METODOLOGIA

Para a verificação intermediária de uma M.M.C. que realiza medições de apenas um determinado tipo de produto ou perfil, comumente, um exemplar do próprio produto pode ser selecionado e definido como padrão de verificação, desde que apresente estabilidade dimensional e geométrica. Em situações onde os produtos controlados têm formas e geometrias muito distintas entre si, é possível utilizar padrões genéricos que possuam as principais formas e características dos produtos a serem controlados.

O objetivo da verificação intermediária é monitorar o desempenho de uma M.M.C. Desta forma, a verificação pode ser realizada medindo-se um padrão através de um programa CNC desenvolvido especificamente para este fim, onde os

resultados das medições são comparados aos valores reais obtidos no certificado de calibração do padrão.

A empresa deste estudo de caso, adquiriu em 2016 um padrão de verificação conforme Figura 10 onde, segundo o manual do fabricante, ele pode ser descrito basicamente como um padrão dimensional de 3 furos de alta exatidão, projetado na forma de um triângulo retângulo com os lados tendo comprimentos de 300, 400 e 500 mm. O dispositivo foi fabricado em liga especial de aço inoxidável de alta dureza, resistência mecânica e estabilidade dimensional, e seu coeficiente de dilatação térmica corresponde a 18ppm/°C. Originalmente projetado para a verificação rápida de M.M.C. conforme as normas da série ISO 10360, o padrão pode ser usado para estudos de MSA (*Measurement System Analysis*), mais especificamente nos estudos de estabilidade e tendência.

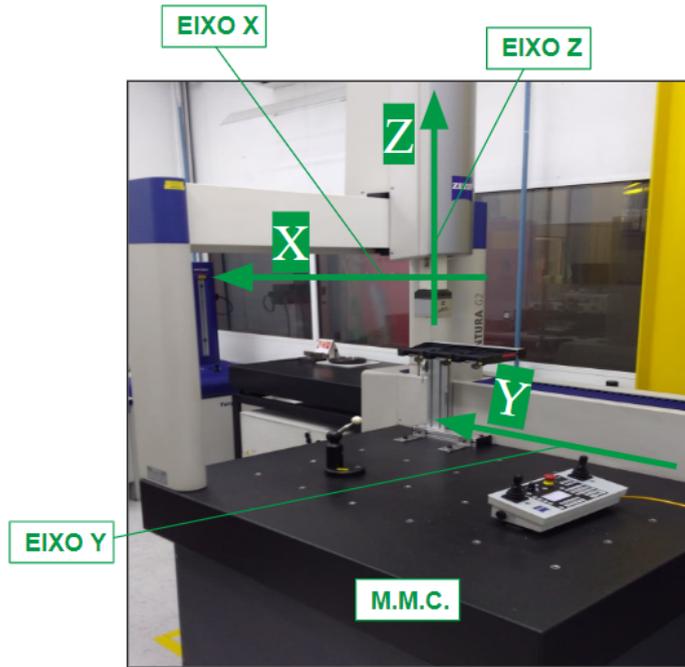
Figura 10 - Padrão de verificação



Fonte: Fabricante, 2015

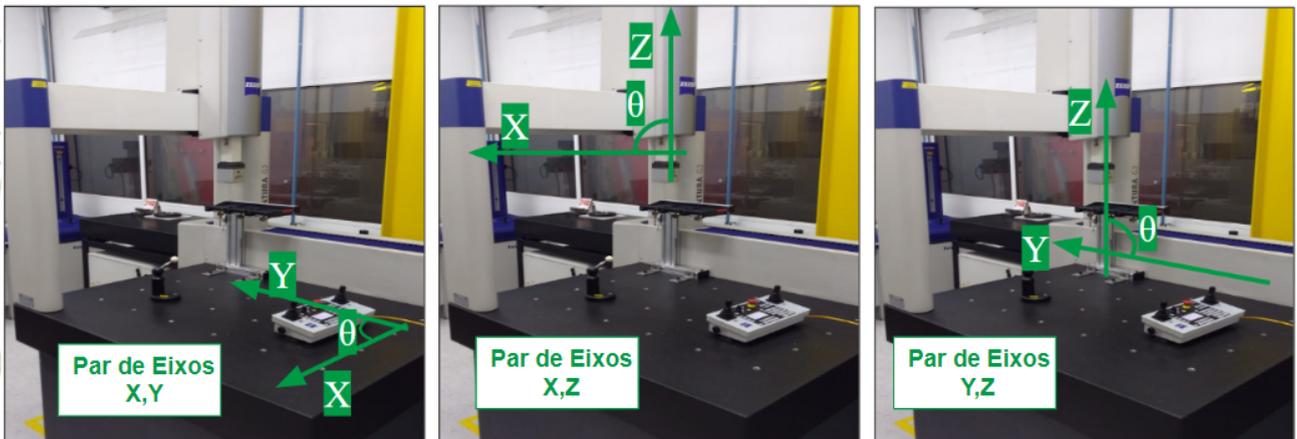
Ainda segundo o manual do fabricante, o padrão de verificação permite determinar os 6 principais erros geométricos da M.M.C., também chamados de erros paramétricos. Estes 6 erros paramétricos consistem nos 3 erros de posicionamento indicados na Figura 11, um para cada eixo da máquina e os 3 erros de perpendicularidade entre cada par de eixos (Figura 12). Para determinar os 6 erros paramétricos o padrão deverá ser medido em cada uma das 3 posições básicas da M.M.C., ou seja, os planos XY, YZ e XZ conforme figuras 13,14 e 15.

Figura 11 – Erros de posição



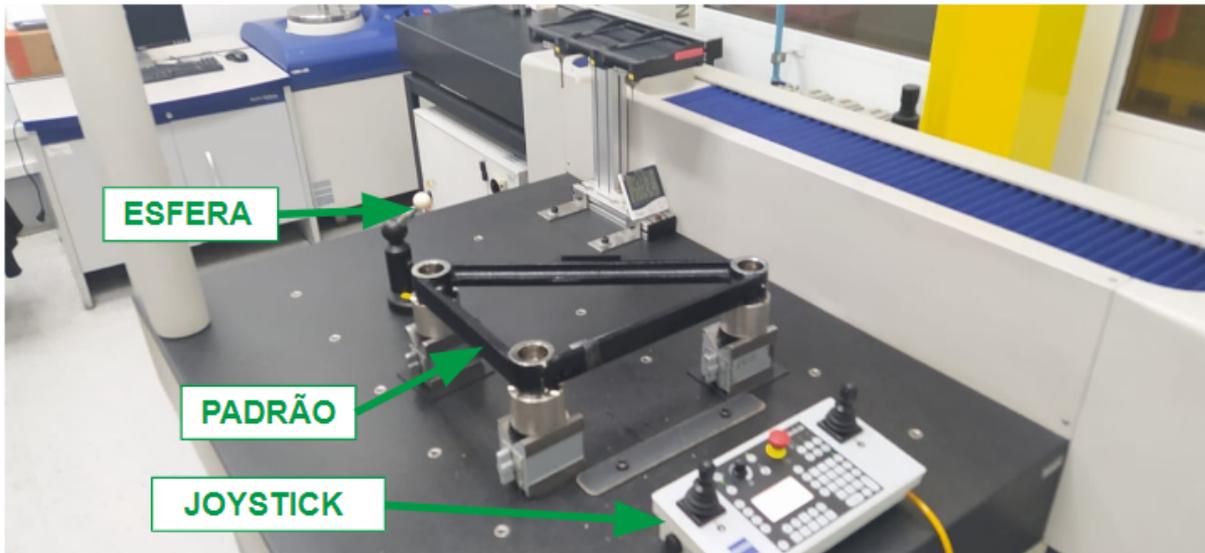
Fonte: Do Autor, 2022.

Figura 12 – Erros de perpendicularidade XY, YZ e XZ



Fonte: Própria, 2022.

Figura 13– Posição XY



Fonte: Do Autor, 2022.

Figura 14 – Posição XZ



Fonte: Do Autor, 2022.

Figura 15 – Posição YZ



Fonte: Própria, 2022.

### **3.1 DMAIC**

Dentro da proposta do projeto, antes de desenvolvermos um procedimento para condução e aplicação da verificação intermediária, fez-se necessário identificar e mitigar a variação observada nos resultados das medições entre os anos de 2016 e 2020. Com o objetivo de conduzir as ações de uma forma estruturada, utilizou-se uma filosofia Seis Sigma, mais precisamente o método DMAIC. Assim sendo, a primeira etapa consistiu em definir o problema a ser enfrentado.

### **3.2 Definir**

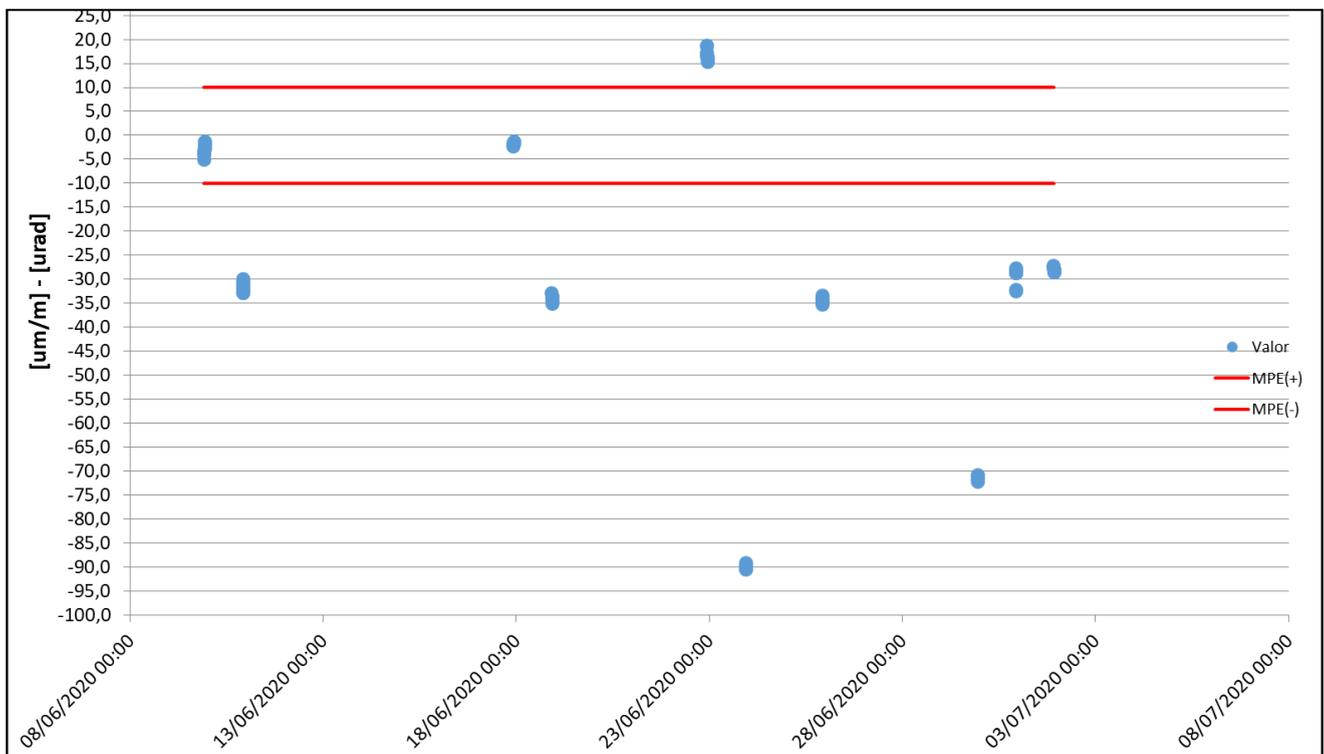
A empresa adquiriu um padrão de verificação intermediária em 2016, onde foram realizadas algumas tentativas para definir um procedimento de verificação intermediária, mas os resultados encontrados não foram coerentes com os resultados da calibração do sistema de medição, ou seja, existia alguma falha em

algum dos possíveis erros relacionados à medição. Isso poderia ocorrer na estratégia de medição, nos pontos de apalpação, na fixação, nos erros de forma relacionados ao padrão, na análise de dados, etc.

