



**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**CAMPUS CURITIBA**

**DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE MECÂNICA**

**ENGENHARIA INDUSTRIAL MECÂNICA**

**PROJETO FINAL DE CURSO**

**MIRYAM CARDOSO ALCOBIA FANHA**

**ESTUDO DE ESTRATÉGIAS DE MEDIÇÃO PARA  
CONTROLE DO DIMENSIONAMENTO GEOMÉTRICO  
E TOLERANCIAMENTO (GD&T) EM PEÇAS  
ESTAMPADAS**

**CURITIBA**

**DEZEMBRO - 2011**

**MIRYAM CARDOSO ALCOBIA FANHA**

**ESTUDO DE ESTRATÉGIAS DE MEDIÇÃO PARA  
CONTROLE DO DIMENSIONAMENTO GEOMÉTRICO  
E TOLERANCIAMENTO (GD&T) EM PEÇAS  
ESTAMPADAS**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à disciplina de Projeto de Final de  
Curso II, como requisito para aprovação na  
disciplina.

**Orientador:** Prof. Walter Luís Mikos,  
Doutor em Engenharia Mecânica

**CURITIBA**

**DEZEMBRO – 2011**

## TERMO DE APROVAÇÃO

Por meio deste termo, aprovamos a monografia do Projeto de Pesquisa "Estudo de estratégias de medição para controle do dimensionamento geométrico e toleranciamento (GD&T) em peças estampadas", realizado pelo aluna Miryam Cardoso Alcobia Fanha, como requisito parcial para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Prof. Walter Luís Mikos, Doutor em Engenharia Mecânica

Damec, UTFPR

Orientador

Prof.<sup>a</sup>. Maria das Graças Contin Garcia Pelisson

Damec, UTFPR

Avaliadora

Prof. João Vicente Falleiro Salgado, Mestre em Metrologia

Damec, UTFPR

Avaliador

Curitiba, 12 de dezembro de 2011.

Ao Daniel, que compartilhou de todas as expectativas, fracassos e vitórias dessa jornada. Pela paciência e palavras de apoio nos momentos difíceis.

Ao Gabriel pelos momentos de ausência. Que a realização desse trabalho sirva de exemplo em sua vida.

## RESUMO

O Dimensionamento Geométrico e Toleranciamento (*GD&T - Geometric Dimensioning and Tolerance*) é uma metodologia utilizada para a cotação de desenhos e sua aplicação vem se estendendo nas empresas do ramo automotivo. Um dos fatores que explica seu uso é a redução de custo gerada pela ampliação da faixa de tolerâncias das peças, fazendo com que os custos de não qualidade com peças não conformes diminuam. Mas o que verifica-se é que algumas empresas ainda não estão preparadas para aplicar corretamente essa metodologia e que essa interpretação equivocada do desenho leva a uma definição da estratégia de medição errônea. O problema que se propõe solucionar no trabalho é vivenciado por uma empresa em um dos seus primeiros processos produtivos que é a inspeção de recebimento de componentes. Nesta inspeção são verificadas algumas características acordadas entre o fornecedor e o cliente, e a probabilidade de divergências entre esses resultados de medição não podem ser completamente eliminada. Estas divergências podem estar associadas a alguns fatores, entre eles: os processos de medição empregados, pois, em geral, os fornecedores de primeira camada, utilizam gabaritos de controle dedicados na linha de produção para medição de seus componentes enquanto os clientes utilizam MMC ou outros meios universais. O projeto estuda a metodologia *GD&T* seus fundamentos e sua correta aplicação na verificação da conformidade da peça, os processos de medição utilizados, principalmente a medição por coordenadas. Dados de três empresas foram coletados: do fornecedor, do cliente que utiliza a peça, e da matriz da empresa na Europa que utiliza uma peça similar. Esse estudo define uma estratégia de medição que possa eliminar possíveis divergências entre a medição do fornecedor e do cliente.

Palavras-chave: Dimensionamento Geométrico e Toleranciamento (*GD&T*).  
Estratégia de medição. Máquina de medição por coordenadas.

## ABSTRACT

*Geometric Dimensioning and Tolerance* (GD&T) is a methodology used for dimensioning and its application has been extended in the automotive industry. One of the factors that explain its use is the cost savings generated by the increase in the tolerances range, making the non quality costs with parts non-conforming decrease. But what can be verified is that some companies are not prepared to apply correctly this methodology and this misinterpretation from the drawing leads to a wrong measurement strategy. The problem that is proposed to be solved is experienced by a company in one of its first process that is the parts incoming inspection. In this inspection some characteristics agreed between supplier and customer are verified, and the probability of differences between these measurements cannot be completely eliminated. These differences may be associated with several factors, including: the measuring process used, because generally suppliers uses gauges dedicated in the production line to measure its components while customer uses CMM or others universal instruments. The project studies the GD&T fundamentals and their correct application for the part conformity verification, the measurement process used, principally the coordinate measurement. Data from three different companies were collect: from the supplier, from the customer who uses the component and from the parent company in Europe that uses a similar piece. This study defined a measurement strategy that can eliminate possible differences between the supplier measurement and the customer one.

Keywords: Geometric Dimensioning and Tolerance (GD&T). Measurement Strategy. Coordinate Measuring Machine (CMM).

## SUMÁRIO

Resumo	4
Abstract	6
Lista de figuras	9
Lista de tabelas	13
Lista de siglas	15
1 INTRODUÇÃO	16
1.1 Tema	16
1.2 Problema	16
1.3 Objetivos	17
1.4 Justificativa	17
2 REVISÃO DA LITERATURA	22
2.1 GD&T	24
2.1.1 História do desenho técnico	24
2.1.2 Surgimento do GD&T	25
2.1.3 O que é o GD&T?	25
2.1.4 Utilização e benefícios do GD&T	28
2.1.5 Fundamentos do GD&T	29
2.2 Processo de Medição por Coordenadas	48
2.2.1 História da Metrologia	48
2.2.2 Metrologia	49
2.2.3 A metrologia no Brasil	50
2.2.4 Caracterização do processo de medição	51
2.2.5 Tolerância Dimensional	53
2.2.6 Metrologia Geométrica	53
2.2.7 Sistema de medição	54
2.2.8 Tolerância Geométrica	55
2.2.9 Máquina de Medição por coordenadas	60
2.2.10 Estratégias de medição	67
2.2.11 Fontes de erro em medição por coordenadas	67
3 METODOLOGIA	74
3.1 Descrição da metodologia	74
3.2 Justificativa da metodologia	75
3.3 Produtos do projeto	76
3.4 Etapas do projeto	76
3.4.1 Preparação:	77
3.4.2 Desenvolvimento	79
3.4.3 Finalização	80
4 Resultados e discussões	81

4.1	Aplicação do GD&T nos desenhos da empresa base de estudo	81
4.2	Estudo das estratégias de medição	87
4.2.1	Estratégia utilizada pela empresa base do estudo	87
4.2.2	Estratégia utilizada pelo fornecedor.	89
4.3	Resultados das medições	90
4.3.1	Resultado da medição da empresa base do estudo	91
4.3.2	Resultado da medição do fornecedor	93
4.3.3	Resultado da medição da matriz da empresa na Europa	95
4.4	Erros verificados	106
4.4.1	Na concepção do desenho	106
4.4.2	Na empresa base de estudo	108
4.4.3	No fornecedor	110
4.5	Comparação entre os resultados de medição	111
4.6	Definição da nova estratégia de medição	114
5	Conclusões	117
6	Referências	119
	Apêndice A – Relatório dimensional peça 01 da empresa base do estudo	122
	Apêndice b – Relatório dimensional peça 01 no fornecedor	124
	Apêndice C – Relatório dimensional peça similar à 01 na matriz na Europa	126
	Apêndice D – Relatório dimensional da peça 01 realizado com a estratégia de medição elaborada no trabalho	129

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ciclo de definição geométrica do produto .....	18
Figura 2 - Processo de inspeção.....	19
Figura 3 - Exemplo de um conjunto rebitado no qual se utilizam peças estampadas	20
Figura 4 – Peça principal do conjunto .....	21
Figura 5 - Presença da medição por coordenadas no ciclo de vida do produto .....	23
Figura 6 - Comparação entre processos de aquisição ponto a ponto e por contato contínuo .....	23
Figura 7 - Exemplo de desenho com tolerância cartesiana.....	26
Figura 8 - Zona de tolerância cartesiana. Adaptado de.....	27
Figura 9 - Zona de tolerância cilíndrica. Adaptado de .....	27
Figura 10 - Exemplo de desenho utilizando GD&T. Adaptado de .....	27
Figura 11 - Peça com quatro elementos dimensionais.....	30
Figura 12 - Aplicação do princípio de independência.....	31
Figura 13 - Variação de forma aceitável, segundo o princípio de Taylor.....	31
Figura 14 - Aplicação do requisito de envelope em um eixo .....	32
Figura 15 - Desenho com elementos dimensionais na condição de máximo material .....	33
Figura 16 - Desenho com elementos dimensionais na condição de mínimo material. ....	33
Figura 17 - Simbologia para <i>Datum</i> .....	34
Figura 18 - Utilização de Elementos de referência.....	35
Figura 19 - Especificação de planicidade de uma superfície.....	37
Figura 20 – Especificação de perpendicularidade de uma superfície plana.....	38
Figura 21 - Especificação de paralelismo de uma superfície .....	39
Figura 22 - Identificação de uma cota básica.....	40

Figura 23 - Tolerância de posição .....	40
Figura 24 - Tolerância de posição de coaxialidade .....	41
Figura 25 - Tolerância de concentricidade .....	42
Figura 26 - Tolerância de simetria.....	43
Figura 27 - Condição de MMC para um furo .....	45
Figura 28- Condição de LMC para um furo .....	46
Figura 29 - Elementos do processo de medição .....	51
Figura 30 - Duas técnicas de verificação de planicidade .....	56
Figura 31 - Medição da tolerância geométrica de perpendicularidade .....	56
Figura 32 - Medição da tolerância geométrica de paralelismo .....	57
Figura 33 - Medição da tolerância geométrica de posição .....	58
Figura 34 - Medição da tolerância geométrica de concentricidade .....	59
Figura 35 - Medição da tolerância geométrica de simetria.....	59
Figura 36 - Tipos de máquina de medir por coordenadas.....	61
Figura 37 - Modelos de sonda.....	62
Figura 38 - Modelos de apalpadores.....	63
Figura 39 - Sistema de coordenadas com origem eixos definidos para uma peça. ..	66
Figura 40 - Diagrama de Ishikawa das principais fontes de incerteza na medição por coordenadas. ....	68
Figura 41 - Efeito do erro geométrico no eixo Y numa MMC de tipo braço.....	69
Figura 42 - Erros geométricos de uma máquina de medir a três coordenadas A - Seis erros geométricos com movimento de translação na direção Y B - Três erros angulares devido a falta de ortogonalidade entre os eixos perpendiculares à direção K.....	70
Figura 43 - Conhecimentos requeridos pelos operadores de MMC .....	73
Figura 44 - Etapas relevantes para elaboração de um estudo de caso .....	76

Figura 45 - Peça 01 .....	77
Figura 46 - Duas posições que o conjunto regulador pode ter .....	78
Figura 47 - Desenho peça estampada criado em 14/05/2002.....	82
Figura 48 - Desenho peça estampada revisada em 19/10/2009 .....	83
Figura 49 - Detalhe peça criada em 2002 .....	84
Figura 50 - Detalhe da peça criada em 2009 .....	84
Figura 51 - Exemplo de referências .....	85
Figura 52 - Exemplo de referência GD&T .....	85
Figura 53 - Exemplo de requisito de planicidade em uma dada região da peça .....	86
Figura 54 - Exemplo da aplicação de tolerância de planicidade utilizando o GD&T..	86
Figura 55 - Fixação da peça 01 para medição na empresa base.....	87
Figura 56 - Fixação da peça 01 para medição no fornecedor .....	89
Figura 57- Projeto de um gabarito de controle para a peça 01 .....	95
Figura 58 - Esquema de verificação da peça similar a 01 na matriz na Europa - folha 01 .....	97
Figura 59 - Foto do calibre 30.....	96
Figura 60 - Foto do calibre 13 .....	97
Figura 61 - Esquema de verificação da peça similar a 01 na matriz na Europa - folha 02 .....	98
Figura 62 - Foto do calibre 26.....	97
Figura 63 - Foto do calibre 17 .....	98
Figura 64 - Esquema de verificação da peça similar a 01 na matriz na Europa - folha 03 .....	100
Figura 65 - Esquema de verificação da peça similar a 01 na matriz na Europa - folha 04 .....	101
Figura 66 - Foto do gabarito 101310-1 .....	101

Figura 67 - Esquema de verificação da peça similar a 01 na matriz na Europa - folha 05 .....	102
Figura 68 - Foto do calibre 18 .....	102
Figura 69 - Foto do calibre 19 .....	103
Figura 70 - Esquema de verificação da peça similar a 01 na matriz na Europa - folha 06 .....	105
Figura 71 - Foto da base utilizada para apoiar a peça 01 para medição na MMC ..	105
Figura 72 - Desenho da peça 01 com dois elementos de referência E .....	107
Figura 73 - Tolerância de posição de furos sem a tolerância aplicada ao diâmetro	108
Figura 74 - Definição do <i>Datum A</i> .....	109
Figura 75 – Tolerâncias de planicidade.....	110
Figura 76 - Indicação no desenho da tolerância de posição 0,1 mm MMC.....	111
Figura 77 - Detalhe B da peça após modificação do <i>datum E</i> duplicado .....	114

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Símbolos para tolerâncias geométricas .....	36
Tabela 2 - Tolerâncias utilizando conceito RFS .....	44
Tabela 3 - Tolerâncias utilizando conceito MMC.....	45
Tabela 4 - Tolerâncias utilizando conceito LMC.....	47
Tabela 5 - Comparação entre a metrologia convencional e a metrologia por coordenadas .....	54
Tabela 6 - Exemplos de sub-rotinas. Adaptado de.....	65
Tabela 7 – Dados 01 do resultado da medição da empresa base de estudo.....	91
Tabela 8 - Dados 02 do resultado da medição da empresa base de estudo .....	91
Tabela 9 - Dados 03 do resultado da medição da empresa base de estudo .....	92
Tabela 10 - Dados 04 do resultado da medição da empresa base de estudo .....	93
Tabela 11 - Dados 01 do resultado da medição do fornecedor.....	93
Tabela 12 - Dados 02 do resultado da medição do fornecedor.....	94
Tabela 13 - Dados 03 do resultado da medição do fornecedor.....	94
Tabela 14 – Folha 01 da estratégia de medição da peça similar à 01 na matriz na Europa.....	96
Tabela 15 - Folha 02 da estratégia de medição da peça similar à 01 na matriz na Europa.....	98
Tabela 16 - Folha 03 da estratégia de medição da peça similar à 01 na matriz na Europa.....	99
Tabela 17 - Folha 04 da estratégia de medição da peça similar à 01 na matriz na Europa.....	100
Tabela 18 - Folha 05 da estratégia de medição da peça similar à 01 na matriz na Europa.....	102

Tabela 19 - Folha 06 da estratégia de medição da peça similar à 01 na matriz na Europa.....	104
Tabela 20- Tabela comparativa dos valores encontrados no relatório do fornecedor e no relatório do cliente .....	113

## LISTA DE SIGLAS

CAD	<i>Computer-Aided Design</i> (Desenho Auxiliado por Computador)
FOS	<i>Feature of Size</i> (Elemento Dimensional)
GD&T	<i>Geometric Dimensioning and Tolerancing</i> (Dimensionamento Geométrico e Toleranciamento)
LMC	<i>Least Material Condition</i> (Condição de Mínimo Material)
MMC	Máquina de medição por coordenadas
MMC	<i>Maximum Material Condition</i> (Condição de Máximo Material)
PPAP	<i>Production Part Approval Process</i> (Processo de Aprovação de Peças de Produção)
RFS	<i>Regardless of Feature Size</i> (Condição Independente do tamanho da característica)

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Tema

O tema deste projeto final de curso está inserido na área de qualidade, processo de estampagem, metrologia e projeto de produto. A motivação para o estudo vem da grande e crescente utilização do dimensionamento geométrico e toleranciamento nos projetos de engenharia e por tratar-se de um tema recente e de razoável complexidade, os conceitos do dimensionamento geométrico e toleranciamento (*GD&T*) nem sempre ocorrem de acordo como especificam as normas, provocando problemas em várias etapas do desenvolvimento e produção.

## 1.2 Problema

Uma das etapas essenciais do processo produtivo das empresas do setor automotivo é a inspeção de recebimento de componentes. Não obstante todos os recursos tecnológicos e procedimentos empregados, a probabilidade de divergências entre os resultados de medição informados pelo fornecedor e aqueles obtidos pelo cliente durante a inspeção não podem ser completamente eliminada.

Uma das prováveis causas dessa divergência está associada aos processos de medição empregados, pois, em geral, os fornecedores de primeira camada, dispõem de gabaritos dedicados para medição de componentes em suas linhas de produção enquanto os clientes utilizam MMC ou outros meios universais.

Outra causa são os erros ocasionados por interpretações erradas das tolerâncias nas fases de desenvolvimento e produção do produto. (Souza; Wandeck, 2009).

O crescente uso das tolerâncias geométricas é justificado pelas vantagens do método que aumenta em 57% o campo de tolerância e facilita a aprovação de peças com a utilização de gabaritos que simulam a montagem diminuindo assim os custos de produção com o possível sucateamento de peças conformes. (Wandeck, 2009)

O conhecimento superficial das normas de especificação geométrica de produtos e a pouca experiência na extrapolação desses conhecimentos para a

definição de boas práticas de medição estão dentre as principais deficiências encontradas, causando problemas como: (Souza; Wandeck, 2009)

- Erros no entendimento de referências e tolerâncias;
- Desconhecimento ou entendimento errado de recursos de cotagem mais avançados;
- Dificuldade em analisar o desenho de forma crítica, identificando inconsistências de cotagem;
- Geração de resultados com nível de incerteza incompatível com a tolerância especificada;
- Definição de procedimentos de medição incompatíveis com referências e tolerâncias.

Neste contexto, é essencial a definição de estratégias de medição aplicadas para ao controle do *GD&T* validadas do ponto de vista metrológico para evitar erros e interpretações incorretas das tolerâncias dos componentes.

### 1.3 Objetivos

O objetivo geral o é desenvolvimento e a validação de estratégias de medição para tolerâncias *GD&T*, em especial, para componentes estampados.

Os objetivos específicos envolvem:

- Estudo avançado da especificação geométrica com *GD&T*;
- Análise da cadeia geométrica Projeto-Produto-Processo;
- Definição e validação de estratégias de medição em MMC para controle do *GD&T*.

### 1.4 Justificativa

O projeto justifica-se pelo crescente uso do *GD&T* nos novos projetos de engenharia desenvolvidos na indústria automotiva e a adequação das empresas as normas ASME Y 14.5M-1994 e ISO1101:2004. No Brasil se observou nos últimos 15

anos um grande aumento na utilização destas normas de cotação. A globalização no fornecimento de peças, a presença de empresas multinacionais na área metal-mecânica e a disseminação dos sistemas CAD estão entre as principais razões para a presença crescente de desenhos de engenharia com especificações *GD&T* cada vez mais avançadas (Souza; Wandeck, 2009). Essa adequação deve ser estendida a todos os setores da empresa e o presente projeto irá estudar a correta aplicação dessa metodologia em uma área pouco explorada que é a inspeção de recebimento de peças de fornecedores.

A figura 1 ilustra o ciclo dos setores onde a definição, aplicação e entendimento das características geométricas se aplicam:

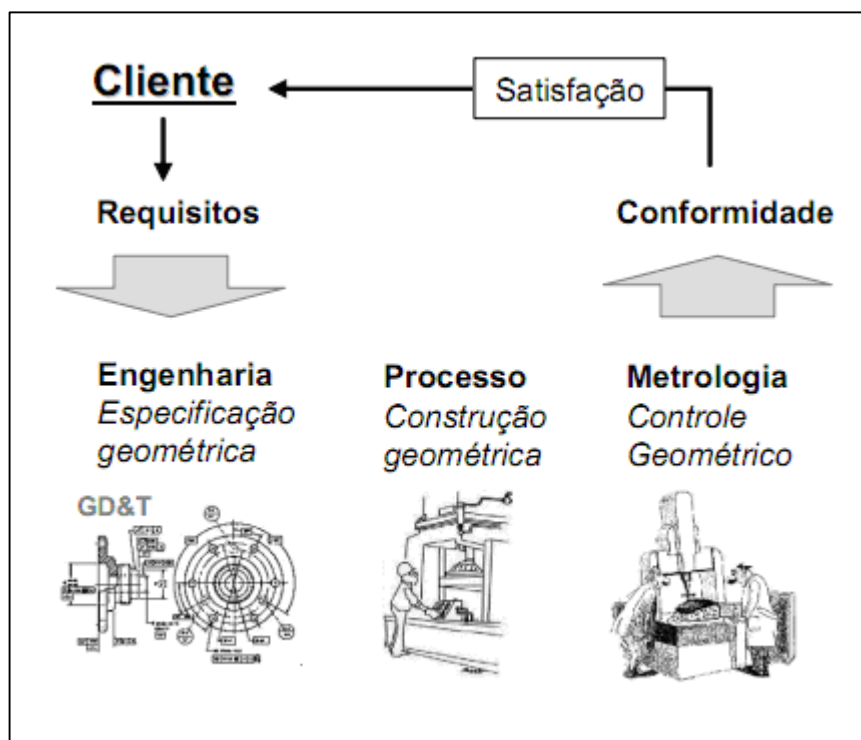


Figura 1 – Ciclo de definição geométrica do produto. (Souza; Wandeck, 2009)

A crescente demanda da otimização de processos é favorecida pela metodologia *GD&T* que tem como objetivo principal a medição de peças com gabaritos de controle, o que aumenta o campo de tolerâncias e diminui o tempo de verificação de peças.