### 3.3 Medir

Nas avaliações de estabilidade realizadas entre os anos de 2016 e 2020, foram observadas amplitudes de 100 micrometros quando comparados resultados de diferentes dias, conforme imagem do gráfico da figura 16 e do resultado numérico apresentado na figura 17.

Figura 16 – Gráfico de Resultados



Fonte: Do Autor, 2022.

Figura 17 – Resultados Numéricos

	A	B	C	D	E	F
1	v	Máquina	Data	Posição	Parâmetro	Valor
728	500011	Zeiss	22/06/2020 22:27	XY	XWY	18,6
734	500011	Zeiss	22/06/2020 22:29	XY	XWY	18,7
740	500011	Zeiss	22/06/2020 22:30	XY	XWY	17,3
746	500011	Zeiss	22/06/2020 22:31	XY	XWY	17,1
752	500011	Zeiss	22/06/2020 22:32	XY	XWY	16,5
758	500011	Zeiss	22/06/2020 22:33	XY	XWY	16,7
764	500011	Zeiss	22/06/2020 22:34	XY	XWY	16,4
770	500011	Zeiss	22/06/2020 22:35	XY	XWY	15,9
776	500011	Zeiss	22/06/2020 22:36	XY	XWY	15,5
782	500011	Zeiss	22/06/2020 22:37	XY	XWY	15,4
902	500011	Zeiss	23/06/2020 22:30	XY	XWY	-90,2
908	500011	Zeiss	23/06/2020 22:31	XY	XWY	-89,1
914	500011	Zeiss	23/06/2020 22:32	XY	XWY	-90,1
920	500011	Zeiss	23/06/2020 22:33	XY	XWY	-89,7
926	500011	Zeiss	23/06/2020 22:34	XY	XWY	-89,8
932	500011	Zeiss	23/06/2020 22:35	XY	XWY	-89,8
938	500011	Zeiss	23/06/2020 22:37	XY	XWY	-90,1
944	500011	Zeiss	23/06/2020 22:38	XY	XWY	-90,5
950	500011	Zeiss	23/06/2020 22:39	XY	XWY	-90,1
956	500011	Zeiss	23/06/2020 22:40	XY	XWY	-90,3

Fonte: Do Autor, 2022.

Contudo, quando observados os resultados das medições realizadas em um mesmo dia, a amplitude entre os resultados não passou de 3 micrometros. Na coluna F da figura 18 estão registrados os resultados das medições do parâmetro XPX da posição XY realizadas no dia 10/06/2020.

Figura 18 - Resultados Numéricos Parâmetro XPX

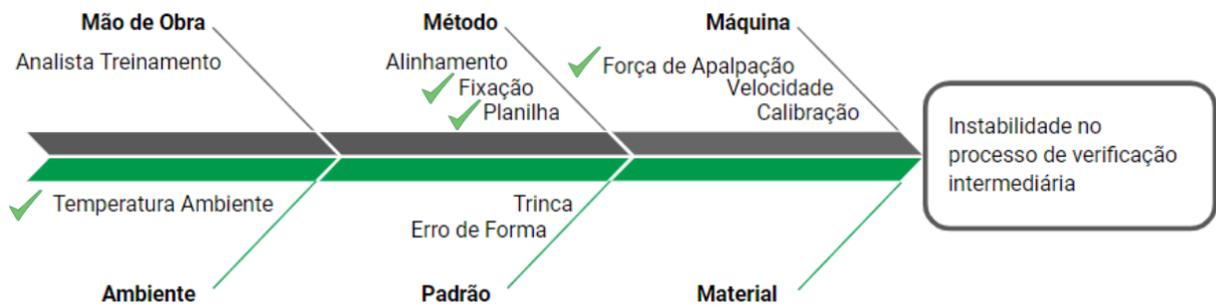
	A	B	C	D	E	F
1	v	Máquina	Data	Posição	Parâmetro	Valor
183	500011	Zeiss	10/06/2020 21:51	XY	XPX	36,8
189	500011	Zeiss	10/06/2020 21:52	XY	XPX	36,6
195	500011	Zeiss	10/06/2020 21:54	XY	XPX	36,4
201	500011	Zeiss	10/06/2020 21:55	XY	XPX	36,6
207	500011	Zeiss	10/06/2020 21:56	XY	XPX	36,7
213	500011	Zeiss	10/06/2020 21:57	XY	XPX	36,7
219	500011	Zeiss	10/06/2020 21:58	XY	XPX	37,0
225	500011	Zeiss	10/06/2020 21:59	XY	XPX	37,2
231	500011	Zeiss	10/06/2020 22:00	XY	XPX	37,5
237	500011	Zeiss	10/06/2020 22:01	XY	XPX	37,7

Fonte: Do Autor, 2022.

### 3.4 Analisar

Dentro da proposta do DMAIC, na fase Analisar, realizou-se um brainstorming com as possíveis causas da variação observada nos resultados, posteriormente os pontos mais relevantes foram adicionados em um diagrama de *Ishikawa* conforme figura 19.

Figura 19 - *Ishikawa* referente a instabilidade no processo de verificação intermediária



Fonte: Do Autor, 2022.

Temperatura, força de apalpação, posição do padrão na mesa e programa de medição foram selecionados para uma avaliação mais aprofundada, e com isso pode-se mensurar o impacto dimensional de cada um desses fatores .

#### 3.4.1 Impacto da temperatura

O coeficiente de dilatação informado pelo fabricante do padrão de verificação é de 18 ppm/grau, isso significa que uma variação de 1°C representa uma variação dimensional de 0,018 mm/metro no resultado conforme cálculo apresentado a seguir.

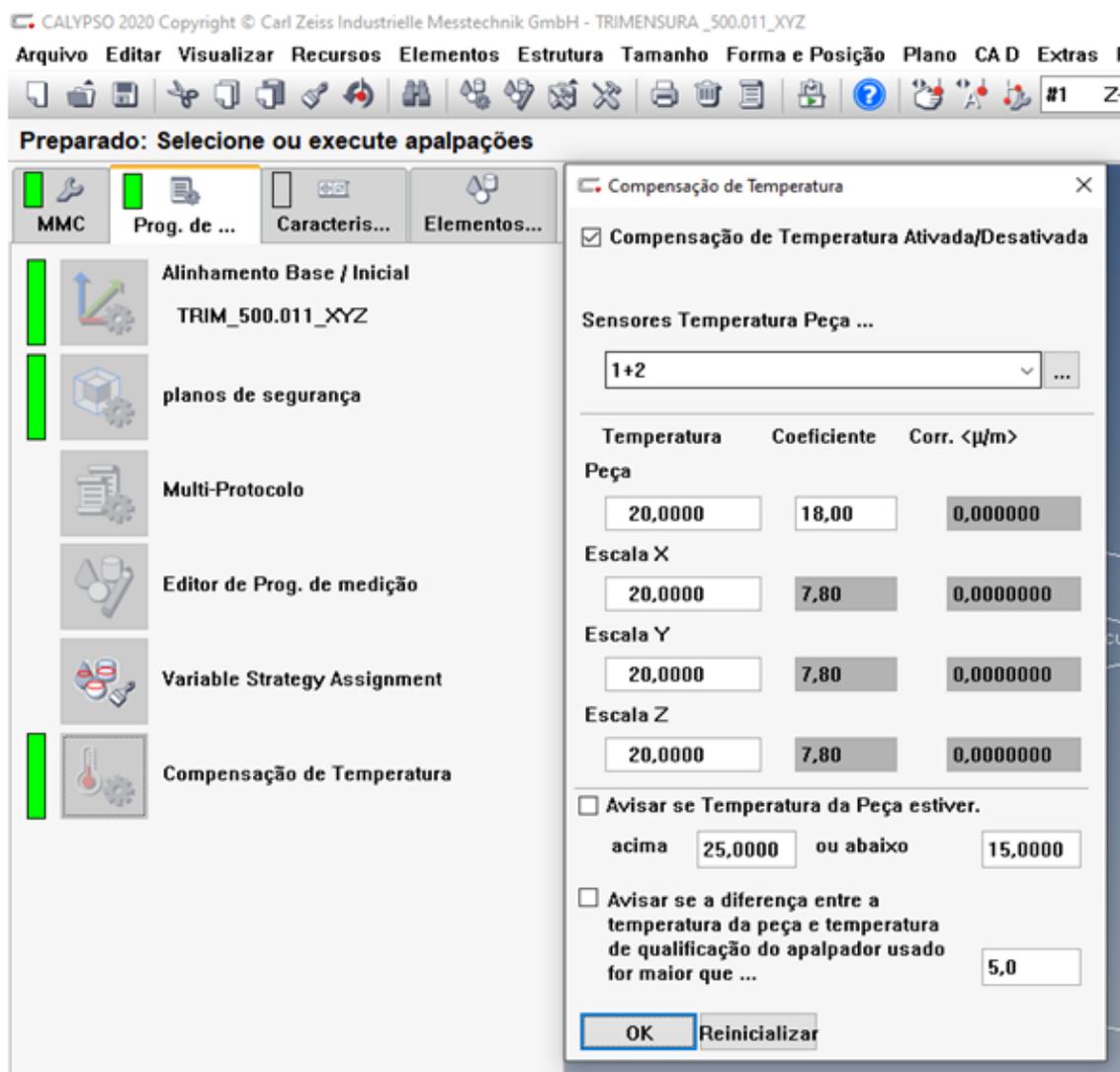
$$\Delta L = L_0 \alpha \Delta \theta$$

$$\Delta L = 1000 \times 0,000018 \times 1$$

$$\Delta L = 0,018$$

Para atenuar essa variação foi utilizado um termômetro de contato e um compensador de temperatura do software da M.M.C. (figura 20). Foram realizados testes para evidenciar se o coeficiente de dilatação está de acordo com o coeficiente informado pelo fabricante. Para isso, foram realizados 5 ciclos de medições com o compensador de temperatura desativado e 5 ciclos de medições com o compensador de temperatura ativado.