No projeto pretende-se fazer a verificação das peças com um instrumento de medição diferente do utilizado pelo fornecedor, o que geralmente gera dúvida, pois os métodos de medição são diferentes e as tolerâncias geométricas podem ser erroneamente interpretadas, o que pode ocasionar a aprovação de peças não conformes ou a reprovação de peças conformes, conforme mostra a figura 2:

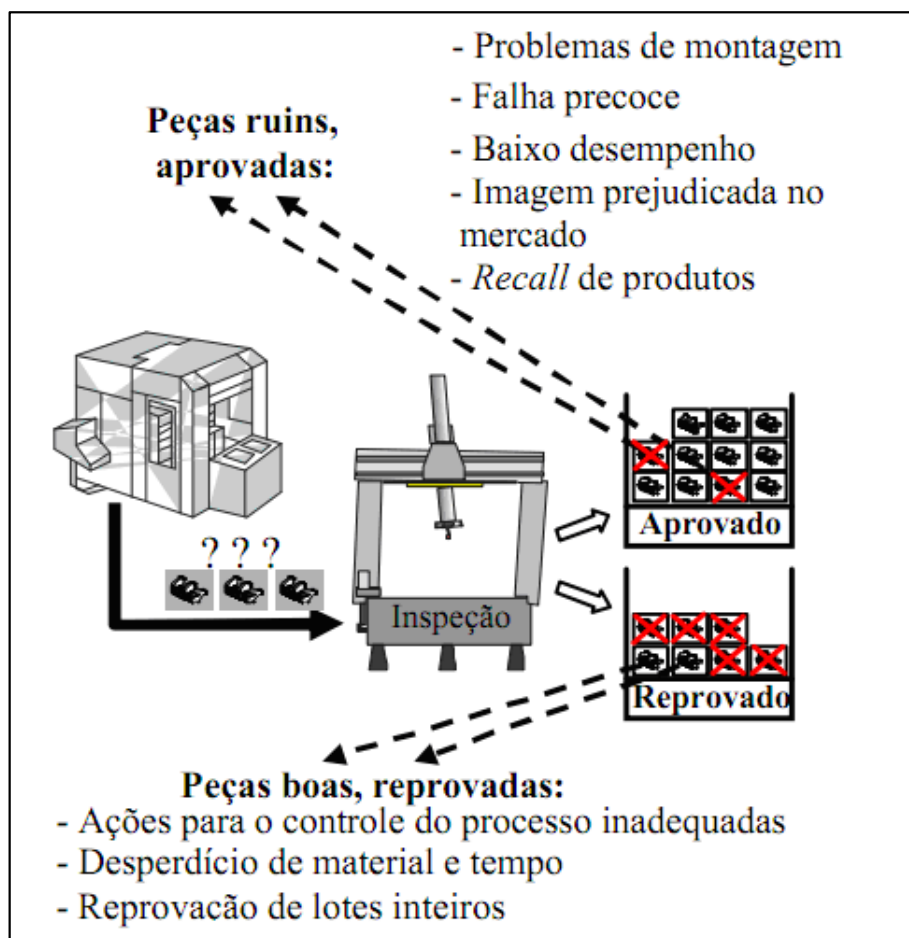
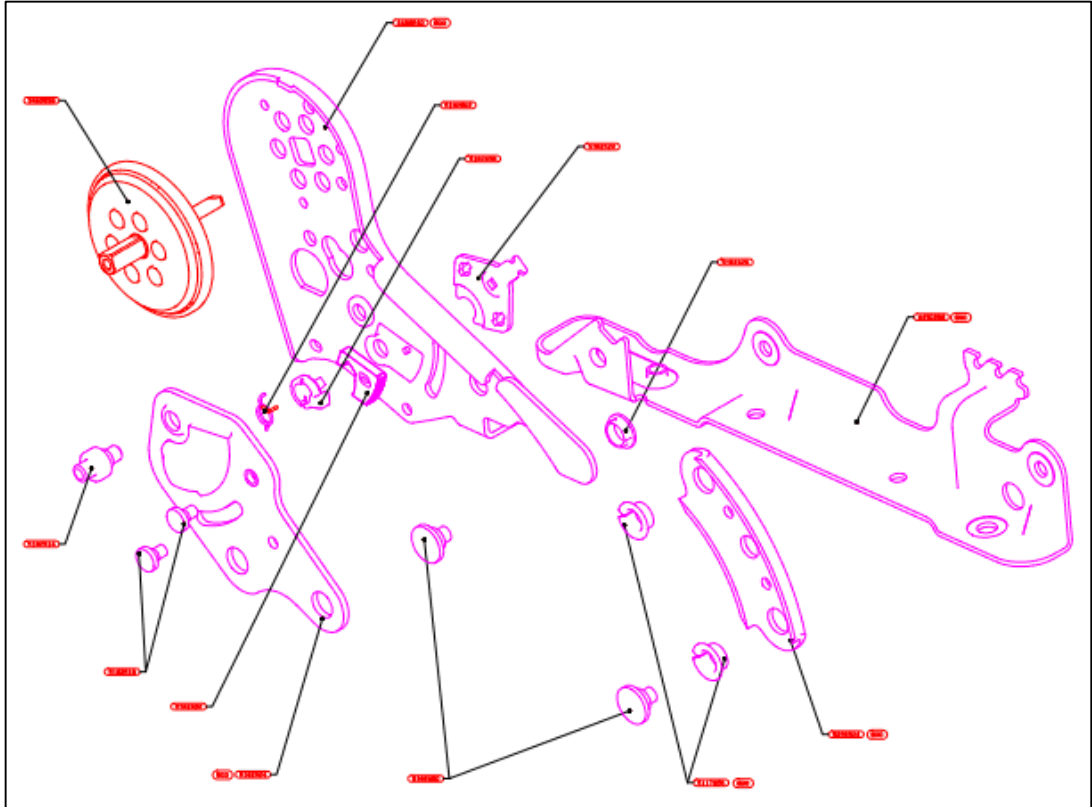


Figura 2 - Processo de inspeção (Oliveira; Souza, 2003)

O projeto irá apontar as deficiências e as conseqüências do mau uso da metodologia do dimensionamento geométrico e toleranciamento nas medições de peças estampadas por MMC e definir estratégias consistentes com as tolerâncias especificadas.

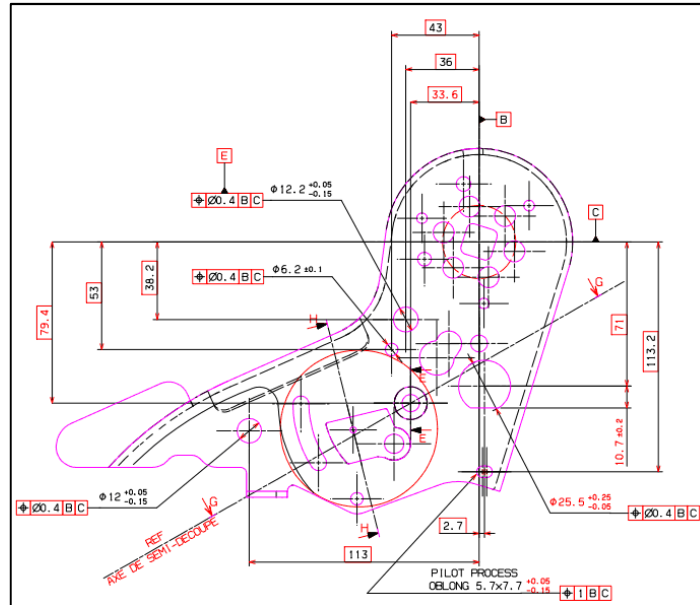
Na figura 3 tem-se o desenho de um conjunto montado na empresa na qual o projeto foi desenvolvido, os processos utilizados internamente são a rebiteagem e a

soldagem, mas o conjunto é composto por referências estampadas que utilizam a metodologia *GD&T* em seus desenhos.



**Figura 3 - Exemplo de um conjunto rebitado no qual se utilizam peças estampadas.  
(Fonte não autorizada)**

A peça principal desse conjunto (figura 4) possui dispositivo de controle e é aprovada no fornecedor por esse gabarito. Quando é realizado o recebimento da peça e precisa-se verificar a sua conformidade é utilizada a máquina de medição por coordenadas. Este problema acontece também com as outras seis referências que possuem gabaritos do tipo passa-não passa ou dispositivos mais simples para a verificação das características no fornecedor.



**Figura 4 – Peça principal do conjunto (Fonte não autorizada)**

O projeto torna-se interessante por envolver diferentes áreas do conhecimento da engenharia como a área de qualidade, bastante utilizada na indústria, área de metrologia, processos de fabricação de estampados e desenvolvimento de produto.

Além do exposto, a motivação pelo fato de a aluna trabalhar na empresa na qual surgiu esse problema e ter verificado que os níveis de refugo chegam até a 5% da produção, somado aos valores de retrabalho e perda de produção que possuem um impacto de aproximadamente 10% do custo da manufatura.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

Na literatura consultada encontrou-se uma vasta quantidade de artigos e trabalhos específicos sobre o dimensionamento geométrico e toleranciamento, projetos que tratam especificamente de definição e validação de estratégias de medição em MMC, trabalhos sobre o processo de estampo. Mas o que será estudado no projeto é a correta utilização e validação de estratégias de medição em MMC utilizadas para dimensionar peças projetadas utilizando a metodologia *GD&T* especificamente para estampados.

Nesse sentido a revisão da literatura será iniciada pelo estudo do *GD&T*, não o abrangendo totalmente, mas focando nas características mais utilizadas em estampados para que a correta interpretação seja feita quando aplicada no estudo de caso. Para isso será necessário começar pela história do *GD&T* seu surgimento, suas vantagens, seus principais fundamentos e o estudo da norma ASME Y 14.5M-1994.

Na cadeia automotiva, os processos de medição por coordenadas possuem um papel importante no controle de produtos e processos. Alta velocidade de medição, recursos quase ilimitados de medição geométrica e a baixa incerteza são algumas características da medição por coordenadas. Com essas potencialidades a medição por coordenadas é largamente utilizada ao longo de todo o ciclo produtivo de uma peça, desde o desenvolvimento do produto, passando pelo desenvolvimento dos processos até o controle da produção. (Oliveira; Souza, 2003)

A figura 5 ilustra a utilização da medição por coordenadas em diferentes etapas do ciclo produtivo do componente:

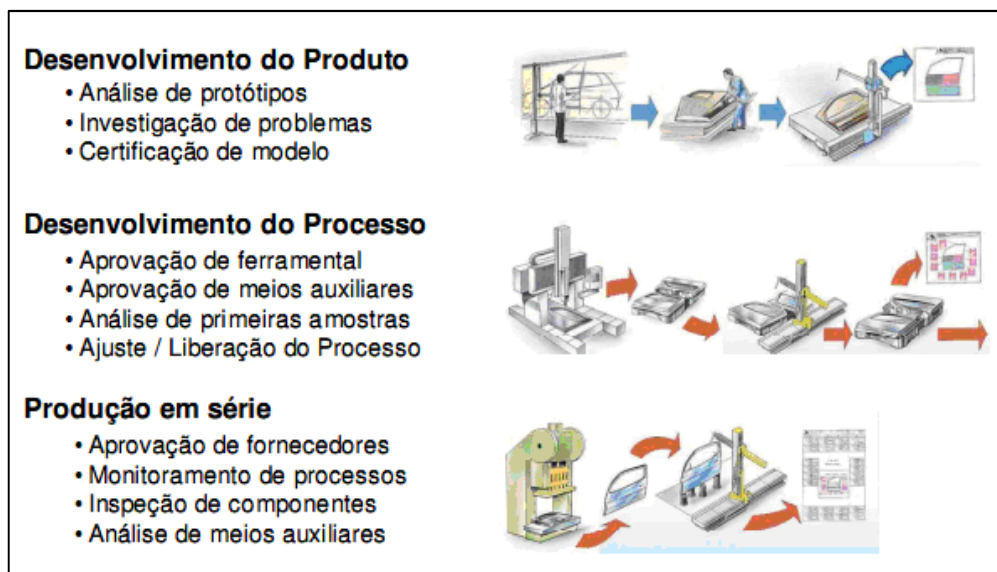


Figura 5 - Presença da medição por coordenadas no ciclo de vida do produto (Sousa, 2003)

As medições realizadas em MMC são bastante flexíveis e versáteis e tornam possíveis avaliações de especificações geométricas em um único equipamento. A informação que descreve a superfície da peça pode ser adquirida através de diferentes princípios de sensoriamento, podendo-se citar a medição por contato e a medição ótica. A aquisição dos dados pode ser realizada ponto a ponto ou por contato contínuo (*scanning*), conforme mostra a figura 6. (Arenhart, 2010)

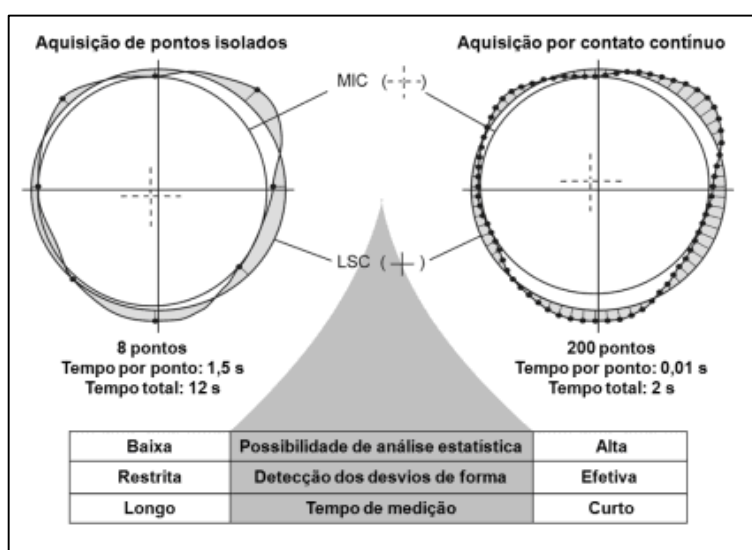


Figura 6 - Comparação entre processos de aquisição ponto a ponto e por contato contínuo (Schmidt, 2005)

Sendo assim, verifica-se que a utilização de diferentes estratégias de medição em MMC resulta em valores diferentes e influenciam na decisão de aprovação ou não de uma peça e por esse motivo o seu estudo será realizado no presente trabalho.

## **2.1 GD&T**

### **2.1.1 História do desenho técnico**

A planta de uma fortaleza criada por volta de 4.000 A.C é o primeiro relato do uso do desenho técnico, a primeira evidência escrita é um tratado de arquitetura realizado em 30 A.C. (Drake, 1999)

No surgimento da manufatura as peças eram confeccionadas por artesões e seu controle era feito por tentativa e erro, verificando sua conformidade diretamente na aplicação que foi designada, nesta época o artesão era o projetista, o fabricante e o inspetor da peça. Com o desenvolvimento da indústria e a produção seriada o desenho mecânico surgiu como modo de expressar o que se queria produzir, e para que as diferentes áreas presentes nas novas empresas pudessem entender as especificações dos produtos, desde o dimensionamento projetado pela engenharia, passando por todas as pessoas envolvidas no processo produtivo, até que a peça possa ser usada para o fim que foi designada. (Drake,1999)

Gaspard Monge desenvolveu práticas de geometria descritiva e o primeiro método de definição de tolerâncias surgiu então com a revolução industrial em meados de 1800. Essa especificação é conhecida como tolerâncias lineares ou sistema cartesiano, pois as tolerâncias se aplicam somente a uma dimensão do desenho. Com o desenvolvimento da indústria o desenho que era feito somente em duas dimensões começou a ser feito em três dimensões, primeiramente em projeções desenhadas em papel e depois em softwares que permitem uma maior mobilidade e visualizações avançadas das peças. (Drake, 1999)

### 2.1.2 Surgimento do *GD&T*

As tolerâncias lineares são bastante úteis e ainda muito utilizadas atualmente, mas com o desenvolvimento da indústria, aumentou a busca por métodos que diminuíssem os custos de produção. Durante a Segunda Guerra Mundial os Estados Unidos produziam peças de reposição para seus equipamentos de guerra e as enviava para o *front*, mas foi verificado que muitas dessas peças não montavam nos equipamentos. Então, logo após a guerra, foi criada uma comissão organizada pelo governo na qual participaram pesquisadores da indústria e da educação para tentar achar uma solução para o problema. (Cogorno, 2006)

Surgiu então o *GD&T*. Stanley Parker, engenheiro britânico que trabalhava na marinha inglesa, realizou experiências com peças que haviam sido reprovadas na inspeção, mas que montavam sem problemas. Ele percebeu que na verdade as peças consideradas não conformes estavam boas, mas o conceito do que era ruim é que estava errado.

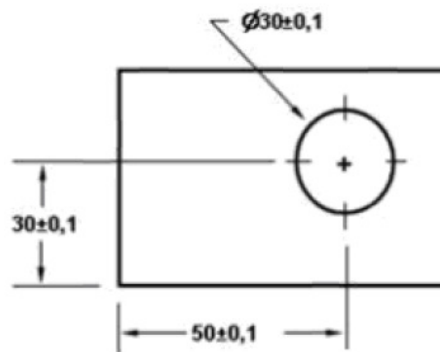
O *GD&T* começou a utilizar o conceito de dimensionamento funcional, que nada mais é do que um método que define as dimensões a partir da sua funcionalidade no produto final. (Krulikowski, 1997)

### 2.1.3 O que é o *GD&T*?

O *GD&T* (*Geometric Dimensioning and Tolerancing*) que em português pode ser traduzido para Dimensionamento Geométrico e Toleranciamento, é uma linguagem de símbolos utilizados em desenhos, e como o próprio nome sugere as tolerâncias não são somente lineares, mas também são dimensionadas formas, superfícies, orientação e localização de elementos da peça.

O *GD&T* é uma ferramenta de *design* na qual são definidos símbolos, regras, convenções e definições para que a tolerância geométrica seja corretamente aplicada. Outra grande diferença do dimensionamento cartesiano é que o *GD&T* considera a posição verdadeira de montagem (*true position*). Essa posição é referenciada pelo centro do elemento e dessa maneira o campo de tolerâncias que antes era quadrado passa a ser cilíndrico.

Para exemplificar, abaixo temos a figura 7 a qual mostra uma peça retangular com um furo na qual será inserida uma contra peça com um pino. No desenho as cotas de localização do furo na peça são lineares com tolerância cartesiana.



**Figura 7 - Exemplo de desenho com tolerância cartesiana (Souza, 2011)**

Na figura 8 pode-se ver que o campo de tolerância gerado pelo sistema cartesiano é quadrangular, os lados possuem a dimensão do campo de tolerância e qualquer medida que fique interna ao quadrado está aprovada. Mas vamos verificar o que acontece com o ponto A; o mesmo está dentro da zona de aprovação, mas a distância até o centro é de 0,141 mm, então podemos estender essa medida para todos os pontos e teremos assim um campo de tolerância circular como pode ser visto na figura 9. A área amarela corresponde à zona de tolerância cartesiana e a área hachurada corresponde ao ganho que pode ser obtido sem comprometer a montabilidade. Devido a esse fator pode-se aumentar o campo de tolerância em 57%, e as peças boas que tinham a dimensão dentro da área hachurada seriam descartadas se fosse utilizado o sistema cartesiano. (Drake, 1999)

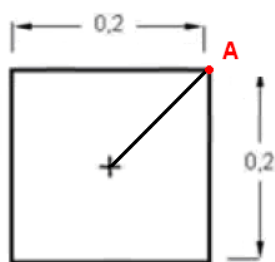


Figura 8 - Zona de tolerância cartesiana. Adaptado de (Souza, 2011)

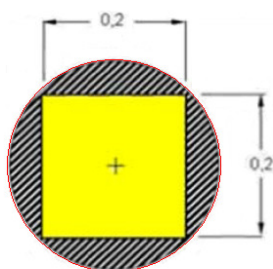


Figura 9 - Zona de tolerância cilíndrica. Adaptado de (Souza, 2011)

Para ilustrar como é feito um desenho com a metodologia *GD&T* a figura 10 mostra a mesma peça da figura 7 com a dimensão e tolerância do furo exatamente igual à anterior e com as cotas de posicionamento mais próximas do conceito ilustrado na figura 9.

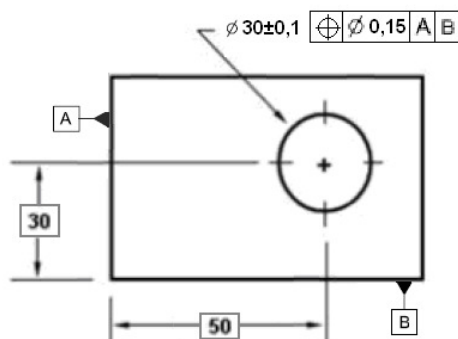


Figura 10 - Exemplo de desenho utilizando *GD&T*. Adaptado de (Souza, 2011)

Esse é um exemplo da funcionalidade e aplicação das ferramentas do *GD&T*, essas regras e simbologias estão descritas na norma ASME Y14.5 – 2009. O estudo mais aprofundado sobre essa metodologia será apresentado no item 2.1.5 desse trabalho.

#### 2.1.4 Utilização e benefícios do *GD&T*

O *GD&T* pode ser utilizado quando: (Cogorno, 2006)

- Necessita-se utilizar uma técnica clara e precisa de referências e coordenadas para a correta interpretação e entendimento no processo de manufatura e na inspeção da peça.
- Características são críticas para a funcionalidade e montagem das peças.
- Deseja-se diminuir a quantidade de peças conformes jogadas fora devido a erros de metodologia.
- Deseja-se diminuir a quantidade de alterações realizadas nos desenhos.
- Utilizam-se equipamentos automáticos.
- Utilizam-se cálibres para verificação da conformidade das peças.
- Deseja-se aumentar a produtividade.
- Deseja-se diminuir a quantidade de notas para descrever requisitos de forma e geometria complexa de um componente.

Sendo assim, os grandes benefícios da utilização do *GD&T* são: (Cogorno, 2006)

- Aumento do campo de tolerância para uma zona até 57 % maior.
- Conseqüentemente a redução de custos gerada por um aumento na aprovação e utilização dessas peças. Há também ganho na produtividade pela utilização de equipamentos automáticos e uso de cálibres e dispositivos de controle nas inspeções.

- Fácil e igual entendimento das características e controles que deverão ser realizados.
- Desenhos mais claros e precisos que geram pouca ou nenhuma dúvida quanto à interpretação.

### 2.1.5 Fundamentos do *GD&T*

Para que o *GD&T* seja sempre corretamente aplicado, têm-se quatro passos que devem ser seguidos e que dizem respeito à origem, direção e sentido que as dimensões representadas devem ser medidas, são eles, segundo Drake (1999):

1. Identificar as superfícies que servirão de origem e estabelecer pontos de partida e direção para as medições.
2. Colocar distância e orientação da origem para as demais superfícies.
3. Estabelecer limites e/ou zonas de tolerância para os atributos específicos.
4. Permitir a interação entre as tolerâncias, simulando as montagens.

Como toda metodologia o *GD&T* possui fundamentos básicos, que serão apresentados a seguir:

#### 2.1.5.1 Elementos (*Features*)

A definição utilizada para elemento é: “Elemento é um termo genérico aplicado a uma porção física da peça, como: uma superfície, um pino, aba, furo ou canal.” (Drake, 1999)

Nesse conceito consideram-se elementos partes físicas das peças, pois elas têm forma uniforme. Pinos e furos são considerados elementos, mas a linha de centro deles não.

#### 2.1.5.2 Elemento Dimensional (*Feature of Size – FOS*)

Um elemento dimensional é qualquer superfície ou conjunto de superfícies paralelas associada a uma dimensão. São considerados elementos dimensionais: furos, que são elementos dimensionais internos; pinos, que são considerados elementos dimensionais externos, espessura de chapas ou uma esfera.

O elemento dimensional pode então ser definido como: “Uma superfície cilíndrica ou esférica, um conjunto de elementos opostos ou superfícies paralelas, associada a uma dimensão de tamanho.” (Drake, 1999)

Na figura 11 verificam-se quatro elementos dimensionais, são eles: os três furos oblongos e a espessura da peça.

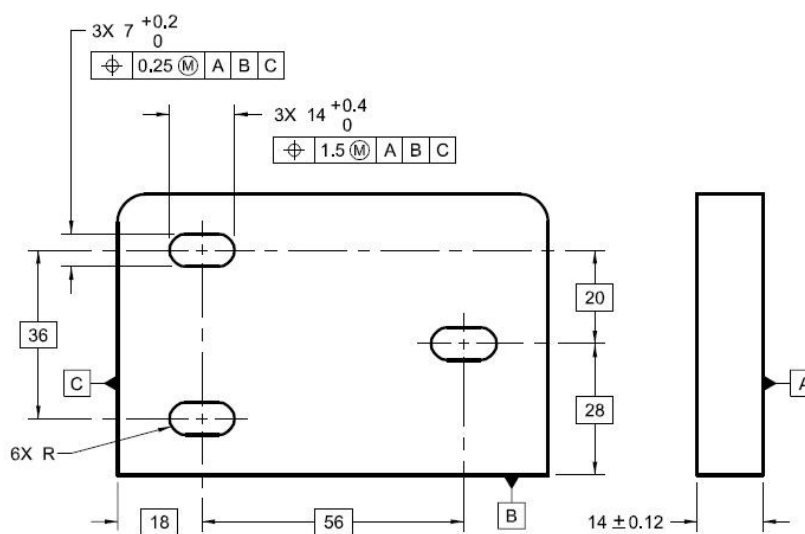


Figura 11 - Peça com quatro elementos dimensionais (ASME, 2009)

### 2.1.5.3 Princípio de independência

Esse princípio diz que: “Cada requisito dimensional ou geométrico especificado no desenho da peça deve ser atendido individualmente, a não ser que alguma relação entre eles seja especificada.” (Souza, 2011)

Na figura 12 tem-se uma aplicação do princípio que ajuda a tê-lo melhor, no desenho está especificado que o tubo deve ter um diâmetro de  $40,0 \pm 0,2$  mm, a peça real mesmo com o seu eixo torto se tiver o diâmetro medido em vários pontos e os valores encontrados estiverem dentro do especificado, será aprovada. Mas sabe-se que erros dimensionais somados a erros de forma influenciam na montagem de componentes.

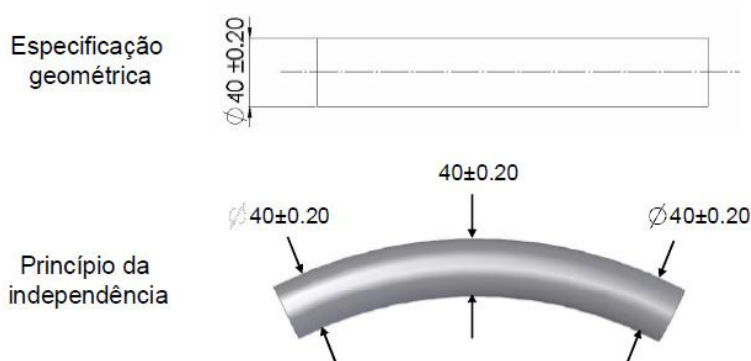


Figura 12 - Aplicação do princípio de independência. (Souza, 2011)

#### 2.1.5.4 Princípio de Taylor ou do Envelope

Em 1905, Willian Taylor patenteou o primeiro calibrador do tipo GO-NOGO (passa-não passa) que tem como conceito verificar a condição de máximo e mínimo material no elemento que atende a condição de montagem. (Souza, 2011)

Na figura 13 verifica-se que para a peça ser aprovada segundo o princípio de Taylor ou com um calibrador GO-NOGO o tubo deve passar em um furo com diâmetro especificado de 40,2 mm e não pode passar em um furo com diâmetro de 39,7 mm. (Souza, 2001)

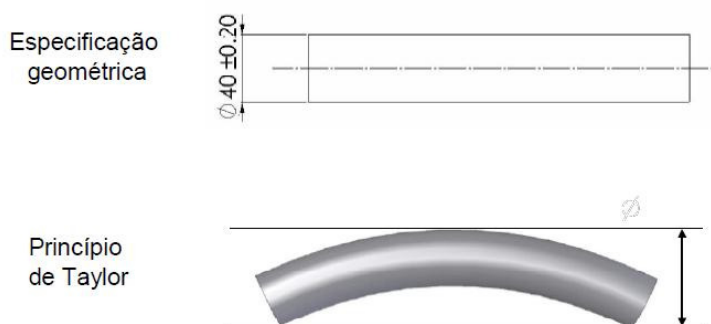


Figura 13 - Variação de forma aceitável, segundo o princípio de Taylor (Souza, 2011)

Na norma ISO 1101 o princípio de Taylor é denominado como princípio do envelope, ele só pode ser aplicado a elementos dimensionais e quando utilizado, a tolerância dimensional é reduzida aos desvios de forma. Esse princípio recebe esse

nome, pois é como se a condição de máximo material fosse limitada por um envelope. (Souza, 2011)

Aqui tem-se uma diferença fundamental entre as normas ASME e ISO, na norma ISO para que seja utilizado o princípio do envelope a característica deve ter o símbolo  $\text{Ⓜ}$  conforme mostra a figura 14, enquanto que na norma ASME essa é uma condição normal e não precisa ser destacada.