Figura 20 – Janela do Software Calypso para configuração da compensação de temperatura



Fonte: Do Autor, 2022

Nos testes, o padrão de verificação foi submetido a uma temperatura de 24°C em uma ante-sala por um período de 6 horas. Após esse período, verificamos a temperatura do padrão com o termômetro de contato a fim de atestar a temperatura de 24°C. Com a máquina previamente preparada, realizou-se as medições da distância de 500 mm do padrão, os resultados estão na tabela a seguir.

Após as medições podemos comparar na tabela da figura 21, que a diferença entre os resultados da medição e os calculados não são significativos, a diferença pode ser explicada devido a incerteza de medição do termômetro, visto que se considerarmos o impacto de apenas 0,2 °C referente a resolução do termômetro, o resultado do cálculo já é impactado em 0,00179 mm. Concluímos dessa forma que o coeficiente informado pelo fabricante é coerente e assim, será utilizado na compensação de temperatura da M.M.C.

Figura 21 - Resultados do teste com compensador de temperatura

Status do Compensador	Temperatura padrão °C	Temperatura Ambiente °C	Resultado Medido	Valor de referência 20°C	Diferença em relação ao valor de referência a 20°C	Resultado calculado	Diferença entre o medido e o calculado
Desativado	23,8	20	499,9939	499,9613	0,0326	0,0342	-0,0016
Desativado	23,6	20	499,9925	499,9613	0,0312	0,0324	-0,0012
Desativado	23,6	20	499,9919	499,9613	0,0306	0,0324	-0,0018
Desativado	23,4	20	499,9906	499,9613	0,0293	0,0306	-0,0013
Desativado	23,4	20	499,9899	499,9613	0,0286	0,0306	-0,0020
Ativado	23,4	20	499,9602	499,9613	-0,0011	0,0000	-0,0011
Ativado	23,2	20	499,9601	499,9613	-0,0012	0,0000	-0,0012
Ativado	23,2	20	499,9601	499,9613	-0,0012	0,0000	-0,0012
Ativado	23,2	20	499,9603	499,9613	-0,0010	0,0000	-0,0010
Ativado	23,2	20	499,9601	499,9613	-0,0012	0,0000	-0,0012

Fonte: Do Autor, 2022.

### 3.4.2 Posição do padrão de verificação na mesa da M.M.C.

Nos resultados obtidos através de 10 dias de medições em 2020, foi possível perceber que havia uma repetibilidade das medições feitas no mesmo momento, porém quando comparando um dia com o outro a variação era bastante significativa.

Dessa forma realizamos algumas simulações alterando a posição do padrão sob a mesa. Foram realizadas 10 medições em 2 pontos diferentes da mesa no plano XY em seguida, com o auxílio do software minitab utilizamos a ferramenta

Teste T para duas amostras. Por intermédio deste recurso foi possível comparar as médias entre os resultados em cada posição, e consequentemente analisamos se os resultados foram estatisticamente iguais.

De acordo com o teste de hipóteses, não é possível rejeitar a hipótese nula pois *p-value* é maior que *Alpha*, isso significa que as amostras são estatisticamente iguais.

Figura 22 - Resultado da comparação das médias para diferentes posições

WORKSHEET 1

### Teste T para Duas Amostras e IC: Posição 1; Posição 2

#### Método

$\mu_1$ : média de população de Posição 1

$\mu_2$ : média de população de Posição 2

Diferença:  $\mu_1 - \mu_2$

*Não assumiu-se igualdade de variâncias para esta análise.*

#### Estatísticas Descritivas

Amostra	N	Média	DesvPad	EP Média
Posição 1	10	33,350	0,727	0,23
Posição 2	10	33,401	0,511	0,16

#### Estimativa da diferença

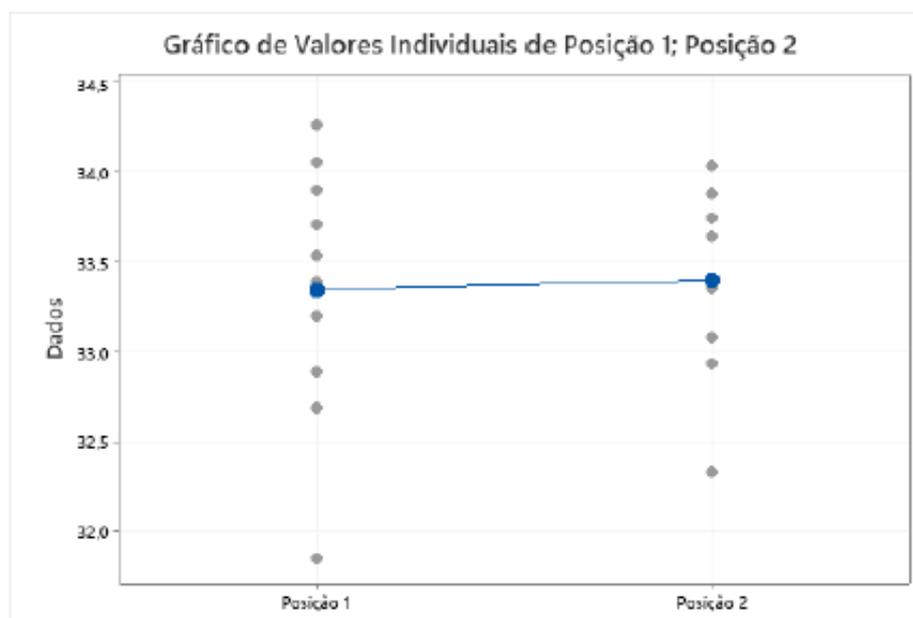
IC de 95% para a	
Diferença	Diferença
-0,052	(-0,647; 0,544)

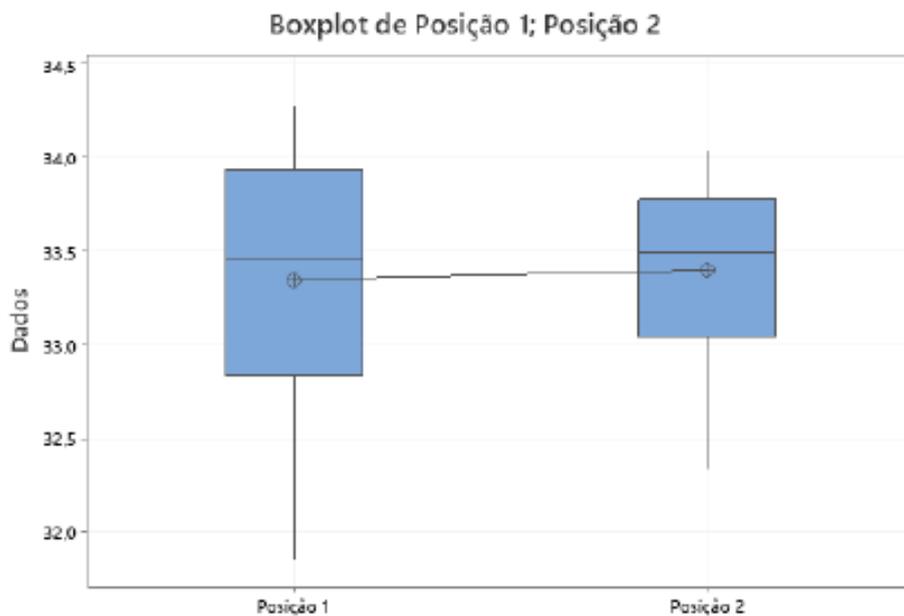
#### Teste

Hipótese nula  $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótese alternativa  $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor-T	GL	Valor-p
-0,18	16	0,857



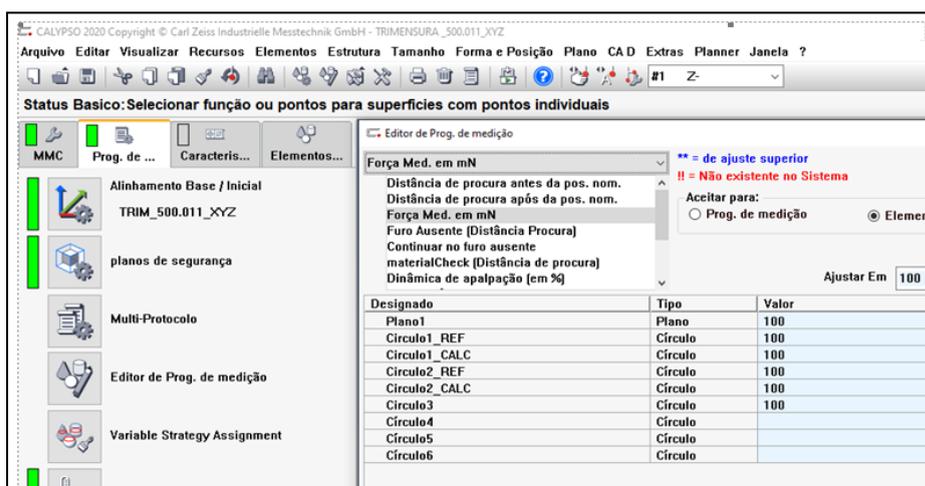


Fonte: Do Autor, 2022

### 3.4.3 Força de apalpação

É possível alterar a força de apalpação na configuração da M.M.C., a Figura 22 apresenta a janela do software calypso, foram realizadas 10 medições utilizando 200N e 10 medições com 100N a médias foram comparadas e os resultados encontrados foram estatisticamente iguais

Figura 23 – Janela software calypso para alteração da força de apalpação



Fonte: Do Autor, 2022.

Figura 24 - Resultado da comparação das médias para forças de apalpação

WORKSHEET 1

### Teste T para Duas Amostras e IC: Força 100; Força 200

#### Método

$\mu_1$ : média de população de Força 100

$\mu_2$ : média de população de Força 200

Diferença:  $\mu_1 - \mu_2$

*Não assumiu-se igualdade de variâncias para esta análise.*

#### Estatísticas Descritivas

Amostra	N	Média	DesvPad	EP Média
Força 100	10	36,934	0,431	0,14
Força 200	10	37,485	0,771	0,24

#### Estimativa da diferença

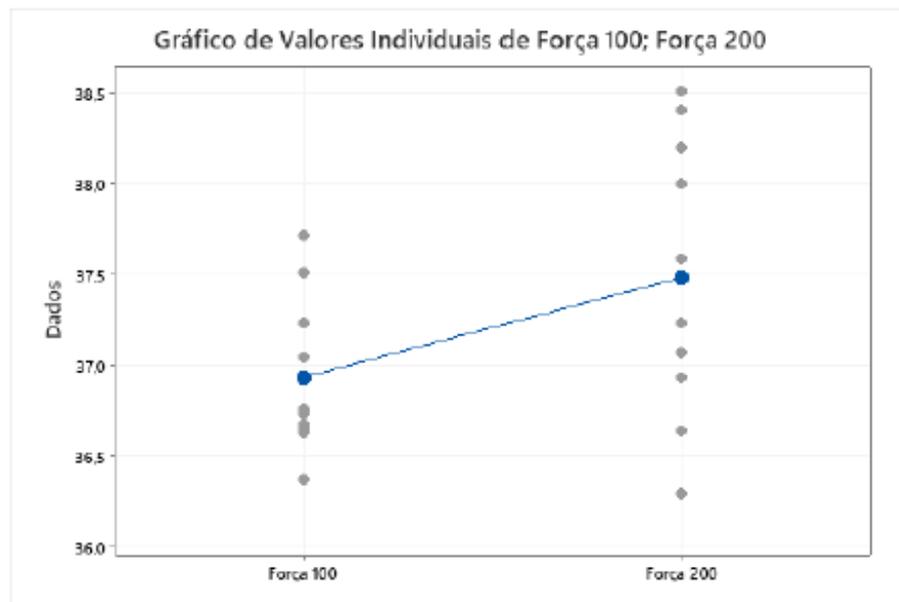
Diferença	IC de 95% para a Diferença
-0,551	(-1,150; 0,048)

#### Teste

Hipótese nula  $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótese alternativa  $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor-T	GL	Valor-p
-1,97	14	0,068



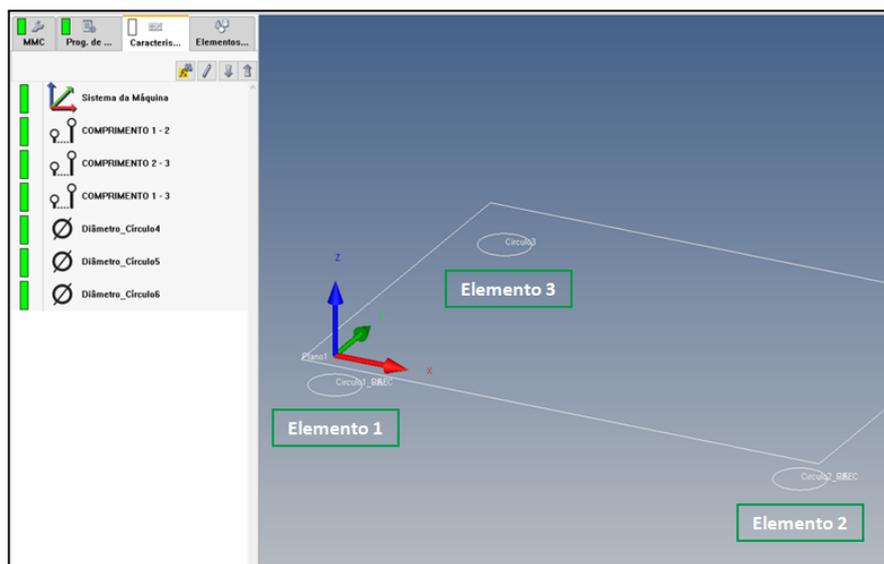


Fonte: Do Autor, 2022

### 3.4.4 Estratégia de Medição

Para realizar a medição do padrão de verificação é gerado um plano em sua face e utilizado o círculo 1 (elemento 1), e o círculo 2 (elemento 2) para determinar o alinhamento do padrão. Após o alinhamento, o círculo 1 é definido como origem do sistema de coordenadas. A Figura 25 apresenta o esboço do programa de medição.

Figura 25 - Esboço do plano do programa



Fonte: Do Autor, 2022.

Para calcular os valores dos erros paramétricos, a planilha denominada “*tricheck*”, utiliza os valores importados dos relatórios de medição. Após realizar a verificação dos valores importados, foi observado que os erros nos eixos x e y do círculo 1, que é a origem do sistema de coordenadas, e que deveriam ser zero, apresentaram valores incoerentes para o sistema de medição, conforme Figura 26. Os erros no círculo 1 fazem parte da base de cálculo dos erros paramétricos, explicando a variação observada nos resultados.

Figura 26 - Erros nos eixos X e Y antes da alteração

	A	B	C	D	E	F
14	Characteristic	Actual	Nominal	Upper Tol	Lower Tol	Deviation
15	Plano1	0	0	0	No. of Pts	3
16	X	-20,1337226	-20,0980719	0	0	0
17	Y	-1,0036716	-18,5229952	S	0	0
18	Z	0,0254348		0 Min	0	0
19	A1	0,0002546296296		0 Max	0	0
20	A2	0,0005787037037				0
21	Circulo1("COMPRIMI	0				4
22	Circulo1	0				4
23	X	0,0133602				0
24	Y	-0,0051898				0,0250841
25	Z	-24,9987228				-0,012549
26	D	42,0823419				0,0125497
27	Circulo2("COMPRIMI	0				4
28	Circulo2	0				4
29	X	399,9554569	400	0	0	0
30	Y	0,0019245	0	S	0	0,0074878
31	Z	-25,0002009	-25	Min	0	-0,0037525
32	D	42,0613277	42	Max	0	0,0037449
33	0	0	0	0	0	0
34	Circulo3	0	0	0	No. of Pts	4

**Erros nos eixos x e y do círculo 1 (origem)**

Fonte: Do Autor, 2022.

Buscando mais informações, foi contatado uma empresa prestadora de serviços de calibração, onde a orientação foi chamar novamente os elementos 1 e 2. O resultado dos erros nos eixos X e Y da origem nessa condição foi zero.

Em outro teste, realizou-se novamente a medição dos elementos 1 e 2. Nessa condição, o erro nos eixos X e Y do círculo 1 foram de apenas centésimos de

micrômetros, conforme Figura 27, referente apenas ao erro de apalpação do cabeçote.

Figura 27 - Erros nos eixos X e Y após a alteração

	A	B	C	D	E
21	Circulo1("COMPRIMI	0	0	0	No. of Pts
22	Circulo1_REF	0	0	0	No. of Pts
23	X	0,018681	0	0	
24	Y	-0,0256662	0	S	
25	Z	-25,0005427	-25	Min	
26	D	42,0823984	42	Max	
27	Circulo2("COMPRIMI	0	0	0	No. of Pts
28	Circulo2_REF	0	0	0	No. of Pts
29	X	399,9648366	399,9456	0	
30	Y	-0,0130434	0	S	
31	Z	-25,000415	-25	Min	
32	D	42,0695071			
33	0	0			
34	Circulo1_CALC	0			
35	X	0,0001084			
36	Y	-0,0000881			
37	Z	-25,0006731			
38	D	42,0825778			
39	0	0			
40	Circulo2_CALC	0	0	0	No. of Pts
41	v	399,9456017	399,9456	0	

**Erros nos eixos x e y do círculo 1 (origem)**

Fonte: Do Autor, 2022.

### 3.5 Melhorar

Conforme testes realizados, podemos observar que a posição do padrão de verificação sob a mesa e a força apalpação não impactam no resultado. Porém é preciso um cuidado especial com a leitura da temperatura e a utilização correta do compensador de temperatura. Mas indiscutivelmente, a alteração na estratégia de medição pode ser considerada o principal vetor para mitigar as variações observadas.

Com a alteração no programa de medição, o relatório gerado teve um incremento de 12 linhas, isso fez com que a planilha do *trichack*, perdesse as referências no momento da importação dos resultados. Para resolver o problema, foi necessário editar a macro referente a identificação dos destinos corretos.

### **3.6 Controlar**

Na fase controlar, foi criado um procedimento, denominado Instrução de trabalho para a realização das verificações periódicas. Após a calibração do equipamento, será iniciado o processo de verificação. O procedimento detalhado dessa etapa é apresentado no Apêndice A.

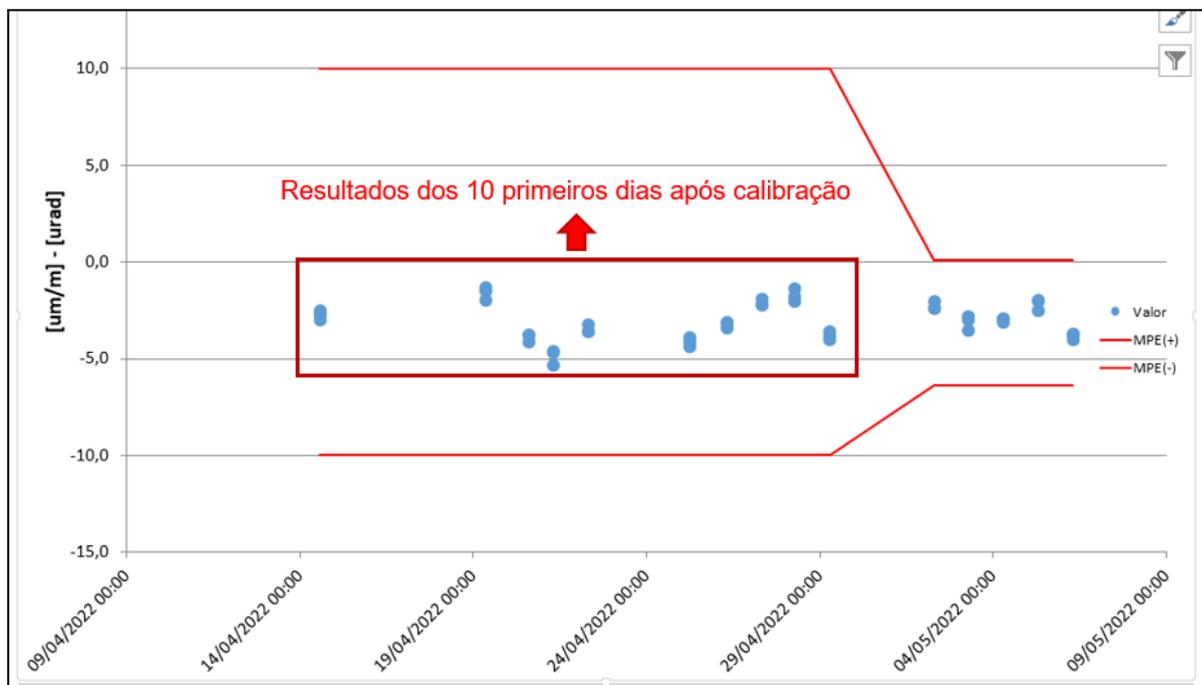
#### 4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Após as alterações na estrutura de medição e do controle da temperatura do padrão, iniciou-se uma nova coleta de dados. Por um período de 10 dias foram realizadas 3 medições diárias em cada um dos planos básicos. Ao final desse período, foram calculados os limites de controle para cada um dos 6 erros paramétricos à que o procedimento se propõe a analisar.