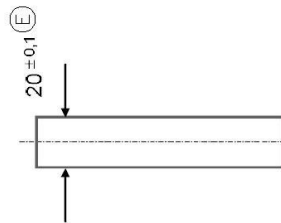


Figura 14 - Aplicação do requisito de envelope em um eixo (Souza, 2011)

#### 2.1.5.5 Regra #1

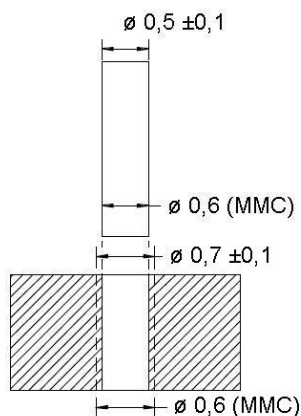
Conforme visto no item anterior o princípio do envelope ou de Taylor é uma condição normal da norma ASME, todo o elemento dimensional ao qual se aplique uma tolerância ao ser controlada deve-se verificar não somente a dimensão, mas também a característica de forma. Essa é a regra # 1 da ASME. Como consequência dessa regra, temos, conforme Souza (2011):

- A superfície de um elemento dimensional não pode exceder os limites de forma perfeita na condição de máximo material.
- Quanto mais o elemento dimensional se afasta da condição de máximo material indo para a condição de mínimo material, maior será a variação que poderá ser tolerada na forma.

#### 2.1.5.6 Condição de Máximo Material (MMC)

*Maximum Material Condition* ou condição de máximo material é quando um elemento dimensional contém a quantidade máxima de material permitida pela tolerância dimensional (ASME, Y14.5-2009). Para exemplificar na figura 15 é mostrado um pino com diâmetro especificado de  $0,5 \pm 0,1$  mm, a condição de

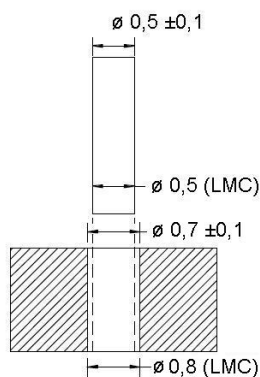
máximo material para o pino é quando o diâmetro for igual a 0,6 mm. Para o furo de diâmetro  $0,7 \pm 0,1$  mm, a condição de máximo material será quando o diâmetro for de 0,6 mm, assim dessa maneira, a peça terá mais material.



**Figura 15 - Desenho com elementos dimensionais na condição de máximo material. Adaptado de (ASME, 2009)**

### 2.1.5.7 Condição de Mínimo Material (LMC)

*Least Material Condition* ou condição de mínimo material é quando um elemento dimensional contém a menor quantidade de material permitida pela tolerância dimensional (ASME, 2009). Na figura 16, temos o mesmo exemplo da figura 15, mas com os elementos dimensionais na condição de mínimo material.

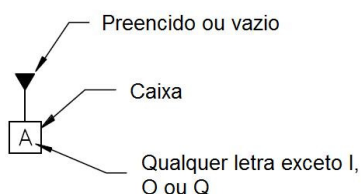


**Figura 16 - Desenho com elementos dimensionais na condição de mínimo material. Adaptado de (ASME, 2009)**

### 2.1.5.8 Datum

Os elementos de referência são referências para o desenho que servem de ponto de partida para a localização e orientação dos elementos, os elementos de referência podem ser qualquer superfície plana, linha ou ponto utilizado como referência para medição. (Cogorno, 2006)

Para identificar um *datum* no desenho usamos a simbologia mostrada na figura 17, os elementos de referência são nomeados por letras do alfabeto latino. Os elementos de referência devem travar os graus de liberdade da peça para que a mesma fique estável para medição.



**Figura 17 - Simbologia para Datum (Drake, 1999)**

A referência das peças para medição deve respeitar a ordem dos elementos de referência, que é feita seguindo-se a ordem do alfabeto. Na figura 18 tem-se o desenho de uma peça a qual apresenta três elementos de referência, o datum A é o plano X-Y da peça, esse é o datum primário e deve ser o primeiro plano a ser referenciado, depois se referencia o datum secundário B que é o plano X-Z e por último o plano inclinado que é o datum C.

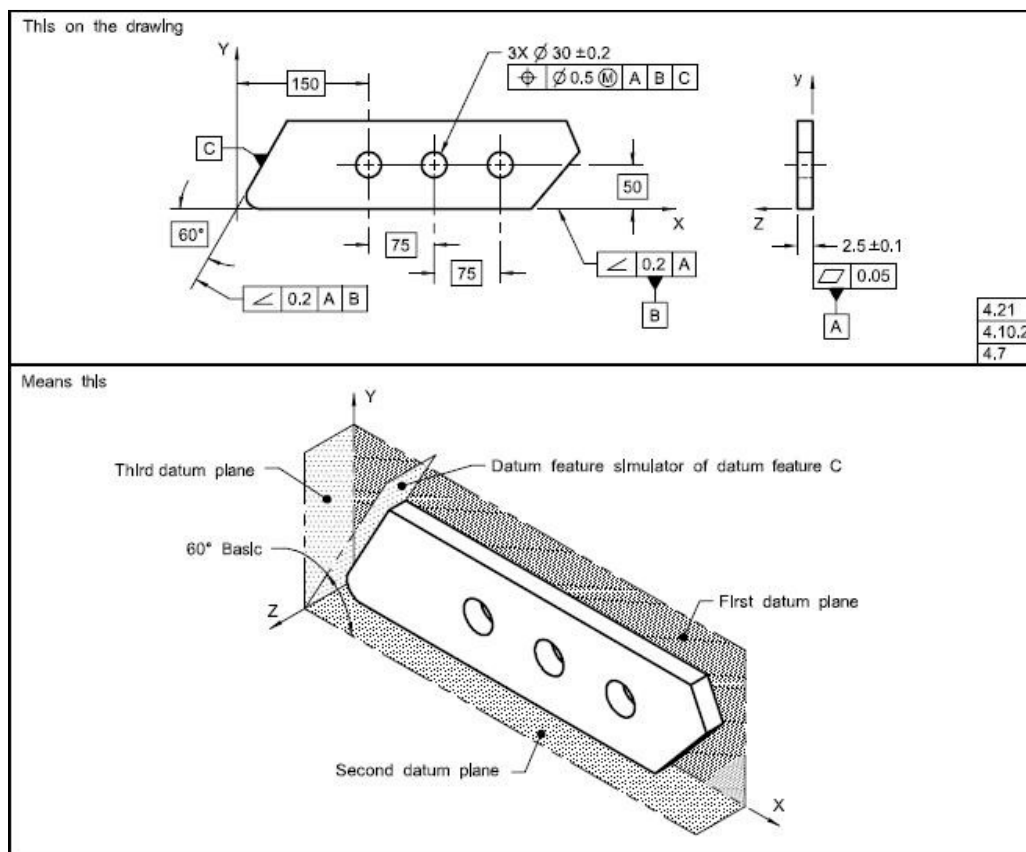


Figura 18 - Utilização de Elementos de referência (ASME, 2009)

### 2.1.5.9 Tolerâncias Geométricas

Uma das vantagens do *GD&T* sobre o sistema cartesiano é a utilização de tolerâncias geométricas, essas tolerâncias servem para definir formas, perfis, orientar e localizar elementos, para isso são usados símbolos conforme mostra a tabela 1. Como os símbolos e tolerâncias diferem uma para outras nas normas ASME, ISO e NBR, será usada como padrão a norma ASME Y14.5-2009.

**Tabela 1 - Símbolos para tolerâncias geométricas. Adaptado de (ASME, 2009)**

APPLICATION Aplicação	TYPE OF TOLERANCE Tipo de tolerância	CHARACTERISTIC Característica	SYMBOL Símbolo
INDIVIDUAL FEATURES Elementos isolados	FORM Forma	STRAIGHTNESS Retilidade	
		FLATNESS Planicidade	
		CIRCULARITY Circularidade	
		CYLINDRICITY Cilindricidade	
INDIVIDUAL OR RELATED Elementos isolados ou associados	PROFILE Perfil	PROFILE OF A LINE Perfil de uma linha	
		PROFILE OF A SURFACE Perfil de uma superfície	
RELATED FEATURES Elementos associados	ORIENTATION Orientação	ANGULARITY Angularidade	
		PERPENDICULARITY Perpendicularidade	
		PARALLELISM Paralelismo	
	LOCATION Localização	POSITION Posição	
		CONCENTRICITY Concentricidade	
		SYMMETRY Simetria	
	RUNOUT Batimento	CIRCULAR RUNOUT Batimento circular	
		TOTAL RUNOUT Batimento total	

Será objeto de estudo desse trabalho as tolerâncias geométricas utilizadas em peças estampadas conforme delimitação do problema proposto, sendo elas:

#### 2.1.5.9.1 Tolerâncias de Forma

As tolerâncias de forma definem uma variação permitida em relação à forma perfeita que está definida no desenho, elas não tem relação com elementos de referência, pois se aplicam somente ao elemento que está sendo controlado. (ASME, 2009)

### a) Planicidade

A planicidade define que todos os pontos da superfície que está sendo tolerada estejam entre dois planos definidos pela tolerância, conforme exemplificado na figura 19.

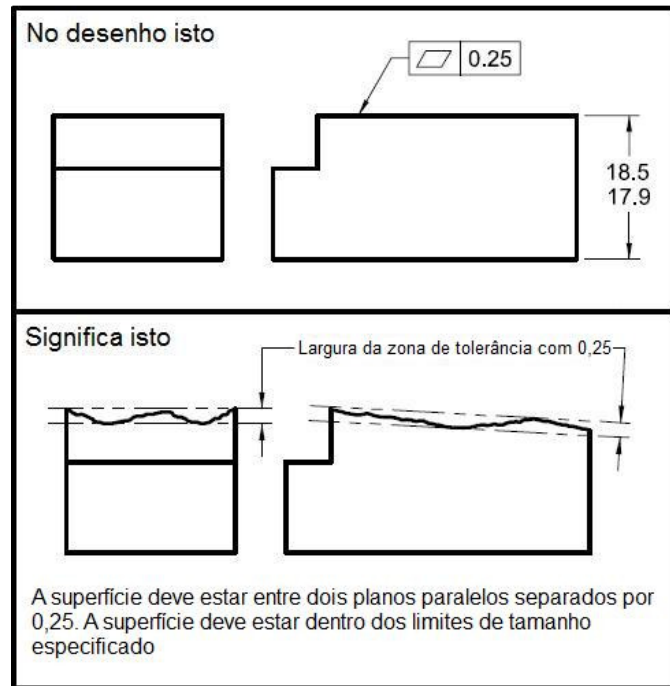


Figura 19 - Especificação de planicidade de uma superfície (ASME, 2009)

#### 2.1.5.9.2 Tolerâncias de Orientação

O termo orientação descreve uma tolerância angular aceitável entre elementos. Todas as tolerâncias de orientação requerem elementos de referência, o elemento tolerado é referenciado a outro elemento que obrigatoriamente deve ser um datum. (Drake, 1999)

### a) Perpendicularidade

Para que o requisito de perpendicularidade seja atendido, a superfície, eixo ou linha de centro deve estar a  $90^\circ$  do datum que também pode ser um plano ou linha de centro conforme mostra a figura 20. (ASME, 2009)

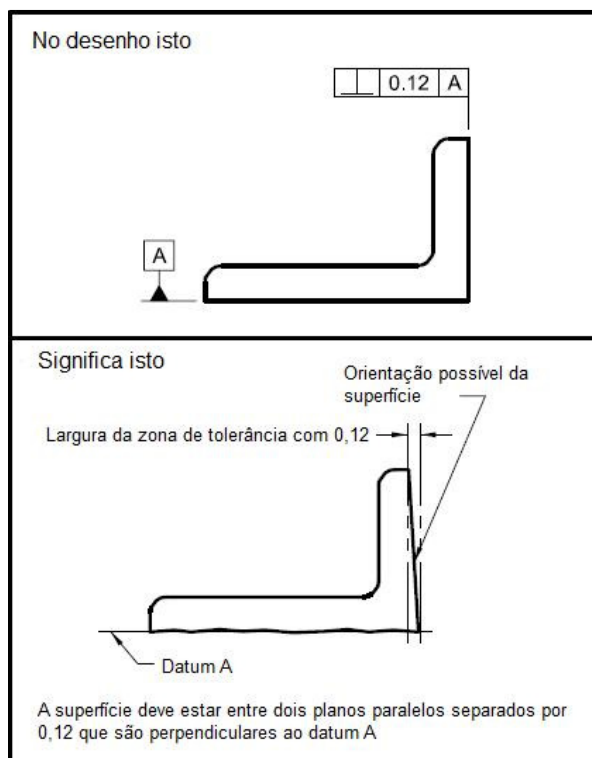


Figura 20 – Especificação de perpendicularidade de uma superfície plana (ASME, 2009)

## b) Paralelismo

Na figura 21 pode-se ver que o requisito de paralelismo é atendido quando a superfície fica entre a região delimitada por dois planos paralelos e distantes entre si pela distância especificada na tolerância, e devem estar respectivamente paralelos em relação ao datum. (ASME, 2009)

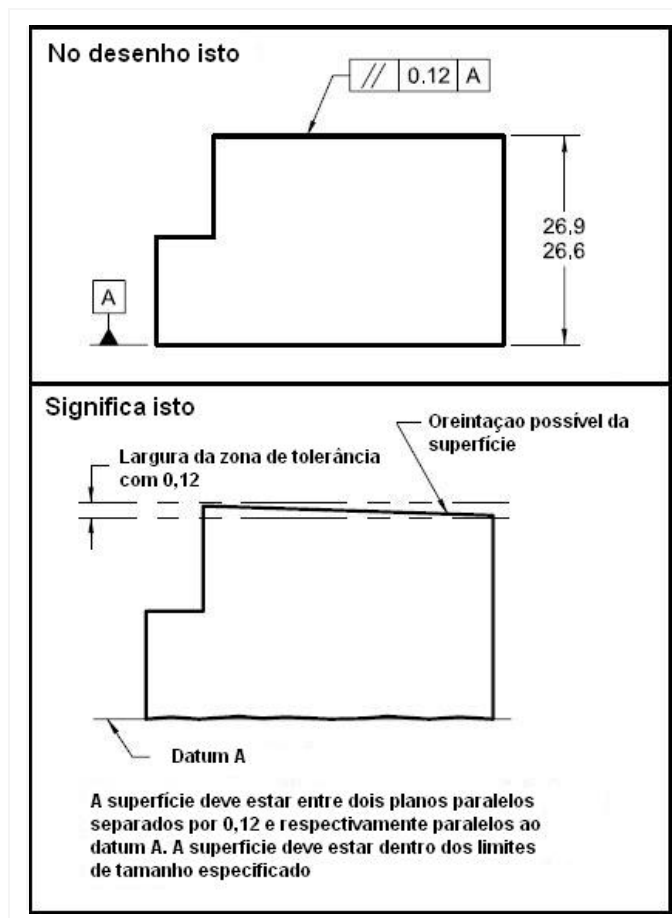


Figura 21 - Especificação de paralelismo de uma superfície (ASME, 2009)

### 2.1.5.9.3 Tolerâncias de Localização

Uma das principais e mais utilizadas ferramentas do *GD&T* são as tolerâncias de localização. Sua função principal é localizar elementos entre eles mesmos ou em relação à elementos de referência, Pode-se controlar tanto a localização quanto a orientação dos elementos.

#### a) Posição

A tolerância de posição define a região em que o centro, eixo ou o centro do plano de um elemento dimensional pode variar em relação a uma posição teórica informada no desenho. Para aplicar essa tolerância deve-se utilizar as cotas básicas que são dimensões que definem a posição verdadeira do elemento e não possuem tolerância no desenho, sendo assim, as tolerâncias de mais e menos não podem ser

aplicadas a essas cotas. Na figura 22 é mostrada a simbologia utilizada para identificar uma cota básica. (ASME, 2009)



Figura 22 - Identificação de uma cota básica (Drake, 1999)

Tolerâncias de posição podem possuir modificadores de material que serão vistos no item 2.1.5.10.

### Posição, Localização

Para que a tolerância de posição seja corretamente aplicada, deve-se primeiramente ter os elementos de referência especificados no desenho, e a partir deles as cotas básicas que farão a localização do elemento na peça. A ordem e seleção dos devem obedecer à seqüência de montagem, para que fique clara a utilização da peça. Na figura 23 pode-se verificar como são definidos os limites para a tolerância de posição. (Cogorno, 2006)

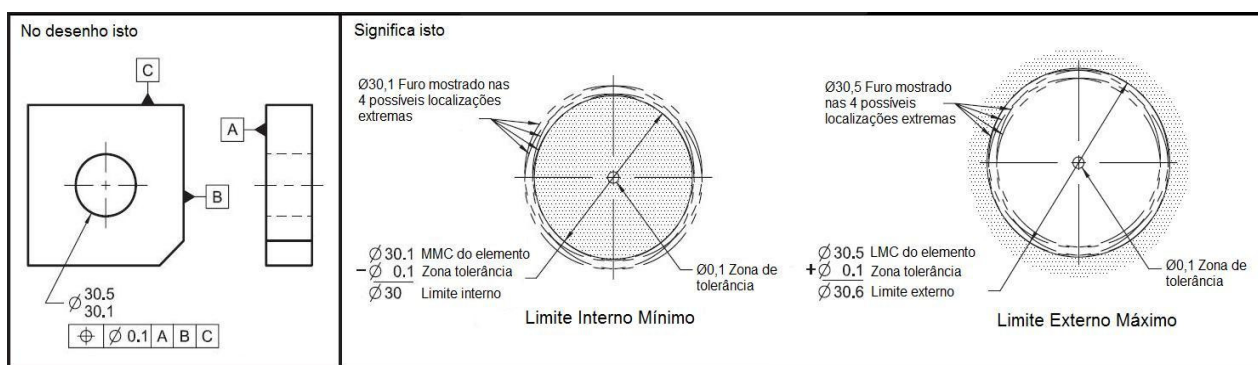


Figura 23 - Tolerância de posição. (ASME, 2009)

### Posição, Coaxialidade

A coaxialidade é o desvio permitido entre os eixos de dois ou mais elementos, ela mede a excentricidade de um elemento em relação à referência. Quando é feito o projeto de um eixo escalonado como o que é mostrado na figura 24, e o desenho

não apresenta a tolerância de posição, mostrando apenas que a linha de centro dos dois cilindros são coincidentes, subentende-se que a distância entre os eixos é igual a zero. Assim, a dimensão no desenho está implícita, mas a tolerância não, pois não existe tolerância. (Cogorno, 2006)

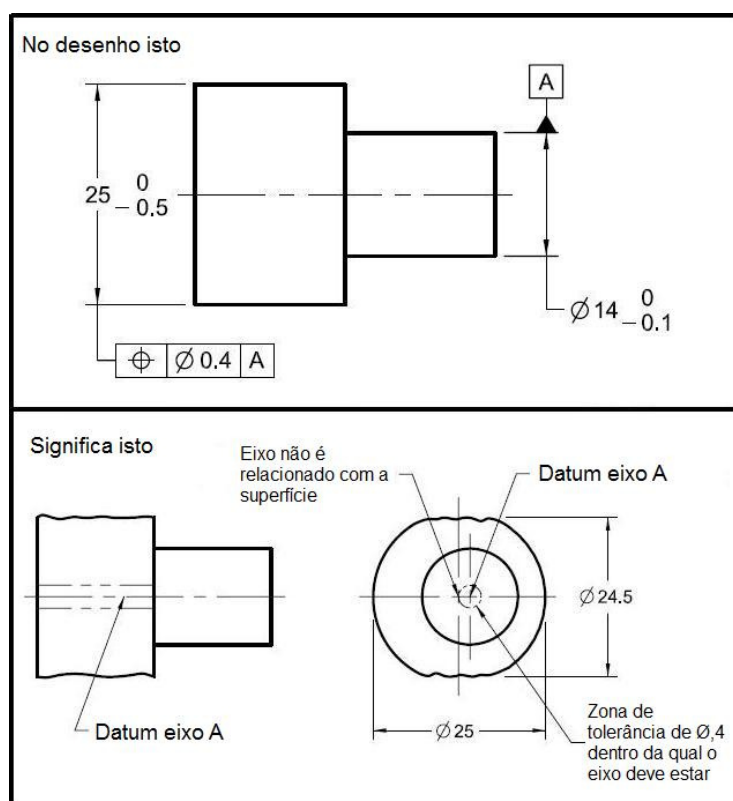
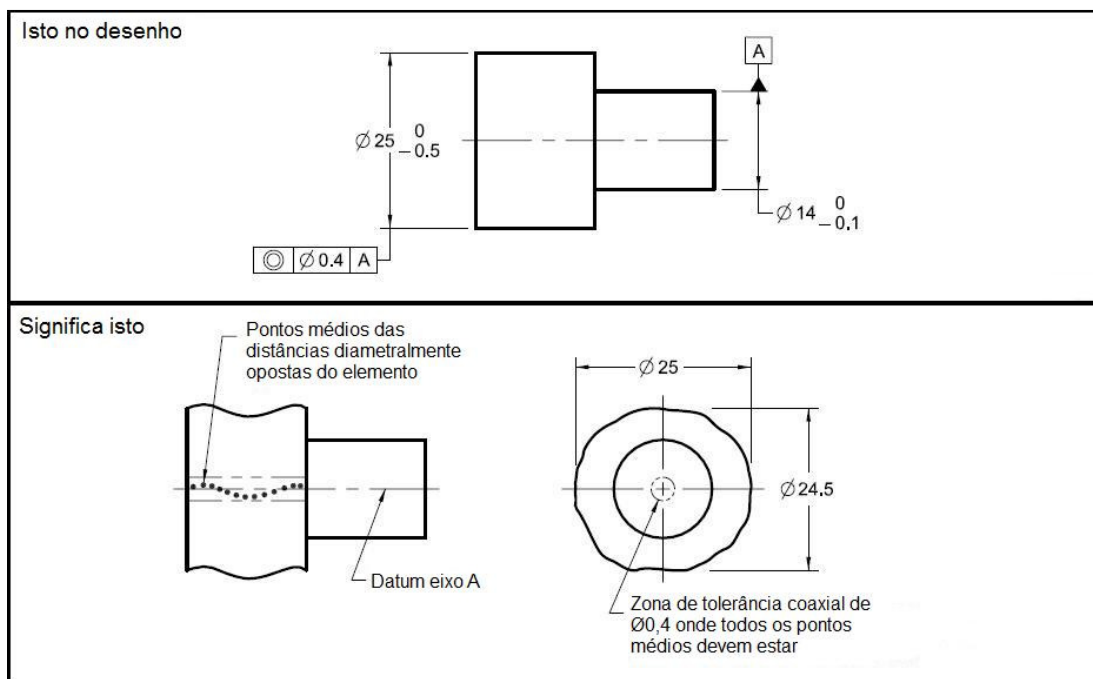


Figura 24 - Tolerância de posição de coaxialidade. (ASME, 2009)

## b) Concentricidade

A tolerância geométrica de concentricidade é a condição na qual os pontos médios das distâncias diametralmente opostas da superfície de revolução a ser controlada são congruentes com o *datum* que pode ser um eixo ou o centro de um elemento. A tolerância de concentricidade não tem relação com a dimensão do elemento, pois ela controla o seu centro. A zona de tolerância pode ser cilíndrica ou esférica e todos os pontos médios devem estar contidos dentro dessa região, a figura 25 exemplifica o que foi exposto. (ASME, 2009)



**Figura 25 - Tolerância de concentricidade. (ASME, 2009)**

Concêntrico significa que duas ou mais figuras planas geométricas têm o mesmo centro. Embora a concentricidade não seja estritamente um controle de coaxialidade, ela a controla. Contudo a concentricidade requer um processo de inspeção caro e é apropriado somente para aplicações onde se faz necessário um equilíbrio preciso. (Cogorno, 2006)

### c) Simetria

Simetria é a condição onde os pontos médios das distâncias opostas de um elemento, plano ou linha são congruentes com o eixo ou o centro de um *datum*, pode-se associar a simetria como a imagem formada por um espelho. (Drake, 1999)

A figura 26 mostra a zona de tolerância criada pela tolerância de simetria, que não tem relação com a dimensão do elemento que está sendo tolerado. (Cogorno, 2006)

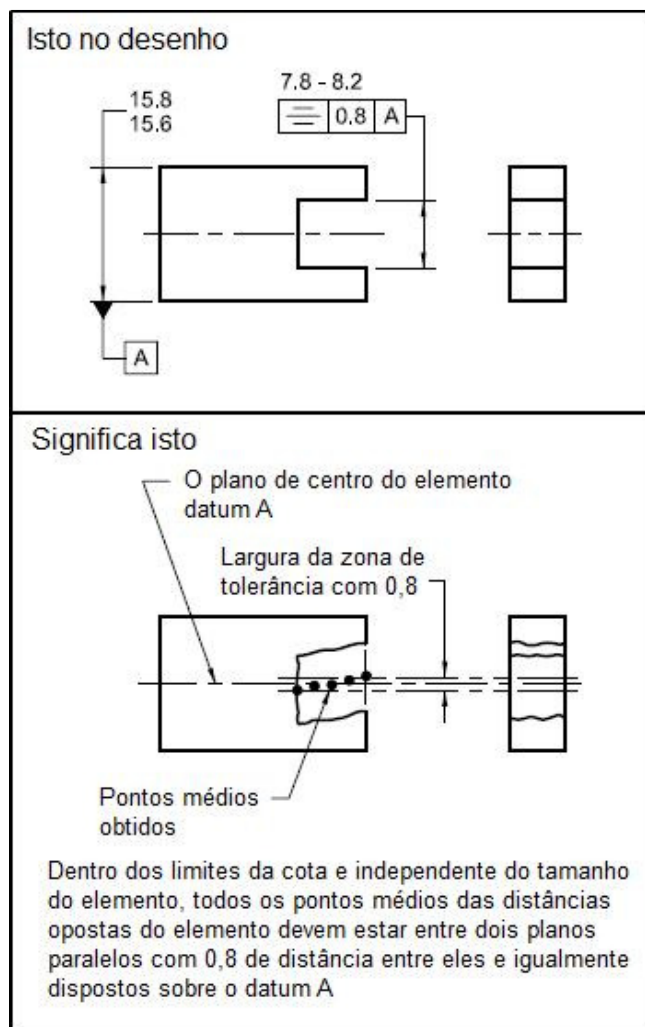


Figura 26 - Tolerância de simetria. (ASME, 2009)

#### 2.1.5.10 Modificadores de material

O *GD&T* foi criado para facilitar a montabilidade das peças, aumentando o campo de tolerância e conseqüentemente a quantidade de peças aprovadas. O modificador de material é um conceito no qual a tolerância de um elemento dimensional pode ser modificada para facilitar a montagem, são eles:

##### a) **Condição Independente do Tamanho da Característica (RFS – *Regardless of Feature Size*)**

É o termo utilizado para indicar que a tolerância geométrica deve ser aplicada de modo uniforme em toda a zona de tolerância do elemento dimensional. Pode-se utilizar o símbolo  $\text{Ⓢ}$  para indicar o modificador, mas seu uso torna-se redundante,

pois essa é a condição padrão da norma ASME, como será visto no item 2.1.5.11. Aplicando-se o RFS não há bônus de tolerância adicionado à especificação (Cogorno, 2006). A figura 23 mostra uma peça dimensionada com o conceito RFS e na tabela 2 verifica-se que a especificação mínima para o diâmetro do furo é a tolerância inferior menos a tolerância de posição, que resulta em 30; e a especificação máxima do diâmetro do furo é a tolerância superior mais a tolerância de posição, que resulta em 30,6.

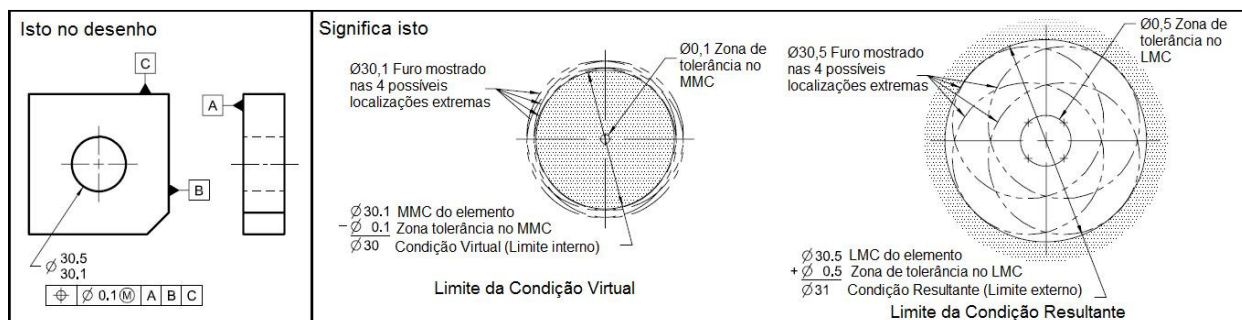
**Tabela 2 - Tolerâncias utilizando conceito RFS (ASME, 2009)**

	Ø do furo	Ø da tolerância	Limite interno Especificação Mínima	Limite externo Especificação Máxima
LMC	30,5	0,1	30	30,6
	30,4			
	30,3			
	30,2			
MMC	30,1			

#### **b) Condição de Máximo Material (MMC – *Maximum Material Condition*)**

Quando o modificador MMC é aplicado a uma tolerância geométrica, a tolerância permitida do elemento vai depender da dimensão real em que a peça foi fabricada. A figura 27 mostra o modificador de máximo material sendo aplicado a um furo e como a dimensão do mesmo pode variar levando-se em conta a tolerância dimensional e a tolerância geométrica.

O MMC restringe o tamanho do furo na condição de máximo material, e a partir do momento que a dimensão do furo sai do MMC e começa a ir para a condição de mínimo material, um acréscimo na tolerância geométrica pode ser dado na mesma magnitude do desvio da peça real em relação a dimensão de MMC. Esse acréscimo é conhecido no *GD&T* como bônus, sendo que o bônus máximo irá ocorrer na condição de mínimo material e não haverá bônus na condição de máximo material. (ASME, 2009)



**Figura 27 - Condição de MMC para um furo. (ASME, 2009)**

Utilizando a tabela 3 como base entende-se melhor como são calculadas as tolerâncias para cada uma das condições que o furo possa ser fornecido. A condição de máximo material para um furo é a sua menor especificação, sendo assim o limite inferior neste caso é de 30,1; menos a tolerância de 0,1; tem-se que o MMC para o furo é 30. Como o modificador de máximo material restringe a dimensão ao MMC, essa é a dimensão mínima que o furo pode ter, e a tolerância de posição será a menor possível podendo variar somente 0,1. Quando o furo tiver uma dimensão de 30,2, significa que ele apresenta 0,2 a mais que o MMC e um bônus igual pode ser acrescentado na tolerância. Na condição de LMC a dimensão vai estar com 30,5 e assim a tolerância de posição poderá variar 0,5.

Isso acontece, pois um furo maior facilita a montagem e permite uma variação maior na posição, por conseguinte um furo menor restringe a posição de montagem. Quando deseja-se utilizar o modificador de material MMC o símbolo  $\textcircled{M}$  é colocado ao lado da tolerância que será modificada.

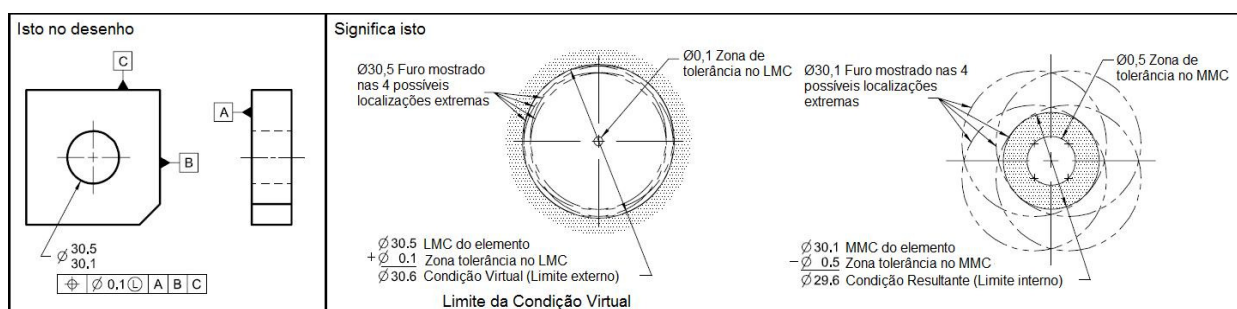
**Tabela 3 - Tolerâncias utilizando conceito MMC. (ASME, 2009)**

	$\varnothing$ do furo	$\varnothing$ da tolerância	Limite interno Especificação Mínima Condição Virtual	Limite externo Especificação Máxima Condição Resultante
LMC	30,5	0,5	30	31
	30,4	0,4		
	30,3	0,3		
	30,2	0,2		
MMC	30,1	0,1		

### c) Condição de Mínimo Material (LMC – *Least Material Condition*)

Quando o modificador LMC é aplicado a uma tolerância geométrica, a tolerância permitida do elemento vai depender da dimensão real em que a peça foi fabricada. A figura 28 mostra o modificador de mínimo material sendo aplicado a um furo e como a dimensão do mesmo pode variar levando-se em conta a tolerância dimensional e a tolerância geométrica.

O LMC restringe o tamanho do furo na condição de mínimo material, e a partir do momento que a dimensão do furo sai do LMC e começa a ir para a condição de máximo material, um acréscimo na tolerância geométrica pode ser dado na mesma magnitude do desvio da peça real em relação a dimensão de LMC. Esse acréscimo é conhecido no *GD&T* como bônus, sendo que o bônus máximo irá ocorrer na condição de máximo material e não haverá bônus na condição de mínimo material. (ASME, 2009)



**Figura 28- Condição de LMC para um furo. (ASME, 2009)**

Utilizando-se a tabela 4 como base entende-se melhor como são calculadas as tolerâncias para cada uma das condições que o furo possa ser fornecido. A condição de mínimo material para um furo é a sua maior especificação, sendo assim o limite superior neste caso é de 30,5; mais a tolerância de 0,1; temos que o LMC para o furo é 30,6. Como o modificador de mínimo material restringe a dimensão ao LMC, essa é a dimensão máxima que o furo pode ter, e a tolerância de posição será a menor possível podendo variar somente 0,1. Quando o furo tiver uma dimensão de 30,4; significa que ele apresenta 0,2 a menos que o LMC e um bônus igual pode ser diminuído na tolerância. Na condição de MMC a dimensão vai estar com 30,1 e assim a tolerância de posição poderá variar 0,5.

O LMC geralmente é utilizado quando se necessita manter uma distância mínima entre elementos (Cogorno, 2006). Quando queremos utilizar o modificador de material LMC o símbolo  $\textcircled{L}$  é colocado ao lado da tolerância que será modificada.

**Tabela 4 - Tolerâncias utilizando conceito LMC. (ASME, 2009)**

	$\varnothing$ do furo	$\varnothing$ da tolerância	Limite interno Especificação Mínima Condição Virtual	Limite externo Especificação Mínima Condição Resultante
LMC	30,5	0,1	30,6	
	30,4	0,2		
	30,3	0,3		
	30,2	0,4		
MMC	30,1	0,5		29,6

#### 2.1.5.11 Regra #2

A regra #2 do *GD&T* define que a condição independente do tamanho da característica – RFS é a condição padrão da norma ASME. Quando o RFS é utilizado a tolerância especificada é independente da dimensão real em que a peça foi fabricada, não admitindo assim bônus. Para que os modificadores MMC e LMC sejam utilizados nas tolerâncias os mesmos devem estar simbolizados nos desenhos. Batimento circular, batimento total, concentricidade, perfil de uma linha, perfil de uma superfície, circularidade, cilindridade e simetria são tolerâncias que só admitem o RFS, ou seja, não podem ser utilizados modificadores de MMC e LMC. (ASME, 2009)

#### 2.1.5.12 Condição Virtual

A condição virtual é descrita como o limite funcional de um elemento dimensional, essa condição cria uma região limite máxima no espaço ocupado pela peça na contra-peça. Para elementos tolerados com MMC a condição virtual será constante e igual a condição de máximo material do elemento. Para elementos tolerados com LMC a condição virtual será constante e igual a condição de mínimo material do elemento. A condição virtual é bastante utilizada para a confecção de

dispositivos de controle funcionais, pois ela simula a condição de montagem da peça. (InterAction Plexus, 2010)

Como exemplo na peça da figura 27, o elemento tolerado é um furo na condição de MMC. A condição de máximo material para esse furo é seu menor diâmetro menos a tolerância de posição, que nesse caso é 30, logo, 30 é o valor da condição virtual do elemento como pode ser comprovado na tabela 3.

#### **2.1.5.13 Condição Resultante**

A condição resultante é o limite contrário a condição virtual, ela define a condição extrema em que a peça pode ser montada. Para essa condição não temos um valor constante, pois ela varia de acordo com o dimensional do elemento tolerado e conseqüentemente com o bônus que pode ser aplicado. Para elementos dimensionais tolerados com MMC a condição resultante máxima é igual a LMC mais o bônus. Para elementos dimensionais tolerados com LMC a condição resultante mínima é igual a MMC menos o bônus. (InterAction Plexus, 2010)

Como exemplo na peça da figura 27, o elemento tolerado é um furo na condição de MMC. A condição de LMC é 30,5 mais o bônus de 0,5; tem-se que a condição resultante máxima do elemento tolerado é 31, como pode ser comprovado na tabela 3.

## **2.2 Processo de Medição por Coordenadas**

### **2.2.1 História da Metrologia**

A medição faz parte da nossa vida cotidiana, e a busca por quantificar fenômenos físicos é tão antiga quanto o conhecimento humano. Primeiramente o homem usou o sol para medir a duração do dia, depois com a evolução humana a necessidade de se ter grandezas e a partir delas criar medidas e instrumentos de medição cresceu exponencialmente. (Felix, 1995) & (Hamburg-Piekar, 2006)

Padrões e medidas devem ter sido uma das mais antigas necessidades da vida civilizada. Pequenos cilindros de aproximadamente 13 gramas encontrados nos túmulos de AMRAH e datados da segunda metade do IV milênio a.C. são os

padrões de pesos mais antigos encontrados na história. Os sistemas de pesos e medidas mais antigos que se tem história foram os da Assíria, Babilônia, Caldéia e Egito. O sistema egípcio foi o que teve maior influência sobre os outros povos, ele passou a ser usado na Ásia, Judéia e Grécia e depois com algumas modificações chegou à Itália onde foi adotado pelos romanos e, por conseguinte, por todas as nações européias. (Felix, 1995)

Mas as unidades de medida existentes tinham um problema: a falta de padrão, as variações eram muito grandes, pois as mesmas haviam sido definidas utilizando-se distâncias anatômicas, como por exemplo, a jarda que foi definida em 1101 como sendo a distância entre a extremidade do nariz ao polegar virado para cima do rei Henrique I. A primeira tentativa de se criar uma unidade de medida independente das características de uma pessoa foi iniciada em 1792 e concluída em dezembro de 1799, quando foi criado o metro, que ficou definido como: uma fração de  $10^{-7}$  do comprimento do meridiano terrestre que parte da linha do Equador até o Pólo Norte, passando por Paris. Foi então criada uma barra de platina com essa dimensão e guardada no Arquivo Nacional da França. (Albertazzi; Souza, 2008)

Padrões para todas as sete unidades de base foram criadas e em 1960 foi instituído o Sistema Internacional de Unidades (SI), o qual passou a ser usado progressivamente no mundo todo. Com o avanço da tecnologia, as definições dos padrões foram se tornando mais precisas e hoje tem-se um sistema de unidades sem variações e com baixas incertezas. (Albertazzi; Souza, 2008)

### 2.2.2 Metrologia

O desejo do homem em descrever o mundo que o cerca de maneira clara e objetiva, o fez quantificar distâncias, temperaturas, tempo, etc. Surgiu então a necessidade de medir, que pode ser descrito como: “Medir é o procedimento experimental pelo qual o valor momentâneo de uma grandeza física (mensurando) é determinado como um múltiplo e/ou uma fração de uma unidade, estabelecida por um padrão e reconhecida internacionalmente”. (Albertazzi; Souza, 2008)

O princípio da medição consiste em comparar a medida de um objeto com a de um padrão. Essa comparação pode ser feita com múltiplos e submúltiplos do padrão e para isso utiliza-se um instrumento ou um sistema de medição. (Albertazzi; Souza, 2008) & (Gläser; Kochsiek, 2010)

A metrologia é constituída por: (Gläser; Kochsiek, 2010)

- Calibração dos padrões de medição e instrumentos de medição.
- Desenvolvimento e especificação de métodos de medição confiáveis.
- Avaliação dos dados da medição.
- Avaliação da incerteza de medição.

Conforme Albertazzi e Souza (2011) a metrologia pode ser dividida em:

**Metrologia científica:** Trata dos padrões de medição nacionais e internacionais, dos instrumentos laboratoriais e das pesquisas e metodologias desenvolvidas para alcançar a qualidade metrológica.

**Metrologia Industrial:** Aplica a metrologia no controle dos processos produtivos e na garantia da qualidade de seus produtos.

**Metrologia Legal:** Tem a supervisão do governo e seu principal objetivo é proteger o consumidor tratando das unidades de medida, métodos e exatidão dos instrumentos de medição de acordo com as exigências técnicas e legais obrigatórias.

### **2.2.3 A metrologia no Brasil**

No período colonial brasileiro, as medidas utilizadas eram as mesmas adotadas por Portugal na mesma época e os primeiros registros referem-se à fiscalização de mercados locais. Em 1962 foi criado o Instituto Nacional de Pesos e Medidas que instituiu no Brasil o uso do Sistema Internacional de Unidades (S.I.). A partir dessa data vários outros órgãos foram criados para regulamentar a atividade metrológica no país. (Coelho, 2008)

Em 1882, o sistema métrico foi adotado oficialmente no Brasil e o Observatório Imperial tinha um metro padrão que havia sido comparado diretamente com o da Bélgica. Na década de 30 foi criado o Conselho de Metrologia com função normativa. Em 1961 o Instituto Nacional de Pesos e Medidas (INPM) ficou responsável por todas as atividades de cunho metrológico. Através de um decreto lei de 1967 ficou estipulado que a Política do Sistema Nacional de Metrologia deveria seguir o Sistema Internacional de Unidades (SI). O Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO) foi criado em 1973, através da Lei nº 5966. (Felix, 1995) & (Istituto de Pesos e Medidas, 2010)

#### 2.2.4 Caracterização do processo de medição

O processo de medição pode ser definido como: “O conjunto de fatores envolvidos em uma operação de medição. Abrange o meio de medição, o procedimento de medição, o agente que efetua a medição, o método de medição e a clara definição do mensurando.” (Albertazzi; Souza, 2008)

A figura29 mostra todos os elementos que compõem o processo de medição, o grau de influência que cada um deles exerce varia para cada processo.

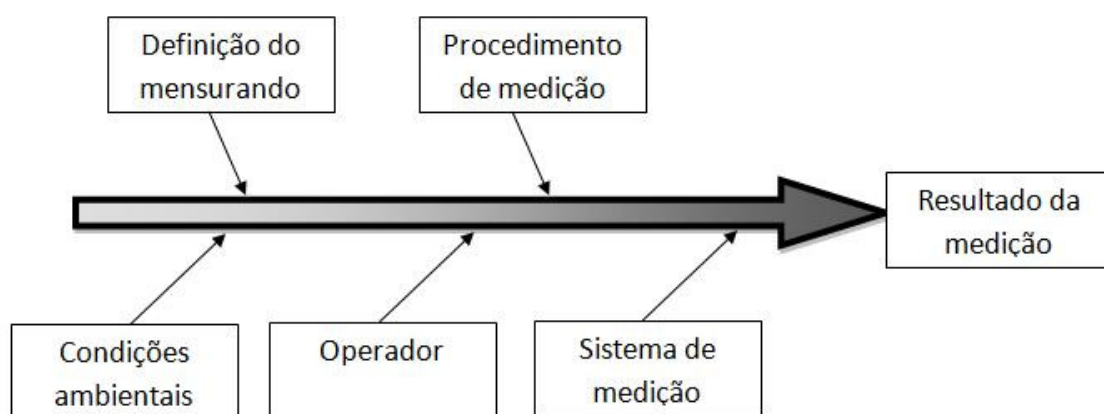


Figura 29 - Elementos do processo de medição (Albertazzi; Souza, 2008)

#### **2.2.4.1 Definição do mensurando**

No processo deve-se deixar claro o que se está medindo, por exemplo, ao medir a velocidade de um veículo, pode-se medir a velocidade média, a velocidade instantânea ou a velocidade máxima, encontrando-se três resultados diferentes para o mesmo mensurando. (Albertazzi; Souza, 2008)

#### **2.2.4.2 Procedimento de medição**

O procedimento de medição pode ser definido como o algoritmo da medição, isto é, a definição de todas as etapas que envolvem o processo, desde os preparativos, a seqüência de operações, o número de medições que devem ser realizadas, a quantidade de medidas que devem ser repetidas e os cálculos efetuados. (Albertazzi; Souza, 2008)

#### **2.2.4.3 Condições Ambientais**

As condições ambientais do local onde estão sendo realizadas as medições também influenciam nos resultados obtidos, temperatura, umidade e pressão são características que devem ser verificadas e controladas. (Albertazzi; Souza, 2008)

#### **2.2.4.4 Operador**

O conhecimento, a correta aplicação das técnicas, o seguimento do procedimento, o cuidado no manuseio do aparelho, a habilidade do operador, seu nível de cansaço e estresse, sua concentração, sua acuidade visual, são todos fatores inerentes ao operador que influenciam nas medições. (Albertazzi; Souza, 2008)

#### **2.2.4.5 Sistema de medição**

A escolha do sistema de medição que será utilizado, a definição do instrumento, sua incerteza e sua calibração, são fatores ligados ao processo de medição que podem influenciar em maior ou menor grau o resultado obtido. (Albertazzi; Souza, 2008)

### 2.2.5 Tolerância Dimensional

O objetivo principal de se realizar medições em peças é a verificação da conformidade da mesma, sendo assim, sempre haverá um valor nominal para a dimensão e a sua tolerância permitida, que serão utilizadas na comparação com o valor encontrado na inspeção. Algumas definições utilizadas em metrologia: (Guimarães, 1999)

- Tolerância pode ser definida como a variação permitida de uma dimensão, dada pela diferença entre a dimensão máxima (limite superior) e a dimensão mínima (limite inferior).
- Dimensão nominal: é a dimensão teórica indicada no desenho ou projeto.
- Dimensão efetiva: é a dimensão real da peça obtida através de instrumentos de medição.
- Dimensão máxima: é a dimensão máxima permitida para a dimensão efetiva sem que a peça seja rejeitada.
- Dimensão mínima: é a dimensão mínima permitida para a dimensão efetiva sem que a peça seja rejeitada.
- Desvio: é a diferença entre a dimensão efetiva e a dimensão nominal.

### 2.2.6 Metrologia Geométrica

O campo estudado pela metrologia é muito vasto, por esse motivo o estudo será restringido neste projeto à Metrologia Geométrica, que utiliza processos da metrologia 3D para a aquisição das coordenadas, que depois serão utilizadas para os cálculos do dimensionamento geométrico e toleranciamento. Para se localizar pontos no espaço é necessário, primeiramente a definição de um ponto de origem, a direção e sentido dos eixos coordenados. Por esse motivo toda a medição geométrica deve ter referências para localizar a peça (Alves, 1996). Existem alguns sistemas de aquisição de coordenadas tridimensionais, mas a mais utilizada e que será estudada no tópico 2.2.9 é máquina de medição por coordenadas. Na tabela 5

tem-se um comparativo entre a metrologia convencional e a metrologia geométrica que utiliza a aquisição dos pontos por coordenadas.

**Tabela 5 - Comparação entre a metrologia convencional e a metrologia por coordenadas (Hamburg-Piekar, 2006)**

<b>Metrologia Convencional</b>	<b>Metrologia por coordenadas</b>
Alinhamento manual	Alinhamento computadorizado
Instrumentos de propósito único, difíceis de adaptar quando são requeridas múltiplas tarefas.	Múltiplas tarefas de medição podem ser executadas através da capacidade de adaptação do software de medição.
Comparação das medições com medidas materializadas (e.g. blocos padrão).	Comparação com modelos matemáticos ideais.
Avaliação separada para forma, tamanho, localização e orientação, utilizando instrumentos diferentes.	Avaliação de forma, tamanho, localização e orientação, utilizando uma única configuração no sistema coordenado.