Os valores dos limites de controle de cada um dos parâmetros foram atualizados na planilha, a partir de então, conforme as verificações são realizadas, os resultados gráficos já serão apresentados com os limites de controle atualizados.

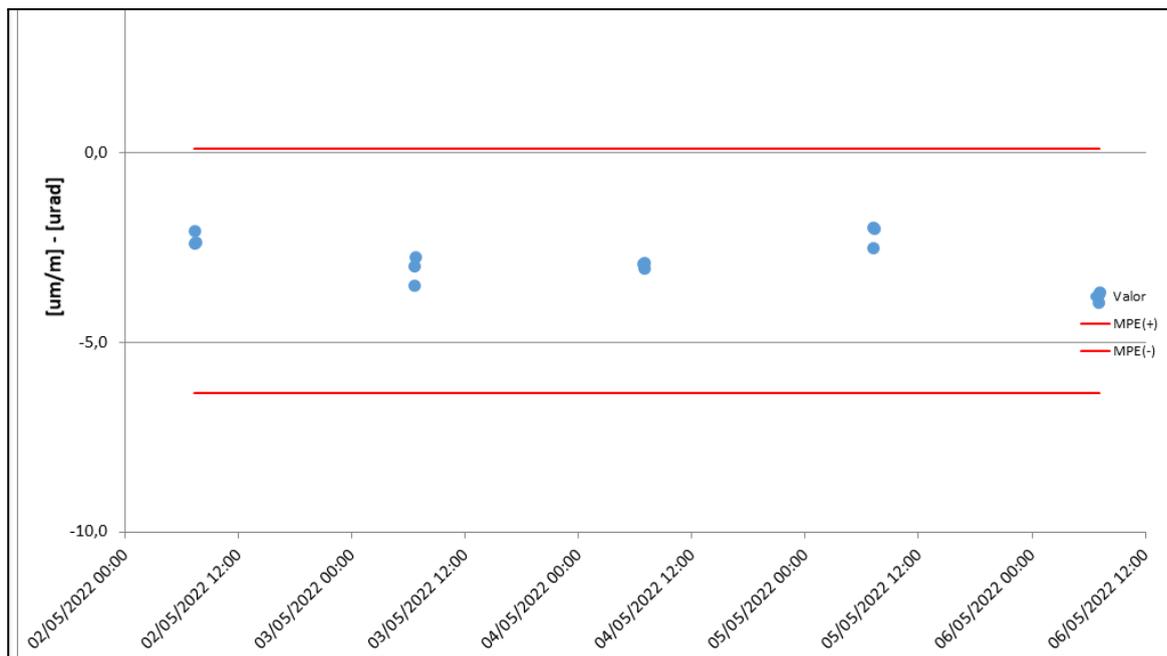
Na Figura 28 está destacado o comportamento dos resultados nos dez primeiros dias de medição após a calibração. Os limites de controle durante esse período foram definidos de acordo com a sugestão do fornecedor, visto que sem os limites de controle, não é possível importar os resultados das medições para a planilha. Já na Figura 29 estão plotados apenas os resultados dos 5 primeiros dias após a atualização dos limites de controle.

Figura 28 - Resultado gráfico dos dez primeiros dias após a calibração



Fonte: Do Autor, 2022.

Figura 29 - Resultado gráfico dos cinco primeiros dias após a atualização dos limites de controle



Fonte: Do Autor, 2022.

Os resultados encontrados após as alterações, apresentaram uma estabilidade dimensional condizentes com o sistema de medição. Em um período de 22 dias, a amplitude entre as medições não ultrapassou 0,005mm, evidenciando que as ações de melhoria em relação ao controle de temperatura e as alterações no programa de medição foram assertivas.

## 5. CONCLUSÃO

O trabalho teve como objetivo, identificar as causas da instabilidade dos resultados de medição no processo de verificação intermediária da M.M.C., e posteriormente definir um procedimento para verificação.

Fazendo uso de uma metodologia estruturada de resolução de problemas, foi possível atingir o primeiro objetivo de forma exitosa. As variações observadas entre as verificações passaram de 0,100mm/m para 0,007mm/m. Com os resultados positivos, definiu-se um procedimento para a verificação intermediária, levando em consideração todos os dados levantados durante o processo de resolução do problema.

Os resultados conquistados ao final do trabalho, evidenciaram que as metas iniciais do projeto foram alcançadas. Destaca-se a importância do trabalho realizado para a empresa, uma vez que, através da utilização do procedimento criado, terá uma maior confiabilidade nos processos de medição, e/ou conseqüentemente uma redução nos custos envolvidos no processo de calibração.

Além dos benefícios alcançados que impactam na competitividade da empresa, é preciso destacar a evolução nos conceitos metrológicos adquiridos pelo grupo de trabalho. Outro ponto que merece destaque, é a utilização da metodologia *Six Sigma* e das ferramentas estatísticas para resolução do problema. O projeto gerou a oportunidade da aplicação prática e real de conceitos teóricos, conceitos estes que fizeram parte da trajetória acadêmica e são cada vez mais disseminados no ambiente industrial.

Como sugestões para trabalhos futuros, existe a possibilidade de realizar o processamento dos dados de forma instantânea através de softwares específicos, evitando assim todo o trabalho de importação manual dos resultados, além de facilitar o gerenciamento das verificações periódicas.

## REFERÊNCIAS

ALBERTASS, Armando; SOUZA, André R. de S. Fundamentos da Metrologia Científica e Industrial. Barueri: Editora Manole, 2008.

MENSURA 3D. Disponível em: <<http://mensura3d.com.br/>> Acesso em: 22 Fev 2016.

VOCABULÁRIO INTERNACIONAL DE METROLOGIA - VIM: Conceitos fundamentais e gerais e termos associados. (VIM 2012). Duque de Caxias, RJ, INMETRO, 2012.

OLIVEIRA, Ademir Linhares e SOUZA, André Roberto. Validação por processos de coordenadas em operações de controle de qualidade. Fundação CERTI – Centro de metrologia e inovação em processos - Florianópolis - SC. 2003.

SOARES JUNIOR, Luís. Confiabilidade metrológica no contexto da qualidade industrial: Diagnóstico e sistematização de procedimentos. Florianópolis. UFSC. 1999. Dissertação (Mestrado) - Pós-graduação em Metrologia Científica e Industrial. Universidade Federal de Santa Catarina. 1999.

DUNHAM, Paulo César da Costa Lino e MACHADO, Marcio. Método de alteração de intervalos entre calibrações. Congresso da Qualidade em Metrologia. São Paulo. P.1. 9 a 12 Junho. 2008.

ALVES, Marcelo Lima e SILVA, Luiz Roberto Oliveira. A calibração periódica de instrumentos de medição e padrões e suas relações com custo benefício. Encontro para a qualidade de laboratórios: São Paulo, 2004

Shankar, R. (2009). Process improvement. Using Six Sigma. A DMAIC guide, Wisconsin: ASQ Quality Press.

SMĘTKOWSKA, Monika; MRUGALSKA, Beata. Using Six Sigma DMAIC to improve the quality of the production process: a case study. **Procedia-Social and Behavioral Sciences**, v. 238, p. 590-596, 2018.

SOKOVIC, Mirko; PAVLETIC, Dusko; PIPAN, K. Kern. Quality improvement methodologies—PDCA cycle, RADAR matrix, DMAIC and DFSS. **Journal of achievements in materials and manufacturing engineering**, v. 43, n. 1, p. 476-483, 2010.

KUMAR, S., & Sosnoski, M. (2009). Using DMAIC Six Sigma to systematically improve shopfloor production quality and costs, *International Journal of Productivity and Performance Management*, 58(3), 254-273

GOMES, Andreia Oliveira. **A metrologia em diferentes equipamentos**. 2017. Tese de Doutorado.

JUNIOR, Armando Albertazzi G.; SOUZA, André R. de. Fundamentos de metrologia científica e industrial: Revisada, Atualizada e Ampliada. Barueri: Manole, 2017.

ROCHA, Gelson Martins da. Metrologia Científica e Industrial: Ciência e Tecnologia Apoiando a Inovação e Competitividade da Indústria. *Revista Analytica*, 2020. Disponível em: . Acesso em: 6 dez. de 2020.

CRUZ, Bruna Madeira Araújo da; CRUZ, Renato Batista da. *Práticas de Metrologia*. Indaial: Uniasselvi, 2019.

LASERMEC. Metrologia Industrial: Conheça os benefícios e como implementar. Blog Lasermec, 2020. Disponível em: . Acesso em: 6 dez. de 2020.

SILVA NETO, J. C. DA. *Metrologia e Controle Dimensional*. Rio de Janeiro: Elsevier Ltd, 2012.

SHEREMETIEFF, Alexandre; SERENO, Helton. Elevando a confiabilidade metrológica através de planos de calibração, 2017.

OLIVEIRA, Camila Cardoso de et al. Manual para elaboração de cartas de controle para monitoramento de processos de medição quantitativos em laboratórios de ensaio. **Instituto Adolfo Lutz. São Paulo**, p. 18, 2013.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; HARLAND, C.; HARRISON, A.; JOHNSTON, R. Administração da Produção. São Paulo: Atlas, 1996.

DAVIS, M. M.; AQUILANO N. J.; CHASE R. B. Fundamentos da administração da produção. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

VICENTE, Manuel António Facas. **Estimação dos Erros de uma Máquina Estacionária de Medição de Coordenadas**. Coimbra: Universidade de Coimbra, 1997.

ARENHART, Francisco Augusto. Desempenho Metrológico de Máquinas de Medição por Coordenadas no Âmbito Industrial Brasileiro. **Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis–SC**, 2007.

SOBRINHO, Antônio Araújo; SOUZA, Gilberto Morel de Paula. Física térmica: teórica e experimental, 2006

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 1. Geometrical Product Specifications (GPS) - Standard reference temperature for geometrical product specification and verification, 2002.

VICENTE, Manuel António Facas. **Estimação dos Erros de uma Máquina Estacionária de Medição de Coordenadas**. Coimbra: Universidade de Coimbra, 1997.

## **APÊNDICES**

### Apêndice A

#### **Verificação Intermediária de Máquinas de Medição por Coordenadas**

##### **Instrução de Trabalho:**

##### **Sumário**

- 1 Objetivo
- 2 Aplicação
- 3 Responsabilidade
- 4 Documentos associados
- 5 Descrição
- 6 Registros Associados
- 7 Anexos

#### **1. Objetivo**

Descrever o procedimento para verificação intermediária das Máquinas de Medição por coordenadas Zeiss, utilizando o padrão de verificação Trimensura e a planilha de acompanhamento dos resultados TriCheck.

#### **2. Aplicação**

Esta instrução de trabalho é aplicável para verificação intermediária da M.M.C. Zeiss.

#### **3. Responsabilidade**

A verificação intermediária deverá ser conduzida pela equipe de manutenção das M.M.Cs. e os resultados deverão ser repassados para o setor de metrologia.