### 2.2.7 Sistema de medição

O termo sistema de medição é utilizado para descrever qualquer meio ou instrumento de medição que pode ser desde uma simples escala até uma máquina de medir por coordenadas. Esses utilizam dois métodos básicos de medição, que serão vistos a seguir: (Albertazzi e Souza, 2008)

#### 2.2.7.1 Método da comparação ou zeragem

Nesse método o valor do mensurando é determinado comparando-o com um artefato cujo valor de referência é conhecido. Pretende-se que a característica do mensurando tenha o mesmo valor da medida da referência, fazendo com que a diferença entre as duas medidas seja igual a zero, o que explica o outro nome do método: zeragem (Albertazzi; Souza, 2008). Como exemplo desse método pode ser citado a medição de furos utilizando-se pinos padrões.

#### 2.2.7.2 Método da indicação ou deflexão.

Esses sistemas de medição utilizam o método de indicação de um valor proporcional ao valor do mensurando, pode ser através de escalas, como a

indicação de temperatura em um termômetro de bulbo, ou com a deflexão de um ponteiro em um relógio comparador, o que explica o outro nome do método: deflexão. (Albertazzi; Souza, 2008)

### **2.2.8 Tolerância Geométrica**

Assim como as tolerâncias dimensionais definem um campo de tolerância na qual a dimensão deve estar, as tolerâncias geométricas definem os desvios geométricos que são permitidos numa peça sem que sua montabilidade e funcionalidade sejam prejudicadas. Essa definição é feita em função dos desvios de forma e posicionamento reais comparados com os teóricos. Desse modo, os desvios podem ser classificados em desvio de forma ou de posição. (Guimarães, 1999) As definições de cada uma das tolerâncias geométricas já foram vistas no item 2.1.5.9 do trabalho, os tópicos abaixo focarão em como a inspeção dessas tolerâncias pode ser realizada.

#### **2.2.8.1 Desvio de forma**

Os desvios de forma são definidos como a variação das superfícies reais em relação aos sólidos geométricos que os definem. A peça pode ser considerada como corpos geométricos ligados entre si, e essa forma será considerada correta quando o desvio de cada um dos pontos medidos em relação à superfície de forma geométrica ideal for igual ou menor à tolerância especificada. (Guimarães, 1999)

##### **a) Planicidade**

A inspeção de planicidade de uma peça é feita através da medição de uma superfície em todas as direções, os valores encontrados são comparados com a tolerância. A figura 30 mostra duas maneiras simples de se verificar a planicidade de uma superfície, ambas utilizando-se relógios comparadores, que percorrem a superfície da peça. O desvio mostrado no relógio não pode ser maior que a tolerância especificada. (Cogorno, 2006)

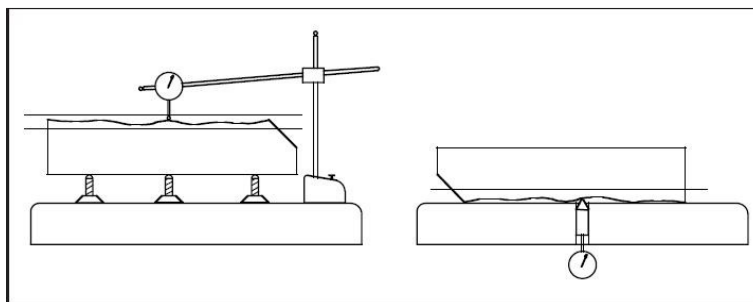


Figura 30 - Duas técnicas de verificação de planicidade (Cogorno, 2006)

### 2.2.8.2 Desvio de posição

Os desvios de posição são definidos como a variação da posição real de um ponto, aresta ou superfície em relação à sua posição teórica, para isso um elemento é definido como referência para que a tolerância possa ser aplicada ao elemento que está sendo medido. (Guimarães, 1999)

#### a) Perpendicularidade

A inspeção da perpendicularidade pode ser realizada fixando-se a peça pelo elemento de referência (*datum*) a noventa graus em relação à mesa de medição. Utilizando-se um relógio comparador verifica-se o máximo desvio encontrado no elemento que está sendo tolerado, conforme figura 31. Este valor não pode exceder a tolerância especificada.

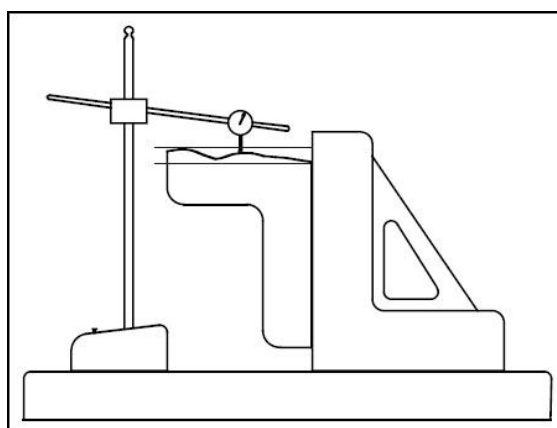


Figura 31 - Medição da tolerância geométrica de perpendicularidade (Cogorno, 2006)

### b) Paralelismo

A inspeção de paralelismo entre duas superfícies pode ser realizada apoiando ou fixando a peça à mesa de medição e utilizando-se um relógio comparador realiza-se a medição em toda a superfície da peça verificando se os valores encontrados estão dentro da tolerância especificada, conforme figura 32. (Cogorno, 2006)

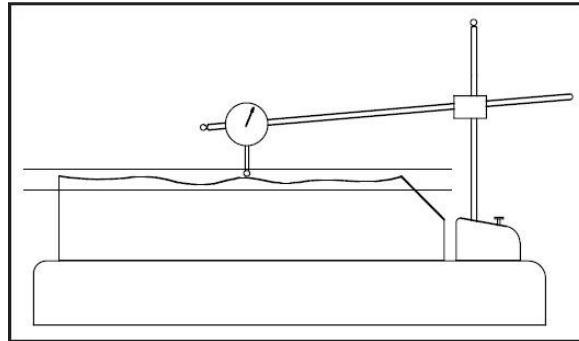


Figura 32 - Medição da tolerância geométrica de paralelismo (Cogorno, 2006)

### c) Posição

Para entender como deve ser feita a inspeção da tolerância de posição, será mostrada a inspeção da posição mostrada na figura 33. Primeiro, mede-se o diâmetro do furo cuja dimensão permitida é de no mínimo 2,000 mm e no máximo 2,020 mm. O próximo passo é medir a localização e orientação do furo, para isso, a peça deve ser fixada conforme os elementos de referência mostrados no desenho. Utiliza-se um pino padrão com o diâmetro máximo que pode ser encaixado no furo para simular o envelope do furo e as medições são realizadas utilizando-se o pino padrão. Como exemplo, a medição do *datum* B (superfície em contato com a mesa de medição) e até o diâmetro superior do pino foi de 3,008 mm; esse valor menos o raio do pino é igual a distância entre o *datum* B e o centro do furo  $3,008 - (2,012/2) = 2,002$ . Como a cota básica é 2,000 mm, a posição do furo em relação ao *datum* B está com um desvio de 0,002 mm, portanto, dentro da tolerância. Esse procedimento deve ser repetido para os demais elementos de referência. (Cogorno, 2006)

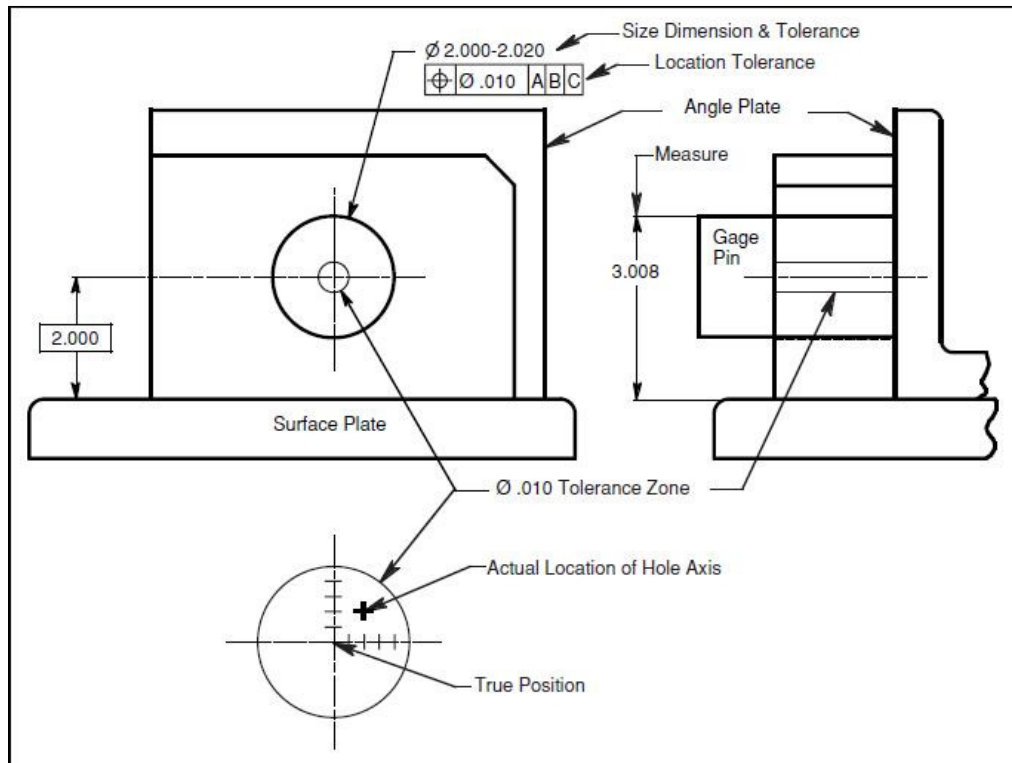


Figura 33 - Medição da tolerância geométrica de posição (Cogorno, 2006)

#### d) Concentricidade

A inspeção da tolerância geométrica de concentricidade pode ser feita colocando-se um relógio comparador sobre a superfície que está sendo tolerada e então faz-se a peça girar sobre o eixo do elemento de referência, conforme mostra a figura 34. Os valores encontrados no relógio comparador não podem exceder a tolerância especificada. Essa técnica só pode ser utilizada para superfícies de revolução. (Cogorno, 2006)

Para outros elementos faz-se necessário a utilização de um dispositivo que irá rotacionar o elemento sobre o eixo do *datum*. Um ponto na superfície é medido com o relógio comparador, a peça é então rotacionada 180° de modo que o próximo ponto que será medido estará diametralmente oposto ao primeiro. A diferença entre a medida dos dois pontos determina a localização do ponto mediano. Este processo é repetido algumas vezes e os pontos encontrados devem estar dentro da tolerância especificada. (Cogorno, 2006)

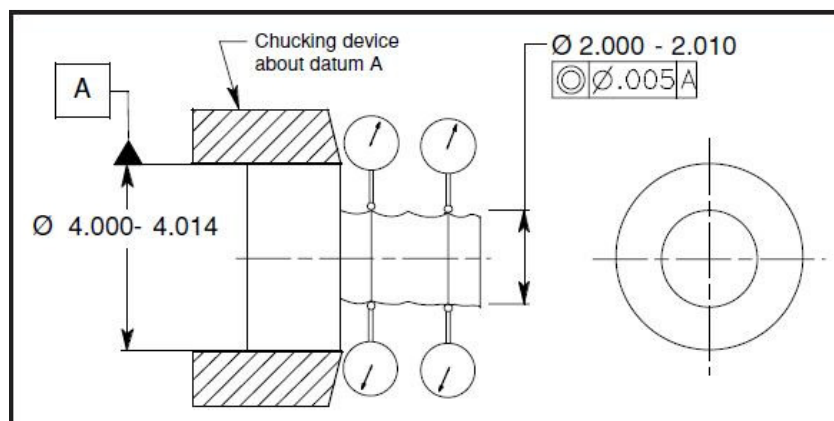


Figura 34 - Medição da tolerância geométrica de concentricidade (Cogorno, 2006)

### e) Simetria

Um modo de se inspecionar a tolerância geométrica de simetria é mostrado na figura 35. Esse método só pode ser aplicado quando o *datum* e a superfície são paralelos. A superfície de referência é apoiada sobre a mesa de medição, utilizando-se um relógio comparador mede-se alguns pontos na peça e os valores são anotados. Vira-se a peça e o processo é repetido. As medições são comparadas e determina-se a localização dos pontos médios, esses pontos devem estar dentro da tolerância especificada para a simetria. (Cogorno, 2006)

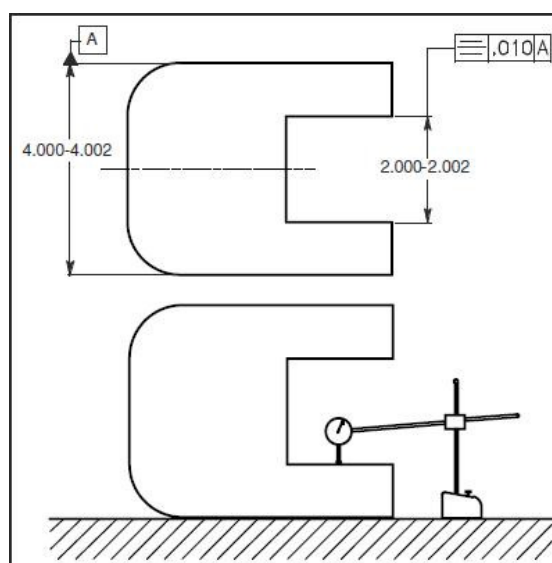


Figura 35 - Medição da tolerância geométrica de simetria (Cogorno, 2006)

### 2.2.9 Máquina de Medição por coordenadas

A máquina de medição por coordenadas (MMC) é um instrumento de medição que possui três eixos, esses eixos permitem que as medições sejam realizadas em três dimensões. A geometria é obtida através de apalpadores que entram em contato com a peça e cada ponto é expresso na forma de coordenadas nos eixos x, y e z. Um computador é ligado a máquina e um software faz o cálculo dos valores medidos e os compara com o elemento geométrico ideal, o resultado é mostrado em um relatório no qual tem-se valores como: tamanho, forma, localização e orientação do elemento. (Guimarães, 1999) & (Hamburg-Piekar, 2006)

Por estar ligada a um computador, a capacidade de processamento do mesmo faz com que a máquina de medição por coordenadas capture de forma rápida e precisa os dados da peça que se está medindo, além da possibilidade de se criar um programa e usá-lo várias vezes para inspecionar diversas peças. Outra vantagem é que com a MMC pode-se controlar tanto características dimensionais quanto geométricas. O tempo de inspeção pode ser reduzido em 80% a 90% se comparado com instrumentos mais simples como paquímetro, micrômetros ou escalas. (Dotson, 2006)

#### 2.2.9.1 Tipos de máquinas

O princípio básico de funcionamento das máquinas de medição por coordenadas é a movimentação de uma sonda em três eixos para a aquisição de pontos de uma peça. As configurações físicas variam bastante, mas três elementos básicos podem ser vistos na maioria das máquinas: uma mesa de medição, geralmente de granito, colunas verticais e um travessão horizontal onde se apóia o conjunto de medição. Existe uma limitação de espaço na máquina devido ao curso dos seus eixos, a área em que se pode fazer as medições é conhecida como envelope de trabalho, mas isso não necessariamente limita o tamanho da peça a ser medida, pois estando bem apoiada, partes da peça podem estar fora do envelope. (Dotson, 2006)

A norma ANSI/ASME B89.1.12M define dez configurações de máquinas de medir por coordenadas, as cinco mais utilizadas são mostradas na figura 36 e são elas: balanço, ponte, coluna, braço horizontal e pórtico. (Dotson, 2006)

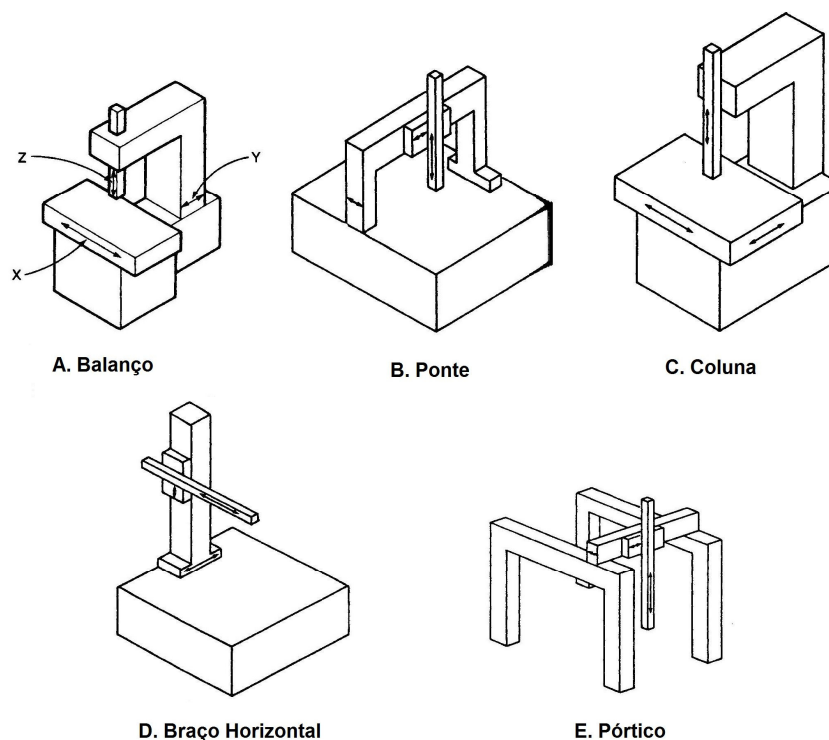


Figura 36 - Tipos de máquina de medir por coordenadas (Dotson, 2006)

#### a) Máquina ponte

É o tipo de máquina de medição por coordenada mais utilizada, nela a movimentação do eixo x é feita através de uma ponte apoiada em dois pontos da mesa, esse tipo de configuração acrescenta rigidez à máquina, mas como a movimentação deve ser feita em dois pontos diferentes, tem-se que garantir que a velocidade de deslocamento vai ser a mesma. A movimentação no eixo y é feita sobre a ponte e no eixo z por uma coluna vertical (Dotson, 2006).

#### 2.2.9.2 Modos de operação

Existem quatro modos principais de operação das MMC: (Dotson, 2006)

- Manual – nesse modo a sonda é movimentada pelo operador, ele que posiciona o apalpador para a aquisição dos pontos de medição manualmente.
- Manual com computador assistido – são adicionados displays nas máquinas para auxiliar na zeragem, mudança de sinal, conversões de unidades e visualização dos dados na tela.

- Motorizado com computador assistido – nesse modo o operador utiliza um joystick para mover o sensor e fazê-lo entrar em contato com a peça.
- Controlado diretamente por computador – o computador controla a movimentação da sonda, uma máquina de medição por coordenadas totalmente automatizada permite ao operador colocar a peça em um dispositivo de fixação e executar o programa, os dados serão adquiridos automaticamente e um relatório será gerado no fim da medição.

### 2.2.9.3 Sondas

A sonda é uma das partes de uma máquina de medir por coordenadas e é responsável pela aquisição das coordenadas do ponto que se está medindo. Existem vários tipos de sondas, mas pode-se dividi-las em duas categorias principais: contato e sem contato. As de contato são as mais utilizadas e possuem apalpadores que se encostam à peça, podem ainda ser de toque ou sondas analógicas de varredura, na figura 37 tem-se alguns exemplos de sondas de contato. As sondas sem contato incluem sondas de laser e sondas de vídeo. (Dotson, 2006)

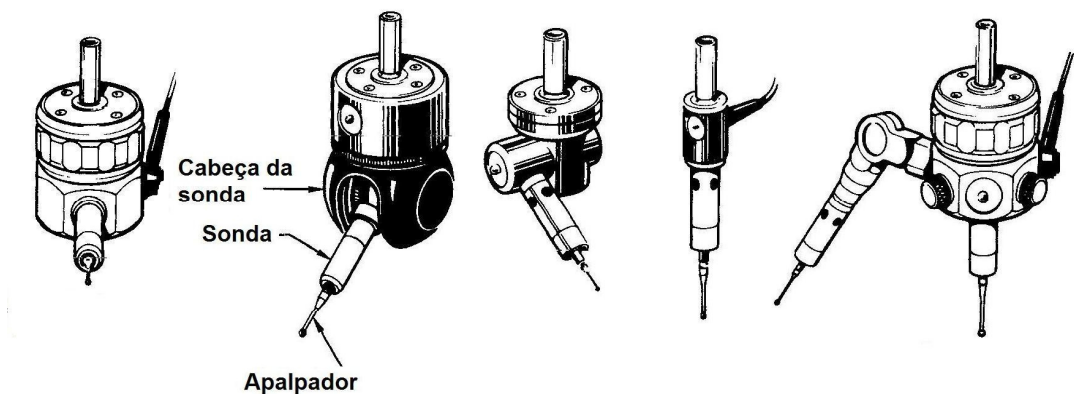


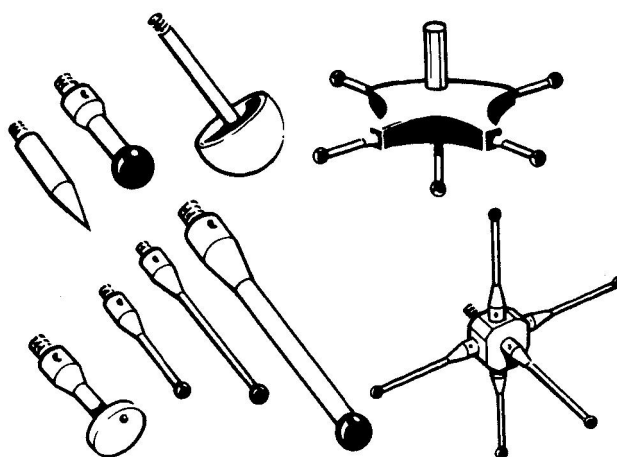
Figura 37 - Modelos de sonda (Dotson, 2006)

As sondas de toque quando fazem o contato com a peça abrem ou fecham um circuito que envia a informação para o computador, quando o computador registra a informação uma luz e um bip sonoro indicam que o contato foi realizado. As sondas analógicas de varredura são geralmente utilizadas para medir superfícies,

a sonda continua em contato com a superfície da peça enquanto o braço da máquina se move e faz aquisição dos dados que pode ser de 10 a 50 vezes mais rápida do que se utilizando a de toque. (Dotson, 2006)

Uma das limitações das sondas por contato é que se faz necessária a aplicação de uma força para que haja contato entre o apalpador e a peça, essa força pode deformar partes flexíveis ou frágeis, como por exemplo, plástico macio, borracha ou arames finos. Para solucionar esse problema apalpadores mais modernos utilizam cristais piezelétricos que diminuem a força necessária para haver o contato. (Dotson, 2006) & (Hamburg-Piekar, 2006)

Uma sonda de contato é formada por três componentes: cabeça da sonda, sonda e apalpador conforme mostra a figura 37. A cabeça da sonda é montada na máquina de medir por coordenadas, ela pode ser girada manualmente ou automaticamente, fazendo com que o operador possa aproveitar melhor os recursos e não necessite fazer novos setups. Extensões podem ser colocadas na sonda para aumentar seu alcance ou ter acesso a algum ponto específico. E existem várias configurações de apalpadores com formas e utilização específica para diminuir o erro da medição, conforme mostra a figura 38.



**Figura 38 - Modelos de apalpadores (Dotson, 2006)**

Para que os valores encontrados na medição sejam confiáveis se faz necessária a calibração da sonda e apalpadores, a sonda gira e se movimenta nas

três direções, folgas não são admissíveis e comprometem o resultado. A calibração dos apalpadores define o diâmetro efetivo de sua esfera para ser compensado pelo software da máquina nos cálculos que serão realizados. (Dotson, 2006)

#### **2.2.9.4 Software da MMC**

Um programa utilizado em MMC possui três comandos básicos: (Dotson, 2006)

- Comandos de movimentação: direciona o apalpador para os pontos cujos dados serão coletados.
- Comandos de medição: comparam a distância percorrida com o padrão definido para cada um dos eixos.
- Comandos de formatação: traduzem os dados para exibição em um relatório.