A verificação intermediária deverá ser realizada diariamente nos dez primeiros dias subsequentes à calibração para definição dos limites de controle, após esse período, o monitoramento deverá ser realizado uma vez por mês, ou quando houver alguma interferência ou colisão na M.M.C.

## 4. Documentos associados

IATF 16949:2016 – Sistema de gestão da qualidade automotiva.

## 5. Descrição

### 5.1 Definição

O objetivo da verificação intermediária é monitorar o desempenho de M.M.C., desta forma, a verificação pode ser realizada medindo-se um padrão através de um programa CNC desenvolvido especificamente para esse fim onde os resultados das medições são comparados aos valores reais obtidos no certificado de calibração do padrão.

Segundo o manual do fabricante, o padrão de verificação, Figura 1, pode ser descrito basicamente como um padrão dimensional de 3 furos de alta exatidão, projetado na forma de um triângulo retângulo com os lados tendo comprimentos de 300, 400 e 500 mm, e fabricado em liga especial de aço inoxidável de alta dureza, resistência mecânica e estabilidade dimensional. Seu coeficiente de dilatação térmica de 18ppm/°C. Originalmente projetado para a verificação rápida de M.M.C. conforme as normas da série ISO 10360, o padrão pode ser usado para estudos de MSA (Measurement System Analysis), mais especificamente nos estudos de estabilidade e tendência.

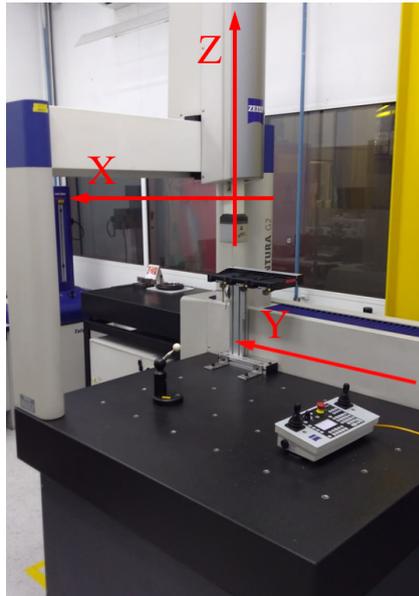
Figura 1



Fonte: Fabricante, 2016

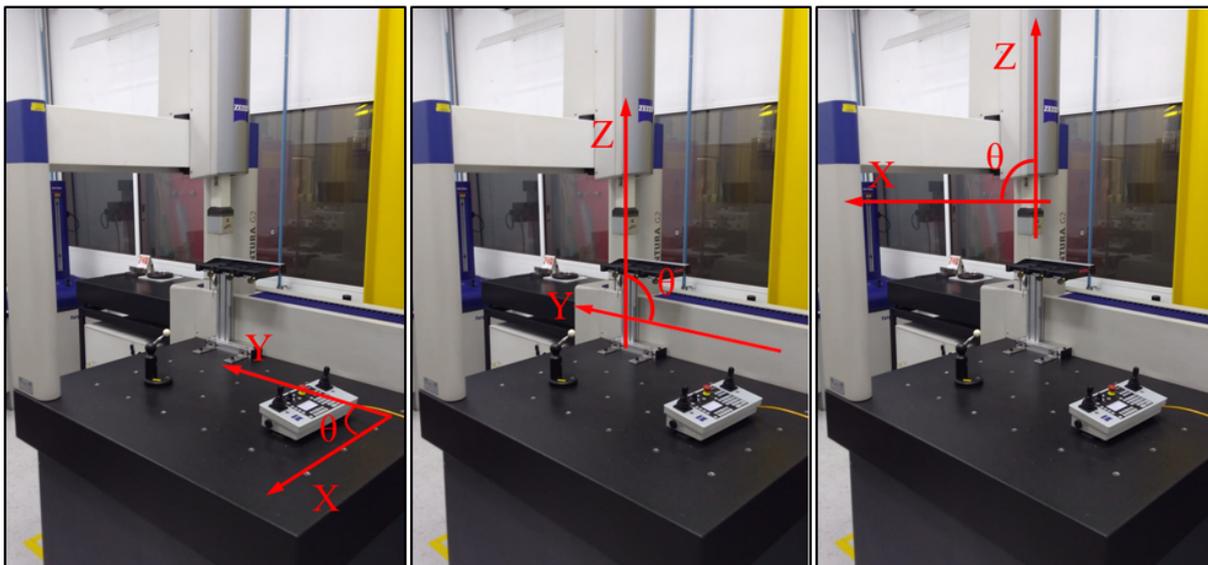
Ainda segundo o manual do fabricante, padrão de Verificação permite determinar os 6 principais erros geométricos da M.M.C., também chamados de erros paramétricos. Esses 6 erros paramétricos consistem nos 3 erros de posicionamento, figura 2, um para cada eixo da máquina e os 3 erros de perpendicularidade entre cada par de eixos, figura 3.

Figura 2 – Erros de posição



Fonte: Própria, 2022.

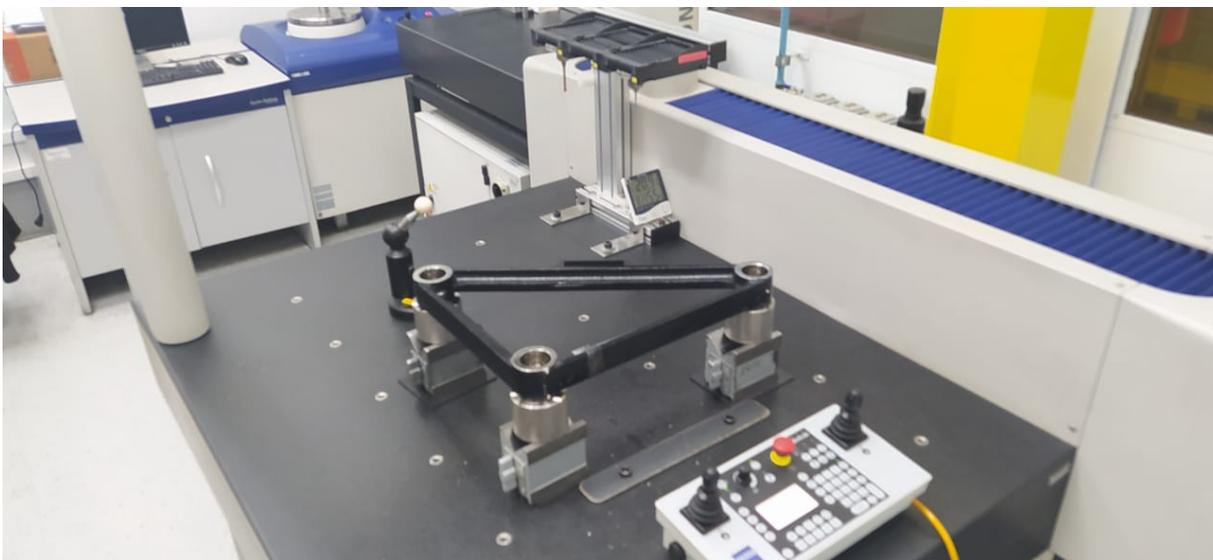
Figura 3 – Erros de perpendicularidade XY, YZ e XZ



Fonte: Própria, 2022.

Para determinar os 6 erros paramétricos o padrão deverá ser medido em cada uma das 3 posições básicas da M.M.C., ou seja, os planos XY, YZ e XZ conforme figuras 4, 5 e 6.

Figura 4– Posição XY



Fonte: Própria, 2022.

Figura 5 – Posição XZ



Fonte: Própria, 2022.

Figura 6 – Posição YZ



Fonte: Própria, 2022.

Após a calibração externa do equipamento, será iniciado o processo de verificação intermediária.

O mesmo programa de medição é utilizado para avaliar as três posições básicas do padrão de verificação, isso é possível utilizando um apalpador adequado para esse fim. A figura 7 ilustra a configuração do apalpador a ser utilizado.

Figura 7 – Configuração do apalpador

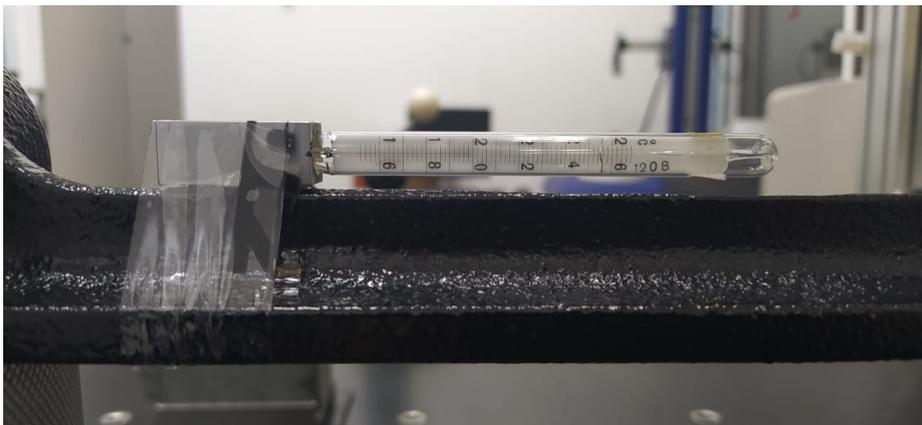


Fonte: Própria, 2022.

Antes das medições é necessário realizar a calibração da configuração das pontas de medição.

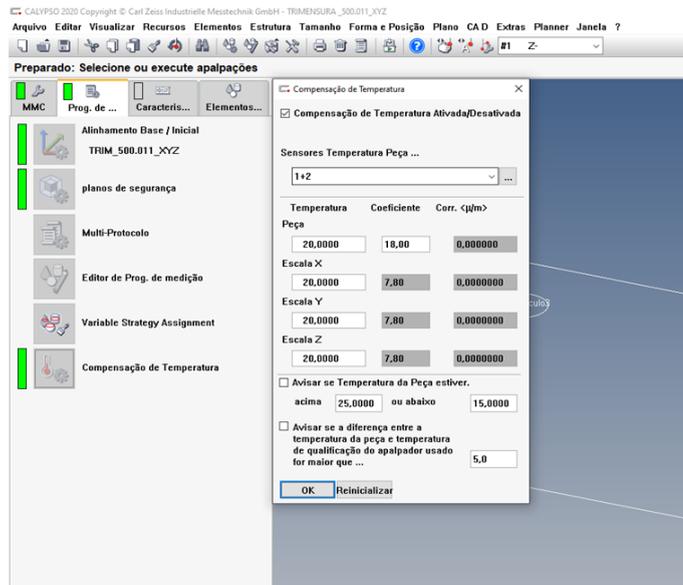
O padrão de verificação deverá permanecer ao lado da M.M.C. por 24 horas antes das medições. No momento da medição, a temperatura do padrão deverá ser verificada com auxílio de um termômetro de contato conforme figura 8, e a temperatura do padrão deverá ser inserida no campo de compensador de temperatura do software Calypso conforme figura 9.

Figura 8 – Medição da temperatura do padrão



Fonte: Própria, 2022.

Figura 9 – Janela Calypso compensador de temperatura



Fonte: Própria, 2022.

Após a calibração das pontas e da atualização da temperatura do padrão de verificação no software, é necessário realizar 3 medições em cada plano básico conforme figuras 4, 5 e 6. Essa rotina deverá ser repetida por um período de 10(dez) dias. Os relatórios de medição serão salvos em planilhas no formato Excel.

## 5.2 Planilha TriCheck

Após as medições, será necessário importar os relatórios para a planilha TriCheck. Após abrir a planilha, na aba "CALYPSO", clicar no botão "Abrir arquivo CALYPSO" para carregar os dados de medição conforme figura 10.

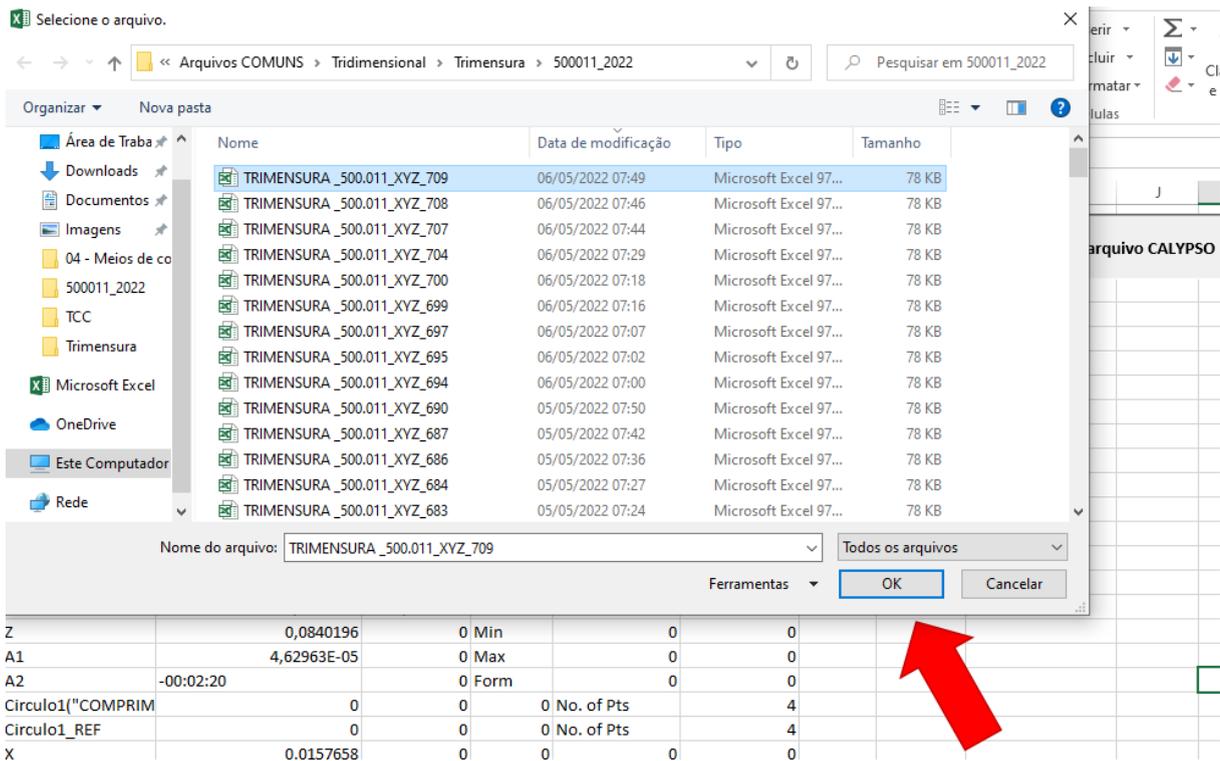
Figura 10 – Planilha TriCheck

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	0		0	0	0	0	0				
2	0	Calypso Measuring Result	0	0	0	0	0				
3	0		0	0	0	0	0				
4	0	Measurement Plan	0	Date	0	Order					
5	0	TRIMENSURA_500.011_XYZ	0	44687	0	0	0				
6	0		0	0	0	0	0				
7	0	Drawing No.	0	Time	0	Part No.					
8	0		0	0,326088	0	709					
9	0		0	0	0	0	0				
10	0	Operator	0	CMM	0	0	0				
11	0	Master	0	500011	0	0	0				
12	0		0	0	0	0	0				
13	0		0	0	0	0	0				
14	Characteristic	Actual	Nominal	Upper Tol	Lower Tol	Deviation					
15	Plano1	0	0	0	No. of Pts	3					
16	X	-20,1378326	-20,0980719	0	0	0					
17	Y	-0,9933716	-18,5229952	S	0	0					
18	Z	0,0840196	0	Min	0	0					
19	A1	4,62963E-05	0	Max	0	0					
20	A2	-00:02:20	0	Form	0	0					
21	Circulo1("COMPRIM	0	0	0	No. of Pts	4					
22	Circulo1_REF	0	0	0	No. of Pts	4					
23	X	0,0157658	0	0	0	0					
24	Y	0,0184968	0	S	0	0,0249451					
25	Z	-25,0018307	-25	Min	0	-0,012487					
26	D	42,0820051	42	Max	0	0,0124734					
27	Circulo2("COMPRIM	0	0	0	No. of Pts	4					
28	Circulo2_REF	0	0	0	No. of Pts	4					
29	X	399,9625336	399,9456	0	0	0					
30	Y	0,007096	0	S	0	0,0073109					
31	Z	-25,0018978	-25	Min	0	-0,0036582					
32	D	42,0693855	42	Max	0	0,0036574					
33		0	0	0	0	0					
34	Circulo1_CALC	0	0	0	No. of Pts	4					
35	X	0,0001822	0	0	0	0					
36	Y	-0,0001637	0	S	0	0,0251759					

Fonte: Própria, 2022.

Selecionar o arquivo desejado e clicar em OK, conforme figura 11.

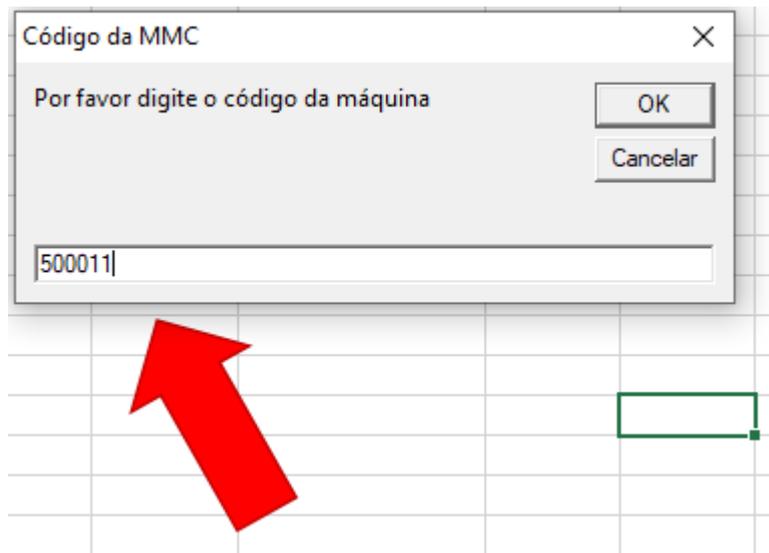
Figura 11 – Janela seleção do arquivo



Fonte: Própria, 2022.

Após clicar em “OK”, abrirá uma janela solicitando o código da máquina conforme figura 12. O código da máquina será o número de rastreabilidade da máquina sem o ponto, por exemplo, se o número de rastreabilidade da máquina é 500.011 o código será 500011. Essa informação necessária, visto que a mesma planilha será utilizada para realizar o acompanhamento da verificação de outras M.M.Cs.

Figura 12 – Janela código da máquina



Fonte: Própria, 2022.

Os resultados processados serão automaticamente adicionados na aba "Resultados". O gráfico de controle é apresentado na aba "Gráfico".

É necessário repetir o procedimento de importação para cada relatório gerado. Quando finalizadas as medições dos 10 primeiros dias após a calibração, haverá um total de 90 relatórios. Com base nessa amostra de resultados, serão definidos os limites de controle utilizados para a verificação da M.M.C.

## 5.2 Limites de controle

Após a importação de todos os relatórios, na aba resultados, filtrar a máquina e os resultados das medições referentes aos 10 dias posteriores à calibração. Na figura 13, a aba resultados.

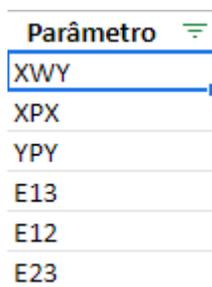
Figura 13 – Aba resultados da planilha Tricheck

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	№ Máquin.	Máquina	Data	Posição	Parâmetro	Valor	MPE(+)	MPE(-)	Unidade	Comentário
20	500011	Zeiss	4/14/22 13:49	XZ	XWZ	-6,2	10	-10	urad	
26	500011	Zeiss	4/14/22 13:51	XZ	XWZ	-5,3	10	-10	urad	
32	500011	Zeiss	4/14/22 13:54	XZ	XWZ	-5,0	10	-10	urad	
74	500011	Zeiss	4/19/22 9:01	XZ	XWZ	-4,4	10	-10	urad	
80	500011	Zeiss	4/19/22 9:11	XZ	XWZ	-1,9	10	-10	urad	
86	500011	Zeiss	4/19/22 9:19	XZ	XWZ	-0,1	10	-10	urad	
128	500011	Zeiss	4/20/22 14:05	XZ	XWZ	-6,6	10	-10	urad	
134	500011	Zeiss	4/20/22 14:08	XZ	XWZ	-6,1	10	-10	urad	
140	500011	Zeiss	4/20/22 14:13	XZ	XWZ	-4,7	10	-10	urad	
182	500011	Zeiss	4/21/22 6:49	XZ	XWZ	-3,8	10	-10	urad	
188	500011	Zeiss	4/21/22 6:51	XZ	XWZ	-3,3	10	-10	urad	
194	500011	Zeiss	4/21/22 6:53	XZ	XWZ	-3,6	10	-10	urad	
236	500011	Zeiss	4/22/22 7:13	XZ	XWZ	-3,6	10	-10	urad	
242	500011	Zeiss	4/22/22 7:18	XZ	XWZ	-2,4	10	-10	urad	
248	500011	Zeiss	4/22/22 7:20	XZ	XWZ	-2,7	10	-10	urad	
290	500011	Zeiss	4/25/22 6:31	XZ	XWZ	-5,4	10	-10	urad	
296	500011	Zeiss	4/25/22 6:33	XZ	XWZ	-4,8	10	-10	urad	
302	500011	Zeiss	4/25/22 6:35	XZ	XWZ	-3,8	10	-10	urad	
326	500011	Zeiss	4/26/22 6:57	XZ	XWZ	-0,2	10	-10	urad	
332	500011	Zeiss	4/26/22 6:59	XZ	XWZ	-0,6	10	-10	urad	
338	500011	Zeiss	4/26/22 7:01	XZ	XWZ	-0,4	10	-10	urad	
362	500011	Zeiss	4/27/22 7:20	XZ	XWZ	-1,0	10	-10	urad	
368	500011	Zeiss	4/27/22 7:22	XZ	XWZ	-0,7	10	-10	urad	
374	500011	Zeiss	4/27/22 7:25	XZ	XWZ	-0,6	10	-10	urad	
398	500011	Zeiss	4/28/22 7:00	XZ	XWZ	-3,3	10	-10	urad	

Fonte: Própria, 2022.