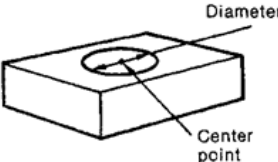
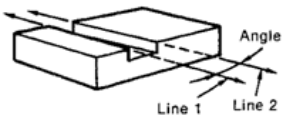
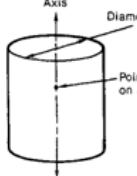
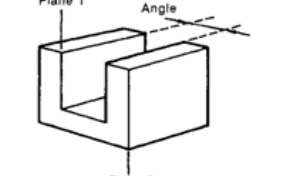
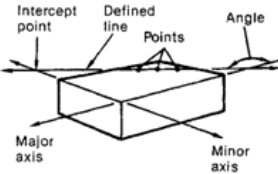
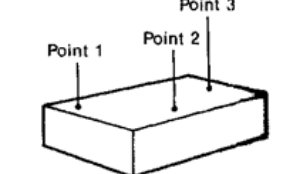
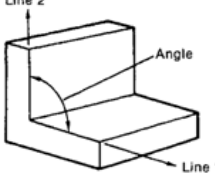
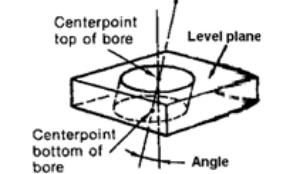
Os softwares utilizados atualmente nas máquinas de medir por coordenadas possuem menus que auxiliam o operador a criar o roteiro de medição e mostrar no relatório os dados que ele precisa. Alguns softwares também podem fazer a comparação entre a peça medida e o modelo matemático da peça. Outros recursos são incorporados para auxiliar o operador, como a conversão de unidades do padrão SI para o padrão inglês, conversão de coordenadas retangulares para coordenadas polares, seleção de elementos de referência, entre outros.

#### **2.2.9.5 Programas**

Os programas utilizados no computador ajudam a evitar a fadiga do operador, pois rotinas podem ser programadas e utilizadas na medição das peças. O operador clica em um ícone mostrado na tela do programa, a sonda coleta os dados e os mostra na tela do computador.

Os programas possuem bibliotecas com sub-rotinas já programadas, a tabela 6 apresenta alguns exemplos de sub-rotinas que existem em programas.

Tabela 6 - Exemplos de sub-rotinas. Adaptado de (Dotson, 2006)

<p><b>Círculo</b> Usando o mínimo de três pontos adquiridos, o programa calcula o centro e o diâmetro que melhor se ajustam aos pontos.</p>		<p><b>Paralelismo de duas linhas</b> Usando o mínimo de dois pontos adquiridos em cada linha, o programa calcula o ângulo entre as duas linhas. O paralelismo é definido utilizando a tangente à esse ângulo</p>	
<p><b>Cilindro</b> Usando o mínimo de cinco pontos adquiridos, o programa calcula o cilindro, o diâmetro, o eixo e o centro do eixo que melhor se ajustam aos pontos.</p>		<p><b>Paralelismo de dois planos</b> O programa calcula o ângulo entre dois planos. O paralelismo é definido utilizando a tangente à esse ângulo</p>	
<p><b>Linha</b> Usando o mínimo de dois pontos adquiridos, o programa calcula a linha que melhor se ajusta aos pontos.</p>		<p><b>Plano</b> Usando o mínimo de três pontos adquiridos, o programa calcula o plano que melhor se ajusta aos pontos.</p>	
<p><b>Perpendicularidade</b> Usando o mínimo de dois pontos adquiridos em cada linha, o programa calcula o ângulo entre as duas linhas. A perpendicularidade é definida utilizando a tangente à esse ângulo.</p>		<p><b>Perpendicularidade de um eixo em relação a um plano</b> O programa calcula o ângulo entre a linha de centro do furo, e a superfície do furo. A perpendicularidade é definida como a tangente entre esses ângulos.</p>	

Nos exemplos mostrados acima verifica-se que para a definição de elementos o programa solicita um número mínimo de pontos de acordo com a geometria Euclidiana. O programa sempre fará os cálculos buscando o elemento ideal que melhor se ajusta a esses pontos (Dotson, 2006). Por exemplo: para a definição de um plano são necessários três pontos, o programa encontrará o modelo matemático de um plano que passe por esses três pontos, mas esse não necessariamente será o plano real da peça que se está medindo.

O programa também calcula angularidade entre elementos como o paralelismo e a perpendicularidade. Para a definição de uma linha são necessários no mínimo dois pontos, a angularidade é medida através da tangente formada por duas linhas, então para se medir paralelismo e perpendicularidade são necessários no mínimo quatro pontos. O programa sempre fará o cálculo dos elementos identificando o melhor ajuste que se faz com os pontos informados. (Dotson, 2006)

### 2.2.9.6 Sistema de Coordenadas

O sistema de coordenadas permite que a CMM localize elementos sobre uma peça em relação a outros elementos. O sistema de coordenadas funciona como um mapa tridimensional que possui informações de direção e localização. Toda máquina tem uma posição inicial que pode ser chamada de origem e os eixos x, y e z. O sistema composto pela origem e os eixos é denominado de sistema de coordenadas da máquina.

A peça manufacturada também pode ter sua própria origem conforme mostra a figura 39, na peça os elementos de referência são elementos de referência utilizados para posicionar, localizar e zerar a peça para a medição. Os elementos de referência são teoricamente perfeitos e sempre são características físicas reais da peça. Antes da introdução do sistema de coordenadas era necessário que o sistema de coordenadas da peça estivesse alinhado com o sistema de coordenadas da máquina, isto tomava muito tempo e o processo era conhecido como “alinhamento”. (Dotson, 2006)

O plano XY é a superfície superior da peça  
A origem da peça é no canto inferior  
O eixo X está alinhado com a frente da peça

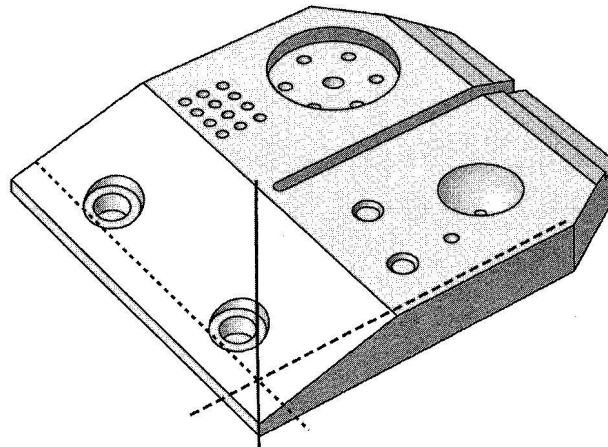


Figura 39 - Sistema de coordenadas com origem eixos definidos para uma peça. (Dotson, 2006)

### 2.2.10 Estratégias de medição

O procedimento de amostragem ponto por ponto não registra os desvios de forma da peça na sua totalidade, mas uma amostra dos pontos que estão sendo medidos. Sendo assim, a quantidade e a posição dos pontos escolhidos na estratégia de medição influenciam no resultado da medição. Uma maneira de se escolher a quantidade certa de pontos que serão adquiridos é avaliar o grau de incerteza da medição, baseado na “regra de ouro da metrologia” que diz que a incerteza não pode ultrapassar um quinto (às vezes um quarto) a um décimo da tolerância. Portanto, a estratégia de medição necessita de um número mínimo e uma distribuição de pontos ideal para permitir o seguinte: (Weckenmann et al., 1995)

1. Os pontos escolhidos devem representar corretamente o elemento
2. O tempo para medição deve ser o menor possível
3. Usar um critério de avaliação adequado e confiável dentro de um intervalo pré- definido.

O que se percebe é que a estratégia de medição normalmente é definida com base em critérios subjetivos e principalmente experiência do operador. A consequência é uma estratégia de medição “personalizada”. (Weckenmann et al., 1995)

Para minimizar os efeitos da escolha da quantidade de pontos foi criada a medição de forma por scanning no qual o sinal de entrada é a superfície real da peça que está sendo avaliada, limitada, contudo, pelo percurso de varredura executado pelo apalpador. Os dados adquiridos devem passar por filtros digitais para minimizar os efeitos das transformações indesejadas no processo de aquisição. (Arenhart, 2009)

### 2.2.11 Fontes de erro em medição por coordenadas

Por mais que se procure sempre trabalhar com qualidade a fim de se evitar erros, esses sempre estarão presentes nos processos de medição. O erro de medição “é a diferença entre o valor indicado pelo sistema de medição e o valor

verdadeiro do mensurando” e este erro é composto de outros dois tipos de erros, o erro sistemático: que “é a parcela previsível do erro, corresponde ao erro médio.” E o erro aleatório: que “é a parcela imprevisível do erro, é o agente que faz com que repetições levem a resultados diferentes.” (Albertazzi; Souza, 2008)

Conforme visto no item 2.2.4 relacionado aos processos de medição, alguns fatores influenciam no resultado de medição. A figura 40 mostra um diagrama de Ishikawa com as principais fontes de incerteza que podem ocasionar erros na medição por coordenadas. (Hamburg-Piekar, 2006)

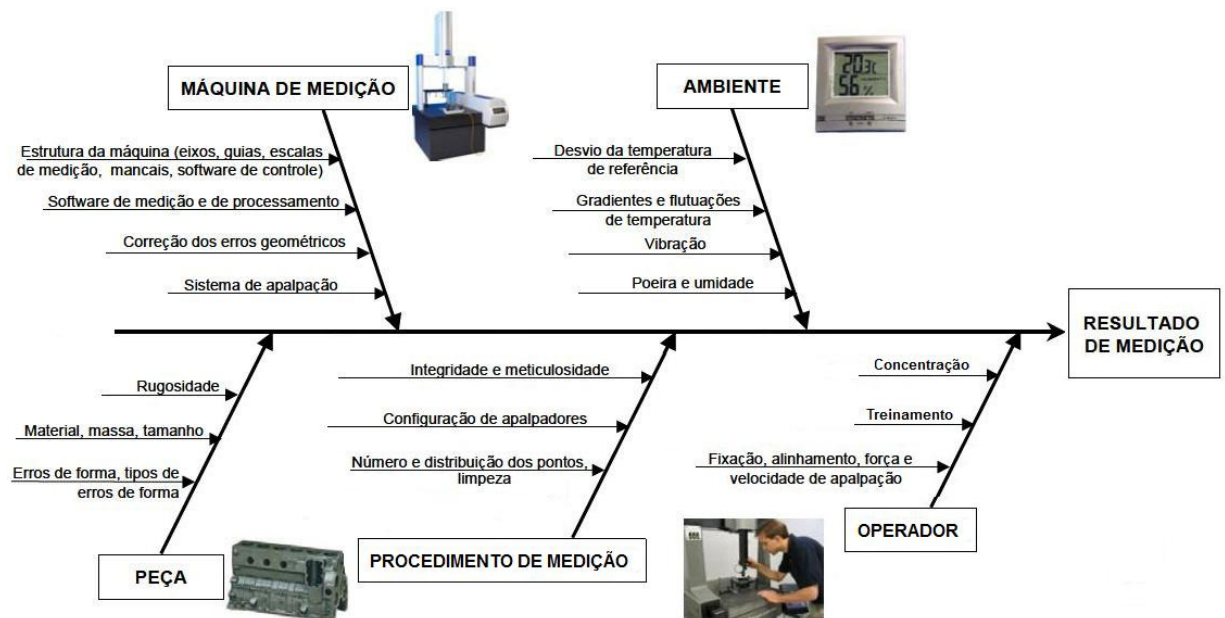


Figura 40 - Diagrama de Ishikawa das principais fontes de incerteza na medição por coordenadas. (Hamburg-Piekar, 2006)

### 2.2.11.1 Máquina de Medição

A máquina de medição por coordenadas é um instrumento de medição e os tipos de erros que podem ser originados pela sua utilização incluem: (Hamburg-Piekar, 2006)

- Erros sistemáticos dos chamados 21 erros paramétricos
- Componentes aleatórias desses erros paramétricos
- Erro aleatório do sistema de aquisição de pontos pelo apalpador

- Incertezas devidas ao sistema de troca do apalpador
- Erros causados pela dinâmica da MMC e o apalpador

Pode-se dividir os erros oriundos da máquina de medição por coordenadas em quatro grupos:

#### a) Erros Geométricos

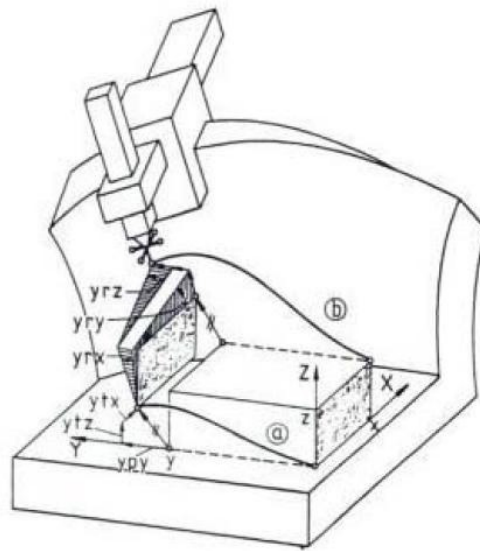
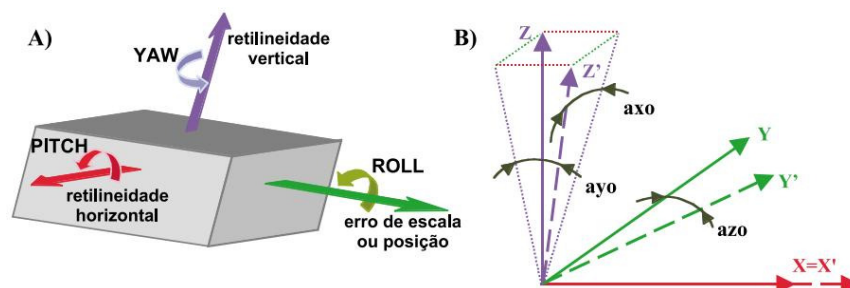


Figura 41 - Efeito do erro geométrico no eixo Y numa MMC de tipo braço (Bosch, 1995)

Dentre os fatores que influenciam na acuracidade da MMC, os erros geométricos são os mais relevantes e por esse motivo são os mais estudados (Orrego et al., 2000). A figura 41 mostra uma máquina de medição de coordenadas de tipo braço com os seis possíveis graus de liberdade do eixo Y, os erros ocasionados por esses graus de liberdade são chamados de erros paramétricos, três desses erros geométricos são de translação: um erro de escala ou posição e dois de retilinidade. Os outros três são erros angulares ou de rotação infinitesimais que estão mostrados na figura 42. Como a máquina possui três eixos, o total de erros paramétricos passa a ser dezoito. Além desses existem três erros não-paramétricos de ortogonalidade entre os eixos da máquina, totalizando um total de 21 erros geométricos. Esses podem ser compensados numericamente nas máquinas modernas de MMC através do seu software, existem várias metodologias para se

realizar essas correções, mas não serão discutidas nesse trabalho. (Hamburg-Piekar, 2006) & (Orrego et al., 2000).



**Figura 42 - Erros geométricos de uma máquina de medir a três coordenadas**  
**A - Seis erros geométricos com movimento de translação na direção Y**  
**B - Três erros angulares devido a falta de ortogonalidade entre os eixos perpendiculares à direção K. (Orrego et al., 2000)**

### b) Erros devido ao peso dos componentes da máquina

O braço da máquina de medir por coordenadas se movimenta para realizar a aquisição dos pontos, essa movimentação faz com que o centro de gravidade de sua estrutura também se desloque provocando variações dos estados de deformação da mesma. Esses erros podem ser eliminados no projeto da máquina com a utilização de materiais e/ou um design que forneça mais rigidez, ou com a utilização de técnicas que minimizem as deflexões sofridas pelas vigas ou guias muito longas. (Orrego et al., 2000)

### c) Erros do sistema de medição ou sonda

A sonda é parte da máquina que faz contato com a peça, seu erro depende basicamente do tipo de sonda que está sendo utilizada, as mais comuns são:

Toque – As mais usadas nas MMC, funcionam como interruptor abrindo ou fechando um circuito quando há o contato com a peça. Possuem um padrão de três lóbulos que provoca um erro, sondas mais modernas têm seu princípio de funcionamento baseados em cristais piezelétricos que apresentam erros menores. Sondas com princípio ópticos ou optoeletrônicos – que não fazem contato com a superfície da peça e são utilizadas para medir peças extremamente finas ou que possam se deformar durante a medição. Os erros sistemáticos devido à sonda

podem ser, eventualmente e sob condições bastante específicas, modelados e compensados utilizando-se programas computacionais. (Orrego et al., 2000)

#### **d) Erros derivados dos programas computacionais**

Os programas associados as MMC transformam os dados adquiridos em informações de retas, planos, diâmetros, distância entre centros, etc. Essa transformação é realizada através de algoritmos matemáticos que podem ser baseados em mínimos quadrados, mínimo círculo circunscrito, máximo círculo inscrito, etc. O erro é ocasionado pelo algoritmo utilizado, que geralmente utiliza aproximações lineares para agilizar o cálculo, sendo que a maioria dos ajustes de geometrias não é linear. (Orrego et al., 2000)

#### **2.2.11.2 Ambiente**

Um dos principais fatores do ambiente que podem ocasionar erros nas medições realizadas por máquinas de medir por coordenada é a influência da temperatura. Apesar de as máquinas serem utilizadas em laboratórios com temperatura controlada de 20°C, têm-se ainda algumas fontes de erros térmicos: (Hamburg-Piekar, 2006) & (Orrego et al., 2000)

- Ambiente – temperatura do ambiente não controlada ou variar muito pela presença de lâmpadas, iluminação natural ou a presença de outras máquinas.
- Pessoas – calor gerado pelas pessoas que trabalham na máquina ou pelo manuseio da peça.
- Memória térmica – a peça que está sendo medida ainda possui a temperatura do ambiente em que estavam.
- Calor gerado pela MMC – a própria movimentação da máquina pode gerar calor.

As pessoas, a memória térmica e calor gerado pela MMC, geram gradientes de temperatura o que ocasiona a não repetitividade dos resultados.

A limpeza a umidade e principalmente a vibração são outras fontes de incerteza relacionadas ao ambiente (Hamburg-Piekar, 2006). Por esse motivo,

amortecedores são utilizados na mesa da máquina e os laboratórios de metrologia em indústrias são em locais da fábrica afastados da produção.

### **2.2.11.3 Peça**

Os processos de manufatura são imperfeitos e passíveis de falhas, por esse motivo quando as peças são fixadas na mesa da MMC para serem realizadas as medições, podem ocorrer distorções que podem levar a interpretação incorreta da característica que está sendo analisada, os erros ocasionados pelas imperfeições na peça estão interligados com a escolha da estratégia de medição. (Orrego et al., 2000)

A rugosidade da peça também deve ser considerada, principalmente para a escolha do diâmetro da ponta do apalpador que será utilizado, existem estudos que relacionam o diâmetro da ponta, com a rugosidade da peça, para definir a estratégia de medição a ser utilizada e assim diminuir os erros. Outro fator é o peso da peça, que pode ocasionar deformações na MMC, modificando então os resultados.

### **2.2.11.4 Procedimento de medição**

A definição da estratégia de medição é decidida através da experiência do operador, a seqüência das medições, a localização e a quantidade de pontos influenciam nos resultados obtidos (Orrego et al., 2000). O algoritmo utilizado na máquina vai processar os dados adquiridos e apresentá-los em forma de dimensões, esse resultado vai depender diretamente da quantidade de pontos utilizados para o cálculo e das suas posições, quanto maior o número de pontos utilizados mais precisa será a medição e pode-se diminuir a influência da localização dos pontos.

### **2.2.11.5 Operador**

A influência que o operador exerce sobre o processo de medição é grande, pois é ele que decide a estratégia de medição que será utilizada, definindo a quantidade e a distribuição dos pontos que serão adquiridos, o filtro digital e o apalpador que serão utilizados, a velocidade e a direção de apalpação, entre outros (Hamburg-Piekar, 2006). Na figura 43, tem-se exemplos de conhecimentos que se fazem necessários para um operador de máquina de medição por coordenadas, um

operador bem treinado e com experiência faz com que a parcela desses erros seja diminuída.

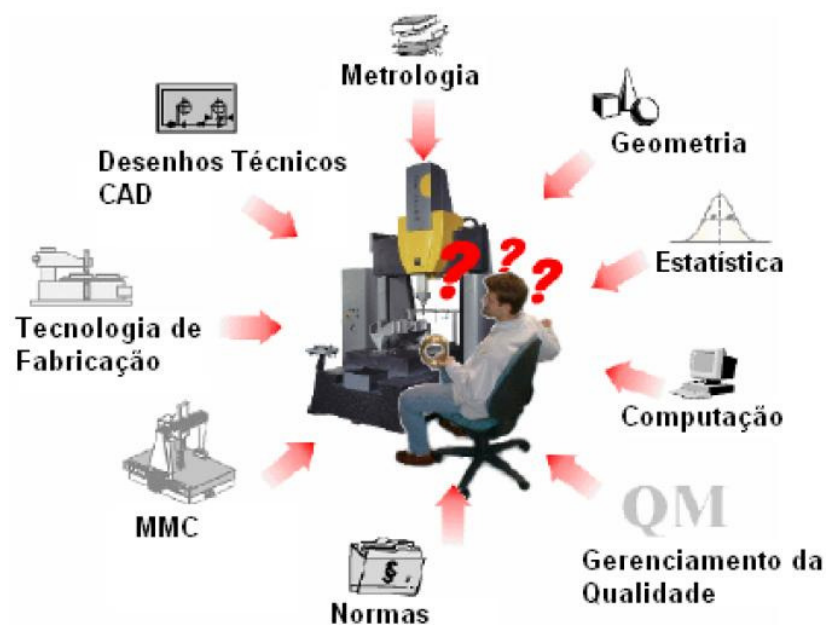


Figura 43 - Conhecimentos requeridos pelos operadores de MMC (Hamburg-Piekar, 2006)

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Descrição da metodologia

Para o desenvolvimento do presente trabalho de graduação, a metodologia que será utilizada para desenvolver a pesquisa científica será o estudo de caso. Um caso pode ser definido como um fenômeno de certa natureza ocorrendo num dado contexto. (Miles,1994)

As pesquisas científicas podem ser classificadas segundo alguns critérios e o presente trabalho classifica-se conforme abaixo: (YIN, 2006)

1. Quanto aos procedimentos técnicos:

- Estudo de caso: caracteriza-se pelo estudo profundo dos diversos aspectos de um determinado objeto de pesquisa, buscando esclarecer tomadas de decisões.

2. Quanto à natureza: fundamenta-se nas finalidades da pesquisa:

- Resumo de assunto: pesquisa efetuada na análise e interpretação dos fatos utilizando-se metodologia adequada.

3. Quanto aos objetivos:

- Pesquisa exploratória: Proporciona maiores informações sobre determinado assunto, como baseia-se em um grande estudo bibliográfico, facilita a delimitação do tema de trabalho, ajuda a definir objetivos, formular hipóteses para solucionar o problema e tem como característica ser flexível.

4. Quanto ao objeto: refere-se ao ambiente onde será realizada a pesquisa:

- Pesquisa bibliográfica: etapa inicial da pesquisa com estudo de livros, publicações periódicas, artigos, páginas de web sites, relatórios de seminários, anais de congressos, gravações de áudio, vídeo, etc. O estudo visa obter o conhecimento para uma aplicação prática.

O projeto de pesquisa utilizando o método três fases distintas: (YIN, 2006)

1. Preparação, escolha do referencial teórico sobre o qual se pretende trabalhar, a seleção dos casos e o desenvolvimento de protocolos para a coleta de dados: essa fase é de fundamental importância, pois nela baseia-se o desenvolvimento da teoria, a documentação com os procedimentos, instrumentos e regras que serão adotados. Nessa etapa também é realizada a seleção do caso, deve-se ter uma visão geral do projeto, os procedimentos que serão adotados para a coleta de dados e o plano para a análise dos mesmos.
2. Desenvolvimento, a condução do estudo de caso, com a coleta e análise de dados, culminando com o relatório do caso: nesta fase são colhidas as evidências, os materiais relacionados ao caso, a análise de documentos, e essa grande variedade de dados devem convergir para, após a coleta, ser realizado um relatório do caso com as conclusões dos dados coletados.
3. Finalização, a análise dos dados obtidos à luz da teoria selecionada, interpretando os resultados: nesta fase tem-se a classificação dos dados tendo-se em vista as proposições iniciais do estudo, finalizando assim a pesquisa.

### **3.2 Justificativa da metodologia**

A metodologia utilizada inicia-se com a seleção do caso, que deve ser uma situação complexa e/ ou intrigante, cuja relevância justifique o esforço de compreensão. O produto de um estudo de caso geralmente é a generalização para a utilização em outros estudos, as hipóteses poderão ser testadas em contextos similares, permitindo a acumulação do conhecimento.

O estudo de caso é usado em várias áreas, pois permite uma investigação dos dados com metodologia, esta é utilizada para que se tenha um conjunto de conclusões sobre essas questões focando no problema e fazendo com que o resultado seja uma investigação das características significantes de eventos vivenciados. (YIN, 2006)

A razão para adotar a metodologia do estudo de caso é quando se quer representar um processo cuidadosamente testado em uma teoria bem formulada, pois a metodologia ajuda a definir o alvo do estudo de caso, a determinar os dados pertinentes a serem coletados e qual o tipo de tratamento deve ser dado aos dados uma vez coletados. (YIN, 2006).