Na sequência, filtrar cada um dos parâmetros separadamente de acordo com a Figura 14.

Figura 14 – Filtro de parâmetros



Fonte: Própria, 2022.

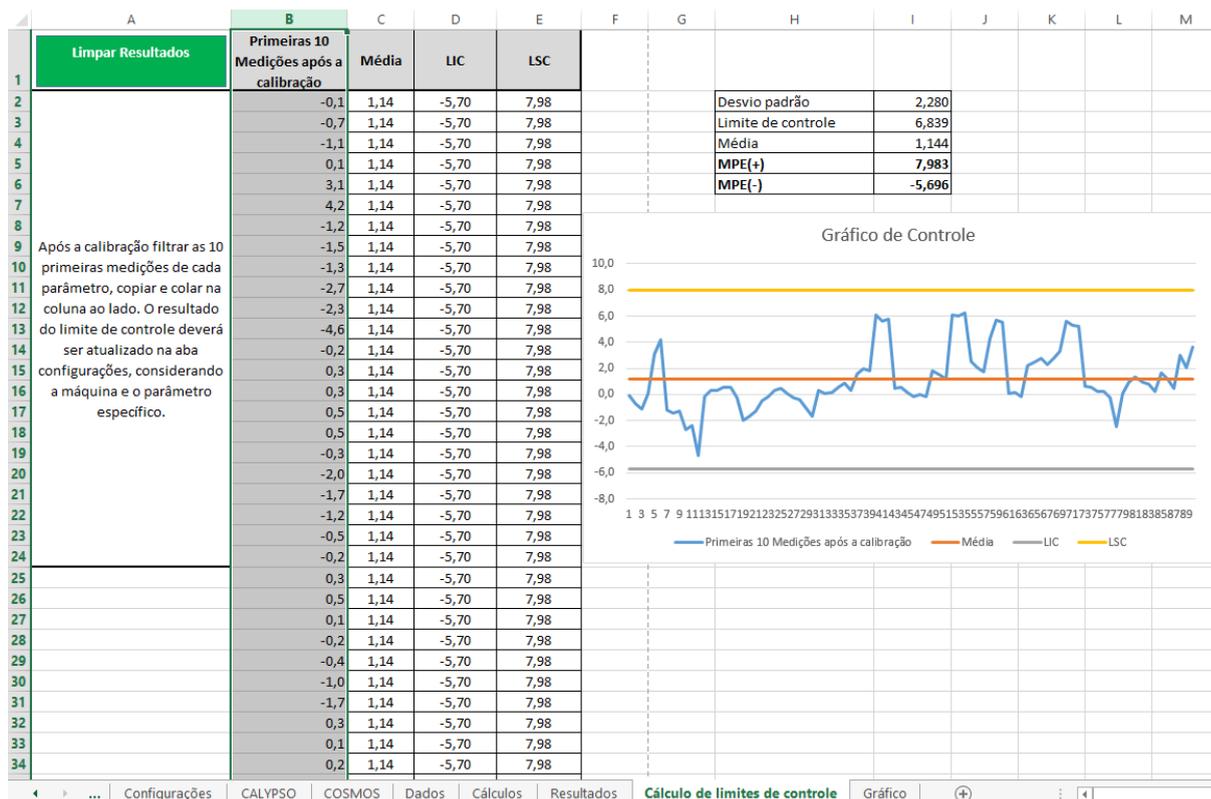
Selecionar e copiar os resultados da coluna “valor”, figura 15, e colar na coluna B da aba de cálculos de limites de controle, figura 16. Se a coluna estiver preenchida, é necessário clicar no botão limpar resultados, isso evitará que os valores já existentes na coluna, contaminem os resultados do desvio padrão do parâmetro analisado.

Figura 15 – Filtro coluna valor

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Nº Máqui	Máquina	Data	Posição	Parâmetro	Valor	MPE(+)	MPE(-)	Unidade	Comentário
3	500011	Zeiss	14/04/2022 13:33	XY	XPX	-0,1	10,0	-10,0	um/m	
9	500011	Zeiss	14/04/2022 13:42	XY	XPX	-0,7	10,0	-10,0	um/m	
15	500011	Zeiss	14/04/2022 13:44	XY	XPX	-1,1	10,0	-10,0	um/m	
21	500011	Zeiss	14/04/2022 13:49	XZ	XPX	0,1	10,0	-10,0	um/m	
27	500011	Zeiss	14/04/2022 13:51	XZ	XPX	3,1	10,0	-10,0	um/m	
33	500011	Zeiss	14/04/2022 13:54	XZ	XPX	4,2	10,0	-10,0	um/m	
57	500011	Zeiss	19/04/2022 08:19	XY	XPX	-1,2	10,0	-10,0	um/m	
63	500011	Zeiss	19/04/2022 08:21	XY	XPX	-1,5	10,0	-10,0	um/m	
69	500011	Zeiss	19/04/2022 08:23	XY	XPX	-1,3	10,0	-10,0	um/m	
75	500011	Zeiss	19/04/2022 09:01	XZ	XPX	-2,7	10,0	-10,0	um/m	
81	500011	Zeiss	19/04/2022 09:11	XZ	XPX	-2,3	10,0	-10,0	um/m	
87	500011	Zeiss	19/04/2022 09:19	XZ	XPX	-4,6	10,0	-10,0	um/m	
111	500011	Zeiss	20/04/2022 13:37	XY	XPX	-0,2	10,0	-10,0	um/m	
117	500011	Zeiss	20/04/2022 13:46	XY	XPX	0,3	10,0	-10,0	um/m	
123	500011	Zeiss	20/04/2022 13:48	XY	XPX	0,3	10,0	-10,0	um/m	
129	500011	Zeiss	20/04/2022 14:05	XZ	XPX	0,5	10,0	-10,0	um/m	
135	500011	Zeiss	20/04/2022 14:08	XZ	XPX	0,5	10,0	-10,0	um/m	
141	500011	Zeiss	20/04/2022 14:13	XZ	XPX	-0,3	10,0	-10,0	um/m	
165	500011	Zeiss	21/04/2022 06:39	XY	XPX	-2,0	10,0	-10,0	um/m	
171	500011	Zeiss	21/04/2022 06:42	XY	XPX	-1,7	10,0	-10,0	um/m	
177	500011	Zeiss	21/04/2022 06:44	XY	XPX	-1,2	10,0	-10,0	um/m	
183	500011	Zeiss	21/04/2022 06:49	XZ	XPX	-0,5	10,0	-10,0	um/m	
189	500011	Zeiss	21/04/2022 06:51	XZ	XPX	-0,2	10,0	-10,0	um/m	
195	500011	Zeiss	21/04/2022 06:53	XZ	XPX	0,3	10,0	-10,0	um/m	
219	500011	Zeiss	22/04/2022 06:59	XY	XPX	0,5	10,0	-10,0	um/m	
225	500011	Zeiss	22/04/2022 07:02	XY	XPX	0,1	10,0	-10,0	um/m	
231	500011	Zeiss	22/04/2022 07:04	XY	XPX	-0,2	10,0	-10,0	um/m	
237	500011	Zeiss	22/04/2022 07:13	XZ	XPX	-0,4	10,0	-10,0	um/m	
243	500011	Zeiss	22/04/2022 07:18	XZ	XPX	-1,0	10,0	-10,0	um/m	
249	500011	Zeiss	22/04/2022 07:20	XZ	XPX	-1,7	10,0	-10,0	um/m	
273	500011	Zeiss	25/04/2022 06:21	XY	XPX	0,3	10,0	-10,0	um/m	
279	500011	Zeiss	25/04/2022 06:23	XY	XPX	0,1	10,0	-10,0	um/m	
285	500011	Zeiss	25/04/2022 06:24	XY	XPX	0,2	10,0	-10,0	um/m	
291	500011	Zeiss	25/04/2022 06:31	XZ	XPX	0,6	10,0	-10,0	um/m	
297	500011	Zeiss	25/04/2022 06:33	XZ	XPX	0,9	10,0	-10,0	um/m	

Fonte: Própria, 2022.

Figura 16 – Aba cálculo de limites de controle



Fonte: Própria, 2022.

Obs: Se a coluna B estiver preenchida, é necessário clicar no botão limpar resultados (Célula A1), isso evitará que os valores já existentes na coluna, contaminem os resultados do desvio padrão do parâmetro analisado.

Com base nos resultados colados na coluna “B”, será calculado automaticamente o valor das médias e do desvio padrão, e assim será possível determinar os limites de controle para cada parâmetro, sendo denominados:

- MPE(+)(Máximo Erro Permissível) para o limite de controle superior;
- MPE(-) para o limite de controle inferior.

Copiar os valores do MPE(+) e do MPE(-), e colar na aba configurações na linha referente a respectiva máquina e na coluna do respectivo parâmetro, figura 17.

Figura 17 – Aba cálculo de limites de controle

	A	B	C	D	E	R	S	T	U
1						E13	um/m	E12	um/m
2	<b>Codigo</b>	<b>Máquina</b>	<b>Modelo</b>	<b>Local</b>	<b>Ordem</b>	<b>MPE(+)</b>	<b>MPE(-)</b>	<b>MPE(+)</b>	<b>MPE(-)</b>
3	500003	Mitutoyo	UPMC 850	Lab. Metrologia	1	10	-10	10	-10
4	500004	Mitutoyo	Prismo 7	Chão de fábrica	2	10	-10	10	-10
5	500005	Mitutoyo	Prismo 7	Chão de fábrica	3	10	-10	10	-10
6	500006	Mitutoyo	Prismo 10	Chão de fábrica	4	10	-10	10	-10
7	500008	Zeiss	Prismo 10	Chão de fábrica	5	10	-10	10	-10
8	500009		Prismo 10	Chão de fábrica	6	10	-10	10	-10
9	500010		Eclipse	Chão de fábrica	7	10	-10	10	-10
10	500011	Zeiss	Prismo 10	Chão de fábrica	8	9,59	-7,3	8,85	-8,8
11		ABC9	Eclipse	Chão de fábrica	9	10	-10	10	-10

Fonte: Própria, 2022.

A partir dessa alteração, os resultados das novas medições terão como limites de controle os valores calculados com base nas 10 primeiras medições posteriores a calibração.