### 3.3 Produtos do projeto

O projeto terá como produto a definição de uma estratégia de medição em MMC que poderá ser aplicado na empresa sistemista e em seu cliente.

Com o desenvolvimento dessa estratégia visa-se melhorar a qualidade nos processos de fabricação e o alinhamento das informações evitando-se assim desgastes oriundos de divergências ocasionadas por relatórios conflitantes.

### 3.4 Etapas do projeto

Este projeto será desenvolvido em três etapas seguindo a metodologia do estudo de caso, como pode ser visto na figura 44 abaixo:

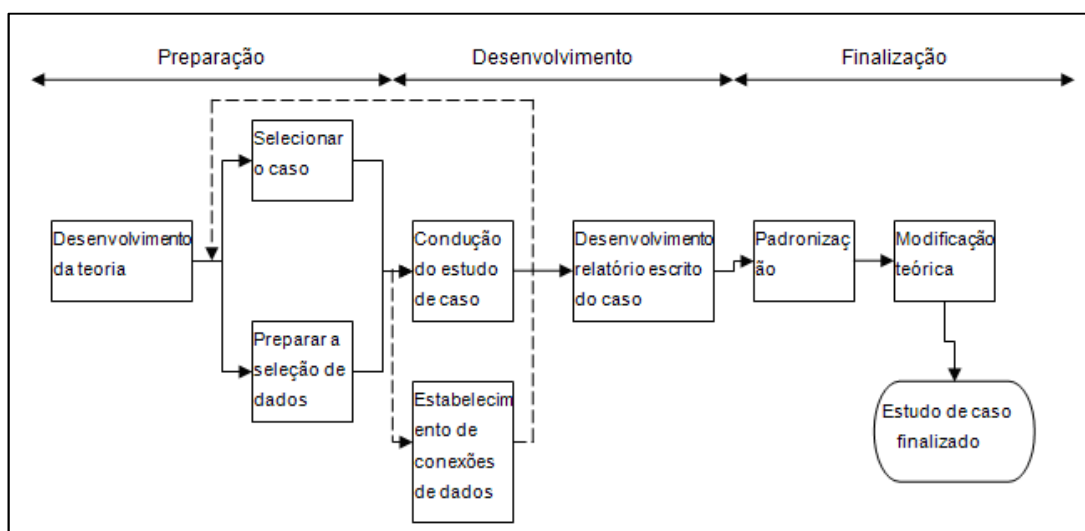


Figura 44 - Etapas relevantes para elaboração de um estudo de caso(YIN, 2006)

### 3.4.1 Preparação:

Nesta primeira etapa, foi feita a revisão bibliográfica dos assuntos que servirão de base para o desenvolvimento do trabalho. Primeiramente foi estudada a metodologia *GD&T* de cotação, começando pela evolução do desenho técnico, o aparecimento do *GD&T*, suas vantagens e então foi estudada a norma ASME Y14.5 – 2009, que é a norma utilizada para a elaboração de desenhos na empresa base do estudo e conseqüentemente em seus fornecedores. A norma ASME é bastante extensa e abrange vários outros fatores, o seu estudo neste trabalho foi limitado a algumas definições e ao conhecimento das tolerâncias geométricas utilizadas em especial em peças estampadas.

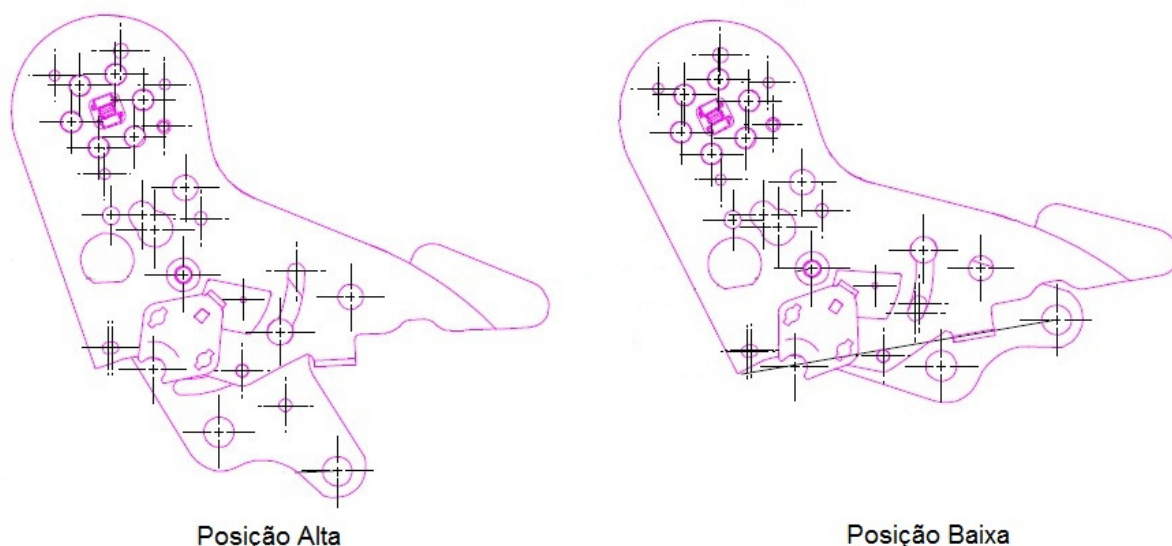
A segunda etapa da revisão bibliográfica abrangeu o estudo da medição por coordenadas, iniciando pela metrologia, algumas regras e definições, então foi vista a medição por coordenadas, algumas maneiras de se medir tolerâncias geométricas, o conhecimento da máquina de medir por coordenadas e o erros que podem ocorrer nesse processo.

Com esse conhecimento adquirido, foi escolhida a peça, que será base do estudo de caso e que será designada de peça 01, mostrada na figura 45.



Figura 45 - Peça 01 (Fonte não autorizada)

Os motivos para a escolha dessa peça foram: é uma peça estampada manufaturada por um fornecedor nacional o qual a aluna tem um bom relacionamento, o que auxiliará no acesso aos dados e desenvolvimento do projeto. O desenho da peça possui dimensionamento geométrico e toleranciamento que foi estudado na revisão bibliográfica. A mesma é utilizada em um conjunto que se chama conjunto regulador de altura e é utilizado em bancos fabricados pela empresa, o conjunto é o que aparece na figura 3 e o seu funcionamento depende das dimensões das peças que o compõem. É uma peça crítica dentro da empresa, pois é a peça principal do conjunto regulador de altura e o funcionamento do regulador tem especificações de esforços que são perceptíveis para o cliente final, como: força aplicada para destravamento, esforço aplicado para modificar o conjunto da posição alta para a posição baixa. Na figura 46 têm-se as duas posições extremas do conjunto, a posição alta e a posição baixa. Esse conjunto também é manufaturado na matriz da empresa na Europa com poucas modificações em relação o produto nacional, dessa maneira uma terceira fonte de informações será consultada e analisada no desenvolvimento do trabalho.



**Figura 46 - Duas posições que o conjunto regulador pode ter (Fonte não autorizada)**

### 3.4.2 Desenvolvimento

Nesta etapa com a peça definida para ser análise do estudo, foi solicitado que o fornecedor faça a medição conforme é realizado em seu processo, ou seja, características que possuam gabaritos de controle ou calibres devem ser medidas neles, e as demais características devem ser medidas em máquina de medir por coordenadas.

A mesma peça foi medida na empresa sistemista em máquina de medir por coordenadas, sem interferência da aluna, para verificação do conhecimento do metrologista, entendimento e aplicação do *GD&T*.

Foi solicitado o relatório dimensional e os controles feitos na peça similar na Europa, para comparação e verificação do relatório, procedimento de medição e controle da peça.

Do fornecedor foi recebido seu plano de controle, o relatório dimensional e vídeos com a seqüência de medição na MMC. A medição na empresa sistemista foi acompanhada e gravada pela aluna, para posterior análise das informações. Da matriz foi recebido o seu plano de controle e o relatório dimensional.

Com o plano de controle, relatório dimensional e vídeos enviados pelo fornecedor, foi possível descrever a estratégia de medição do fornecedor. A estratégia de medição da empresa foi descrita com base na observação da medição, resultado do relatório e análise do vídeo do processo. A matriz da empresa na Europa enviou para análise junto com o relatório o roteiro de medição o qual mostra as dimensões e o modo de medição de cada uma delas.

Como esses primeiros resultados não tiveram interferência da aluna, eles foram analisados para verificação do conhecimento dos metrologistas e a correta interpretação do dimensionamento geométrico e toleranciamento, nessa fase os dados das três empresas foram avaliados. Como, a peça medida pela empresa e o fornecedor foi a mesma, pôde-se verificar e analisar a influência da estratégia de medição nos resultados fazendo-se a comparação entre eles. Para isso, como os relatórios foram enviados em formatos diferentes, foi criada uma planilha padrão e os dados inseridos para comparação.

A análise desses dados foi feita usando-se como base o conhecimento adquirido na revisão da bibliografia, erros e equívocos foram identificados para uma posterior definição da estratégia de medição.

### **3.4.3 Finalização**

Última etapa do projeto que constituiu a elaboração de uma estratégia de medição baseada nos dados do fornecedor e da empresa, mas corrigindo-se os erros verificados, e enriquecida com as informações da matriz da empresa na Europa.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão mostrados os resultados obtidos através do estudo dos dados coletados na empresa sistemista, no fornecedor e na matriz na Europa, bem como as discussões levantadas por esse estudo.

### 4.1 Aplicação do *GD&T* nos desenhos da empresa base de estudo

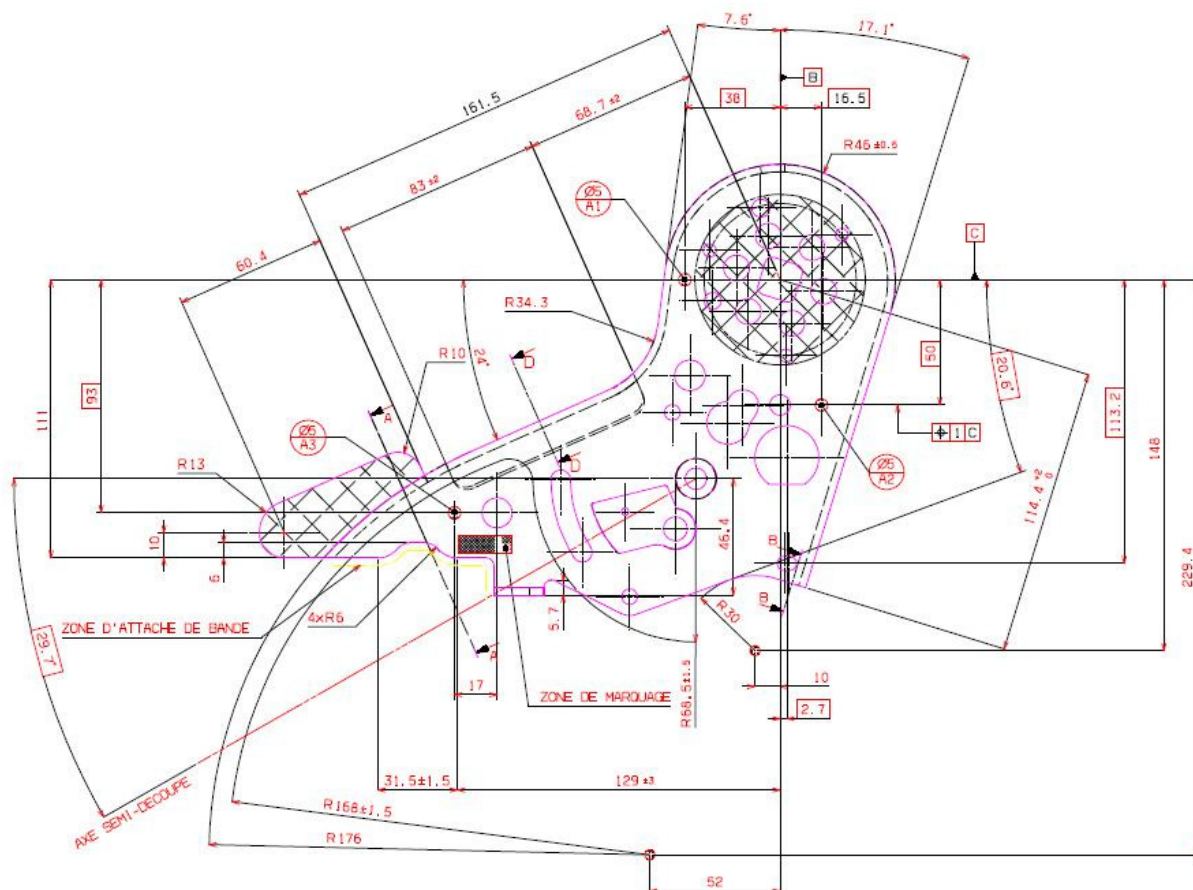
Desde o seu surgimento com a idéia de aumentar o campo de tolerância até os dias de hoje muitos conceitos foram incorporados ao *GD&T* entre eles: os elementos de referência, princípios de mínimo e máximo material, zona de tolerância projetada, zonas de tolerâncias compostas, condições de independência, etc. Sempre visando à melhoria do método.

Para isso várias normas foram criadas e atualizadas conforme a necessidade, entre elas destaca-se a ASME Y14.5M – 1994 que teve uma atualização em 2009 passando a ser ASME Y14.5 – 2009.

Mas a evolução do *GD&T* também se deu dentro das empresas e cada uma delas evoluiu de maneira e com velocidades diferentes, pois a utilização da ferramenta depende muito da capacitação dos profissionais que a utilizam.

Para exemplificar temos a figura 47, a qual mostra o desenho de uma peça estampada utilizada na empresa que é base de estudo para o trabalho, este desenho foi criado em 14/05/2002, data posterior a publicação da norma ASME Y14.5M – 1994, mas podemos verificar que os conceitos do *GD&T* ainda não estavam sendo utilizados.





**Figura 48 - Desenho peça estampada revisada em 19/10/2009 (Fonte não autorizada)**

Utilizando esses dois desenhos como base, pode-se notar algumas diferenças e acompanhar a evolução do *GD&T* dentro da empresa. Entre a criação do primeiro desenho e a sua última revisão, passaram-se sete anos e doze revisões, estas feitas para melhorar especificações, simplificar o desenho e evitar interpretações duvidosas.

Um dos primeiros pontos que pode-se notar é quanto à utilização de cotas, que na figura 47 é muito maior do que na figura 48, esse mesmo comparativo pode ser feito em um detalhe mostrado no desenho e ilustrado na figura 49 e figura 50.





Outro bom exemplo do uso do *GD&T* neste desenho refere-se ao requisito de planicidade solicitado em uma região específica da peça. Na figura 53 a região está compreendida entre os pontos 1, 2 e 3; e para que seja entendido que a planicidade deve ser de no máximo 0,4 mm o desenho possui uma nota. Já na figura 54 é utilizado um símbolo de planicidade e entende-se que o requisito estende-se para toda a área hachurada.

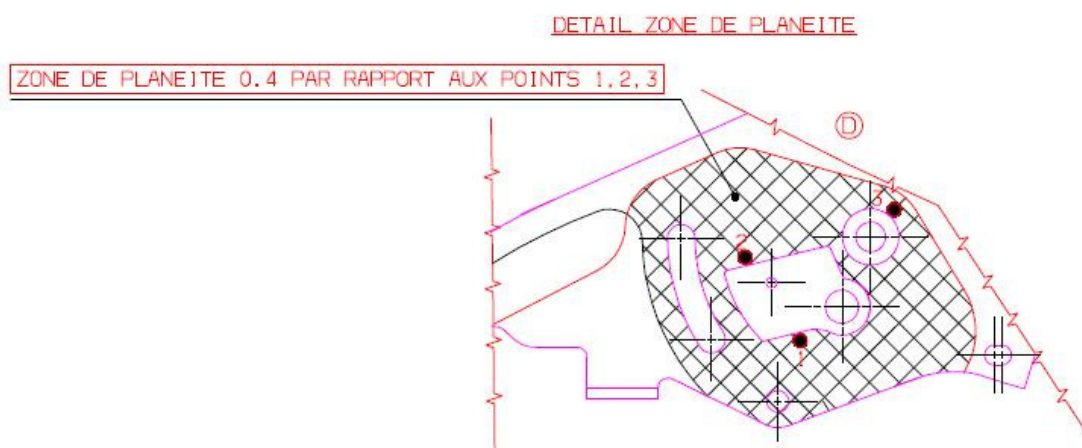


Figura 53 - Exemplo de requisito de planicidade em uma dada região da peça (Fonte não autorizada)

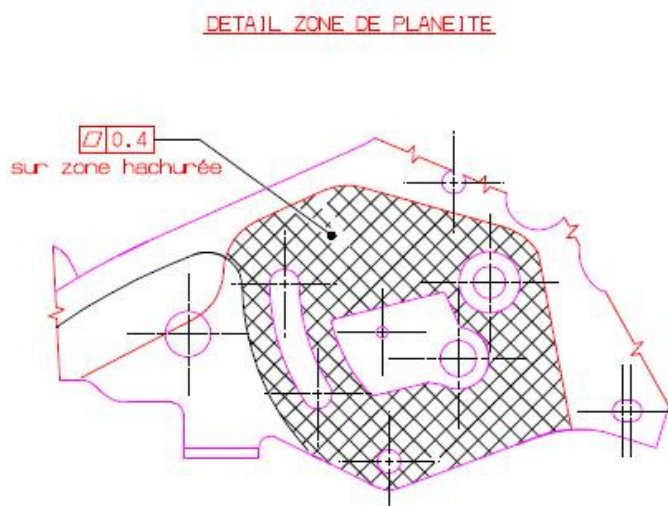


Figura 54 - Exemplo da aplicação de tolerância de planicidade utilizando o *GD&T* (Fonte não autorizada)

## 4.2 Estudo das estratégias de medição

Uma peça 01 foi entregue ao metrologista da empresa sistemista e a mesma peça foi entregue ao metrologista do fornecedor para medição. A descrição das estratégias de medição criadas por eles é descrita abaixo:

### 4.2.1 Estratégia utilizada pela empresa base do estudo

A medição realizada na peça na empresa base de estudo é totalmente feita na máquina de medição por coordenadas. A peça 01 é fixada para medição utilizando-se um prisma magnético por uma de suas faces como pode ser visto na figura 55. O referenciamento da peça inicia-se com a definição do *datum* A, para isso o metrologista encosta o apalpador em três pontos da peça próximos aos elementos de referência parciais A1, A2 e A3 definidos em desenho. O próximo passo é o referenciamento da peça pelo centro do furo de diâmetro 12,2 mm que é o *datum* E do desenho, são usados quatro pontos para a definição do centro.

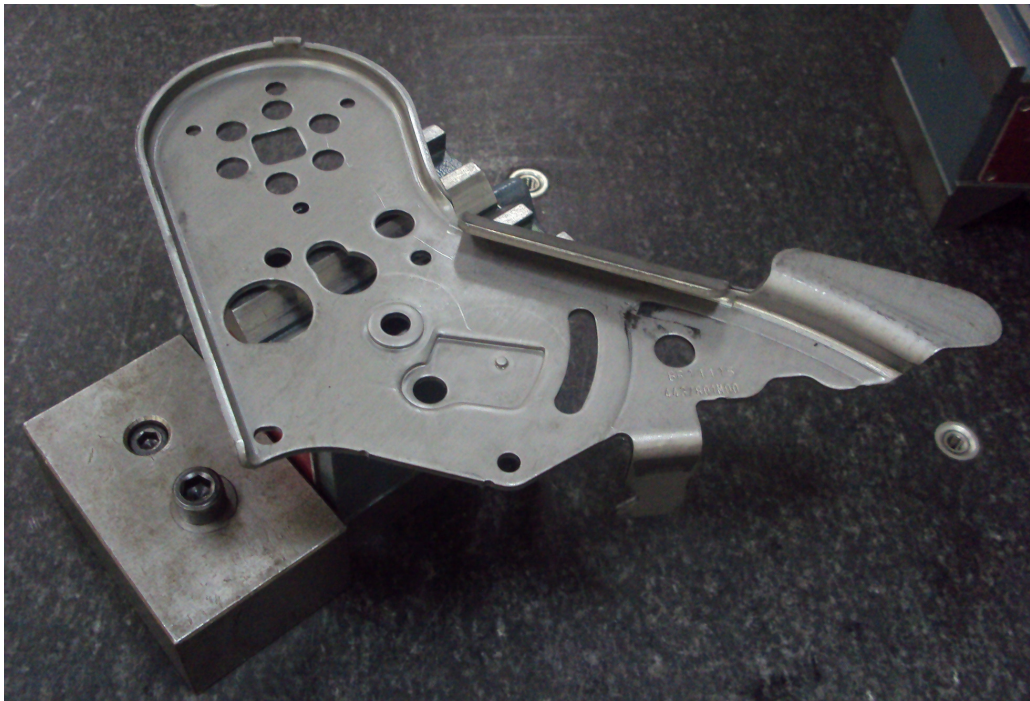


Figura 55 - Fixação da peça 01 para medição na empresa base

As etapas da medição são descritas abaixo:

1. A medição inicia-se com o furo de diâmetro 8,5 mm que é medido com a aquisição de quatro pontos.
2. Medem-se os lados do furo quadrado de 15,5 mm com a aquisição de oito pontos, dois para cada face.
3. Mede-se o diâmetro do ressalto de 16,1 mm com a aquisição de quatro pontos.
4. Mede-se o diâmetro de 9,5 mm com a aquisição de quatro pontos.
5. Mede-se o diâmetro de 16,2 mm com a aquisição de quatro pontos.
6. Adquirem-se dois pontos na linha superior do rebaixo de planicidade 0,2 mm. Esses pontos serão utilizados para medir o raio de 54 mm.
7. Adquirem-se quatro pontos do semi-círculo superior da região do sorriso para controle da dimensão 52,6
8. Adquirem-se quatro pontos do semi-círculo inferior da região do sorriso para controle da dimensão de 51.
9. Mede-se o furo de diâmetro 6,2 mm utilizando-se quatro pontos.
10. Adquirem-se quatro pontos no *datum A*, mas na região ao redor do ressalto de diâmetro 16,1. Esses pontos serão utilizados para medir a altura do ressalto de 2 mm.
11. Mede-se a altura do ressalto de 2 mm com a aquisição de dois pontos.
12. Mede-se a planicidade de 0,2 com seis pontos.
13. Mede-se a planicidade de 0,4 com onze pontos.
14. Mede-se o diâmetro do furo de 6,5 mm com a aquisição de quatro pontos.
15. Medem-se o diâmetro dos seis furos da articulação de diâmetro 10,3 mm, com a aquisição de quatro pontos para cada furo.
16. Medem-se o diâmetro dos três furos de 5,2 mm com a aquisição de quatro pontos.
17. Termina a aquisição de pontos.

A estratégia de medição utilizada na empresa sistemista é baseada no programa utilizado pela máquina de medição de coordenadas, nenhum roteiro, informação ou esquema adicional é utilizado.

#### 4.2.2 Estratégia utilizada pelo fornecedor.

O fornecedor começa a controlar a peça durante sua fabricação, algumas dimensões verificadas dizem respeito somente ao processo, estas dimensões não foram estudadas no projeto, pois o controle não é possível depois da peça acabada. Durante o processo são usados calibres, calibres do tipo passa - não passa, relógio apalpador e altímetro. O restante das dimensões são controladas em máquina de medição por coordenadas.

A estratégia de medição na máquina de medição por coordenadas inicia-se com a fixação da peça 01 em um prisma magnético como pode ser visto na figura 56. O referenciamento inicia-se pela definição do *datum* A, o metrologista encosta o apalpador em três pontos próximos aos definidos em desenho. O *datum* B é definido pela posição do centro do quadrado de lado 15,5; essa definição é feita utilizando-se quatro pontos, como é comumente realizado com diâmetro de furos.



Figura 56 - Fixação da peça 01 para medição no fornecedor

As etapas da medição são descritas abaixo:

1. A medição inicia-se com a medição do furo de diâmetro 25,5 com a aquisição de quatro pontos.
2. Mede-se o furo de diâmetro 12,2 com a aquisição de quatro pontos.
3. Mede-se a planicidade de 0,2 com quatro pontos.
4. Mede-se a dimensão de 2,0 +0,1 com a aquisição de um ponto no rebaixo e um ponto no *datum* A.
5. Mede-se o diâmetro do furo de 9,5 com quatro pontos.
6. Mede-se o diâmetro do furo de 8,5 com a aquisição de quatro pontos.
7. Adquirem-se quatro pontos do semi-círculo superior da região do sorriso para controle da dimensão 52,6
8. Adquirem-se quatro pontos do semi-círculo inferior da região do sorriso para controle da dimensão de 51.
9. Mede-se o diâmetro do furo de 6,2 com a aquisição de quatro pontos.
10. Mede-se o diâmetro dos três furos de 5,2 com a aquisição de quatro pontos para cada furo.
11. Medem-se dois lados do quadrado de 15,5 com a aquisição de quatro pontos, dois para cada lado.
12. Mede-se o diâmetro dos seis furos de 10,3 com a aquisição de quatro pontos para cada furo.
13. Mede-se a planicidade de 0,4 com a aquisição de seis pontos.

Para a medição na máquina de medição por coordenadas, o metrologista não possui qualquer informação adicional, somente o desenho.

### **4.3 Resultados das medições**

Nesse tópico serão apresentados e discutidos os resultados das medições nas três fontes: empresa base do estudo, no fornecedor e na matriz da empresa na Europa.

#### 4.3.1 Resultado da medição da empresa base do estudo

O resultado da medição é apresentado através de um relatório gerado pela máquina de medição por coordenadas e nele podemos verificar que a seqüência de apresentação dos dados não é a mesma da aquisição dos pontos, o relatório completo está mostrado no apêndice A. Como pode ser visto na tabela 7, o item 01 é a tolerância de concentricidade do furo de diâmetro 8,5 mm em relação à E, mas o relatório não apresenta o valor encontrado para o diâmetro. O mesmo acontece com o item 02, que é a tolerância de concentricidade do furo de diâmetro 9,5 mm em relação à F, o item 03 e 04.

**Tabela 7 – Dados 01 do resultado da medição da empresa base de estudo**

Item	Elemento	Nominal	Desvio	Limite Inf.	Limite Sup.	Medido	Fora
01	Concentricidade 0,2 em relação à E	0,000	0,371	0,000	0,200	0,371	0,171
02	Concentricidade 0,2 em relação à F	0,000	0,305	0,000	0,200	0,305	0,105
03	Posição 0,4 em relação à A B E	0,000	0,109	0,000	0,400	0,109	
04	Posição 0,2 em relação à A C E	0,000	0,384	0,000	0,200	0,384	0,184

A medição também é realizada em cotas com tolerâncias lineares, como pode ser observado na tabela 8.

**Tabela 8 - Dados 02 do resultado da medição da empresa base de estudo**

Item	Elemento	Nominal	Desvio	Limite Inf.	Limite Sup.	Medido	Fora
05	Dimensão de $52,6 \pm 0,1$	52,600	0,013	52,500	52,700	52,613	
06	Dimensão de $12,4 \pm 0,1$	12,400	-0,095	12,300	12,500	12,305	
07	Dimensão de $51,0 \pm 0,1$	51,000	0,031	50,900	51,100	51,031	
08	Dimensão de $17,8 \pm 0,1$	17,800	0,147	17,700	17,900	17,947	0,047
09	Dimensão de $0,4 \pm 0,1$	0,400	-0,075	0,300	0,500	0,325	
10	Dimensão de $11,8 \pm 0,1$	11,800	0,141	11,700	11,900	11,941	
11	Dimensão de $2,55 +0,15 -0,05$	2,550	0,111	2,500	2,700	2,661	

Na tabela 9 verificam-se três modos diferentes de interpretar e apresentar as tolerâncias de posição medidas nos itens 03, 15 e 28. No item 03 a tolerância de

posição é medida, mas não se sabe como ela é calculada, pois o valor apresentado no relatório já é o valor final da posição.

No item 15, como a cota básica é um ângulo e a outra cota para o posicionamento do elemento é um diâmetro, o programa calcula quais seriam as cotas básicas em x e y e as mostra no relatório (cotas 29,572 e 7,045) a tolerância de posição de 0,3 mm é transformada em uma tolerância linear de  $\pm 0,15$ mm.

No item 28 a cota básica também é um ângulo e a outra cota para o posicionamento do elemento é um diâmetro, o programa calcula quais seriam as cotas básicas em x e y e as mostra no relatório (cotas 15,588 e 9,00), no relatório essas dimensões são consideradas como cotas básicas, pois elas não apresentam limite inferior nem limite superior e o cálculo da posição é duas vezes a hipotenusa do triângulo retângulo formado pelos valores dos desvios encontrados nos eixos x e y.

**Tabela 9 - Dados 03 do resultado da medição da empresa base de estudo**

Item	Elemento	Nominal	Desvio	Limite Inf.	Limite Sup.	Medido	Fora
03	Posição 0,4 em relação à A B E	0,000	0,109	0,000	0,400	0,109	
15	Posição de 0,3 em relação à B C cir. 1	29,572	-0,112	29,422	29,722	29,460	
		7,045	0,076	6,895	7,195	7,121	
28	Posição 0,3 em relação à B C (1)	15,588	-0,217	0,000	0,300	15,371	
		9,000	0,094			9,094	
		Hipotenusa	0,473			0,473	0,173

Os itens 34 e 37 mostrados na tabela 10 são cotas básicas, essas cotas servem de base para tolerâncias geométricas de posição, no relatório elas são dimensionadas mas não apresentam limite inferior nem limite superior. O item 36 é a tolerância de posição de 0,4 mm do furo de diâmetro 12,2 verificado como item 35 do relatório, e as cotas básicas para a definição da posição são a dimensão de 36 mm item 34 para o eixo x e a dimensão de 38,2 mm item 37 para o eixo y. A cota de posição do item 36 é calculada como sendo duas vezes a hipotenusa do triângulo retângulo formado pelos valores dos desvios dos itens 34 e 37.

Tabela 10 - Dados 04 do resultado da medição da empresa base de estudo

Item	Elemento	Nominal	Desvio	Limite Inf.	Limite Sup.	Medido	Fora
34	Dimensão de 36	36,000	-0,030	Cota básica		35,970	
35	Diâmetro 12,2 +0,05 -0,15	12,200	-0,005	12,050	12,250	12,195	
36	Posição 0,4 mm em relação à A B C	0,000	0,207	0,000	0,400	0,207	
37	Dimensão de 38,2	38,200	-0,099	Cota básica		38,101	

#### 4.3.2 Resultado da medição do fornecedor

O resultado da medição é apresentado num relatório, nele constam as verificações realizadas com calíbres, altímetro e as medições realizadas na máquina de medição por coordenadas. O relatório completo está apresentado no apêndice B.

A tabela 11 mostra os itens que são controlados com calíbres, no total são dezessete furos redondos, um furo quadrado e um furo oblongo, esses itens são verificados durante a produção da peça.

Tabela 11 - Dados 01 do resultado da medição do fornecedor

Item	Elemento	Nominal	Modo de medição	Limite Inf.	Limite Sup.	OK / NOK
1	Diâmetro 12,5 +0,05 -0,15	12,500	Cálibre passa - não passa	12,350	12,550	OK
3	Diâmetro 12,00 +0,05 -0,15	12,000	Cálibre passa - não passa	11,850	12,050	OK
4	Diâmetro 6,2 ± 0,1	6,200	Cálibre passa - não passa	6,100	6,300	OK
6	Diâmetro 25,5 +0,25 -0,05	25,500	Cálibre	25,450	25,750	OK
7	Oblongo 5,7 X 7,7 +0,05 -0,15	5,700	Cálibre	5,550	5,750	OK
		7,700		7,550	7,750	OK
8	Diâmetro 9,5 +0,07 -0,13	9,500	Cálibre passa - não passa	9,370	9,570	OK
9	Diâmetro 6,2 +0,05 -0,15	6,200	Cálibre passa - não passa	6,050	6,250	OK
10	Diâmetro 10,3 +0,05 -0,15 furo 01	10,300	Cálibre passa - não passa	10,150	10,350	OK
	Diâmetro 10,3 +0,05 -0,15 furo 02					OK
	Diâmetro 10,3 +0,05 -0,15 furo 03					OK
	Diâmetro 10,3 +0,05 -0,15 furo 04					OK
	Diâmetro 10,3 +0,05 -0,15 furo 05					OK
	Diâmetro 10,3 +0,05 -0,15 furo 06					OK
11	Dimensão 15,5 ± 0,2 (2X)	15,500	Cálibre	15,300	15,700	OK
12	Diâmetro 5,2 +0,05 -0,15 furo 01	5,200	Cálibre passa - não passa	5,050	5,250	OK
	Diâmetro 5,2 +0,05 -0,15 furo 02					OK
	Diâmetro 5,2 +0,05 -0,15 furo 03					OK

As próximas verificações são realizadas com altímetro e um item com relógio apalpador como pode ser visto tabela 12, esses controles são feitos pelo operador ou auditor da qualidade durante o processo.

**Tabela 12 - Dados 02 do resultado da medição do fornecedor**

Item	Elemento	Nominal	Modo de medição	Limite Inf.	Limite Sup.	Medido
13	Dimensão 14,5 ± 0,5	14,500	Altímetro	14,000	15,000	14,610
14	Dimensão 1,0 ± 0,2	1,000	Altímetro	0,800	1,200	1,120
15	Dimensão 15,3 ± 0,2	15,300	Altímetro	15,100	15,500	15,440
16	Planicidade 0,2	0,200	Relógio apalpador	0,000	0,200	0,110
17	Dimensão 2,55 +0,15 -0,05	2,550	Altímetro	2,500	2,700	2,580
18	Dimensão 2,0 +0,5 -0,8	2,000	Altímetro	1,800	2,500	1,350
19	Dimensão 2,0 +0,1	2,000	Altímetro	2,000	2,100	1,900

A última etapa é a verificação das dimensões pelo metrologista na máquina de medição por coordenadas, no programa algumas dimensões são controladas novamente, como a planicidade de 0,2 e alguns diâmetros de furos. Na tabela 13 verifica-se o resultado da medição, o item 23 é a cota básica de 38,2 e a mesma foi dimensionada. O relatório não deixa claro como as tolerâncias de posição foram calculadas, pois o mesmo mostra somente o valor dimensionado.

**Tabela 13 - Dados 03 do resultado da medição do fornecedor**

Item	Elemento	Nominal	Modo de medição	Limite Inf.	Limite Sup.	Medido
22	Posição de 0,4 em relação à B C	0,000	MMC	0,000	0,400	0,460
23	Cota de 38,2	38,200	MMC	Cota básica		37,960
24	Planicidade 0,2	0,000	MMC	0,000	0,200	0,090
30	Diâmetro 6,2 +0,05 -0,15	6,200	MMC	6,050	6,250	6,200
31	Posição de 0,2 em relação à A C E	0,000	MMC	0,000	0,200	0,340
33	Posição 0,4 em relação à A B E	0,000	MMC	0,000	0,400	0,310
35	Diâmetro 5,2 +0,05 -0,15 furo 01	5,200	MMC	5,050	5,250	5,150
38	Posição de 0,3 em relação à B C furo 01	0,000	MMC	0,000	0,300	0,290
41	Cota de 15,5 ± 0,2 dimensão 1	15,500	MMC	15,300	15,700	15,550
43	Diâmetro 10,3 +0,05 -0,15 (1)	10,300	MMC	10,150	10,350	10,280
49	Posição 0,3 em relação à B C (1)	0,000	MMC	0,000	0,300	0,160
55	Planicidade 0,4	0,000	MMC	0,000	0,400	0,190

Para melhorar o controle dessa peça foi feito o projeto de um dispositivo de controle para verificar principalmente o diâmetro dos furos e a posição desses elementos na peça, a figura 57 abaixo mostra este esse dispositivo.



Figura 57- Projeto de um gabarito de controle para a peça 01 (Fonte não autorizada)

#### 4.3.3 Resultado da medição da matriz da empresa na Europa

Para a verificação da conformidade da peça produzida pela matriz da empresa na Europa, utilizam-se vários calibres, ficando poucas cotas a serem dimensionadas na máquina de medição por coordenadas. As dimensões mensuradas bem como o modo de medição são descritos abaixo.

A empresa matriz na Europa enviou a estratégia de medição da peça, nela estão numerados os elementos que devem ser controlados, bem como o modo de medição, que pode ser um calibre passa-não passa, um gabarito ou a máquina de

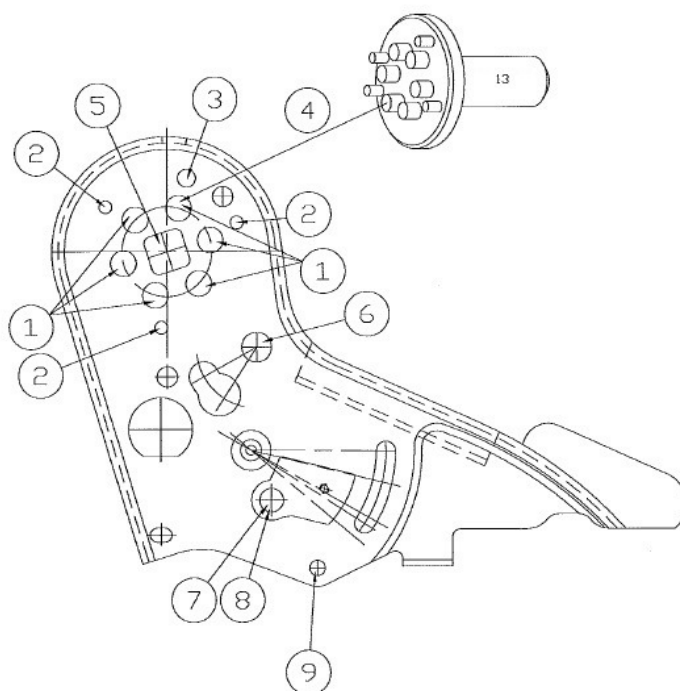
medição por coordenadas. Esse documento apresenta também desenhos da peça mostrando a numeração do item que está sendo controlado, o que auxilia e melhora o entendimento do metrologista ou de qualquer pessoa que esteja analisando o relatório.

Na tabela 14, tem-se a descrição dos itens que são controlados na primeira folha do modo de medição, a figura 58 é o desenho do esquema de verificação da peça que mostra os itens controlados bem como o calibre 13.

Para o controle de todas as características são utilizados calibres, na sua maioria calibres do tipo passa-não passa para controlar o diâmetro dos furos, como por exemplo o calibre 30 mostrado na figura 59. O destaque é o calibre 13, mostrado na figura 60, que controla dez tolerâncias de posição sendo seis delas tolerância de máximo material dos furos de diâmetro 10,3 mm. Essas tolerâncias de posição devem garantir a correta montagem de uma contra-peça no processo.

**Tabela 14 – Folha 01 da estratégia de medição da peça similar à 01 na matriz na Europa**

Item	Elemento	Nominal	Modo de medição	Limite Inf.	Limite Sup.	OK / NOK
1	Diâmetro 10,3 +0,1 (6X)	10,300	Cálibre passa - não passa 03	10,300	10,400	OK
2	Diâmetro 5,2 +0,05 -0,15 (3X)	5,200	Cálibre passa - não passa 34	5,050	5,250	OK
3	Diâmetro 7,2 +0,05 -0,15	7,200	Cálibre passa - não passa 33	7,050	7,250	OK
4	Tolerância de posição 0,1 MMC dos 6 furos de diâmetro 10,3	10,300	Cálibre 13	10,050	10,650	OK
	Tolerância de posição 0,5 dos 3 furos de diâmetro 5,2	0,000	Cálibre 13	0,000	0,500	OK
	Tolerância de posição 0,5 do furo de diâmetro 7,2	0,000	Cálibre 13	0,000	0,500	OK
5	Controle do quadrado de 15,0 +1,0	15,000	Cálibre passa - não passa 11	15,000	16,000	OK
6	Diâmetro 12,2 +0,05 -0,15	12,000	Cálibre passa - não passa 04	11,850	12,050	OK
7	Diâmetro 6,2 +0,05 -0,15	9,500	Cálibre passa - não passa 24	9,370	9,570	OK
8	Tolerância de posição 0,4 do furo de diâmetro 9,5	0,000	Cálibre 30	0,000	0,400	OK
9	Diâmetro 6,2 +0,05 -0,15	6,200	Cálibre passa - não passa 07A	6,050	6,250	OK



**Figura 58 - Esquema de verificação da peça similar a 01 na matriz na Europa - folha 01  
(Fonte não autorizada)**



**Figura 59 - Foto do calibre 30  
(Fonte não autorizada)**

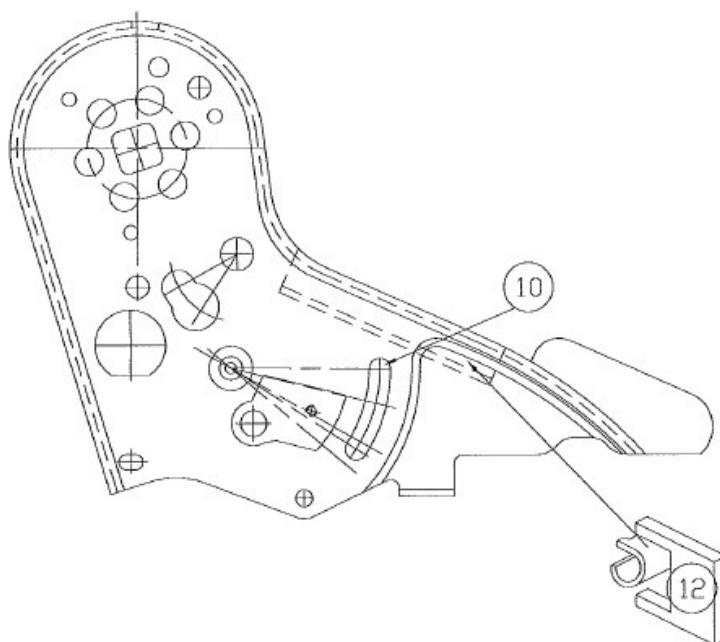


**Figura 60 - Foto do calibre 13  
(Fonte não autorizada)**

Na tabela 15 tem-se a verificação de mais três elementos com o uso dos calíbrs 25, 26 e 17, sendo que o desenho do calibre 17 encontra-se no esquema de verificação da peça mostrado na figura 61. A figura 62 e figura 63 mostram os calíbrs 26 e 17 respectivamente.

**Tabela 15 - Folha 02 da estratégia de medição da peça similar à 01 na matriz na Europa**

Item	Elemento	Nominal	Modo de medição	Limite Inf.	Limite Sup.	OK / NOK
10	Raio $3,9 \pm 0,2$	3,900	Cálibre passa - não passa 25	3,700	4,100	OK
11	Tolerância de forma 0,4 do oblongo	0,000	Cálibre 26	0,000	0,400	OK
12	Raio máximo 16,0	-	Cálibre 17	0,000	16,000	OK



**Figura 61 - Esquema de verificação da peça similar a 01 na matriz na Europa - folha 02 (Fonte não autorizada)**



**Figura 62 - Foto do cálibre 26 (Fonte não autorizada)**

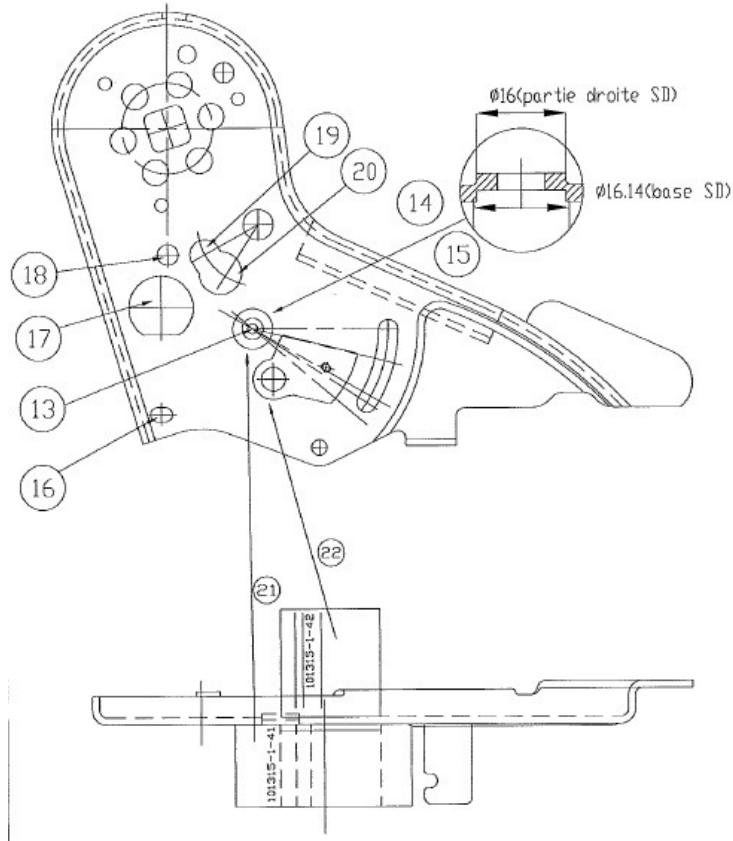


**Figura 63 - Foto do cálibre 17 (Fonte não autorizada)**

Na terceira folha da estratégia de medição são controlados mais dez itens, na sua maioria diâmetros de furos, nessa etapa verificam-se os itens 14, 15, 21 e 22, sendo eles itens importantes para a funcionalidade da peça e que são medidos através de calibre. O desenho mostrado na figura 64 apresenta a informação dessas cotas, bem como o calibre utilizado. Na tabela 16 tem-se os elementos verificados nessa etapa.

**Tabela 16 - Folha 03 da estratégia de medição da peça similar à 01 na matriz na Europa**

Item	Elemento	Nominal	Modo de medição	Limite Inf.	Limite Sup.	OK / NOK
13	Diâmetro 8,5 +0,05 -0,15	8,500	Cálibre passa - não passa 06A	8,350	8,550	OK
14	Diâmetro 16,0 +0,025	16,000	Cálibre 12A	16,000	16,025	OK
15	Diâmetro 16,14 +0,025	16,140	Cálibre 12A	16,140	16,165	OK
16	Oblongo (5,7 X 7,7) +0,05 -0,15	5,700	Cálibre passa - não passa 05	5,550	5,750	OK
		7,700		7,550	5,750	OK
17	Diâmetro 25,5 +0,25 -0,05	25,500	Cálibre passa - não passa 02A	25,450	25,750	OK
18	Diâmetro 8,2 ±0,2	8,200	Cálibre passa - não passa 23	8,000	8,400	OK
19	Diâmetro 12,5 +0,05 -0,15	12,500	Cálibre passa - não passa 09A	12,350	12,550	OK
20	Ângulo 21°48' ±30'	21°48'	Cálibre passa - não passa 14	21°18'	22°18'	OK
21	Dimensão 2,0 +0,1	2,000	Gabarito 101315-1	2,000	3,000	OK
22	Dimensão 2,55 +0,15 -0,05	2,550		2,500	2,700	OK

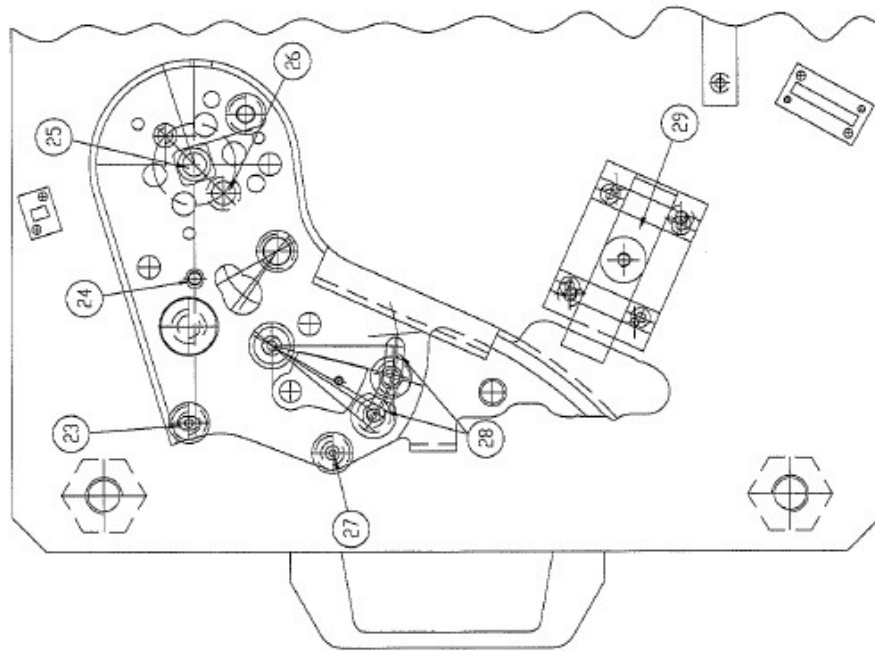


**Figura 64 - Esquema de verificação da peça similar a 01 na matriz na Europa - folha 03 (Fonte não autorizada)**

Na tabela 17 verifica-se que a maioria dos controles é feito pelo gabarito 101310-1 mostrado na figura 65 e figura 66, alguns itens já dimensionados anteriormente são utilizados para posicionar a peça e a partir desse posicionamento os demais elementos são controlados.

**Tabela 17 - Folha 04 da estratégia de medição da peça similar à 01 na matriz na Europa**

Item	Elemento	Nominal	Modo de medição	Limite Inf.	Limite Sup.	OK / NOK
23	Presença oblongo 5,7 X 7,7	-	Gabarito 101310-1	-	-	OK
24	Presença do furo diâmetro 8,2	-	Gabarito 101310-1	-	-	OK
25	Tolerância de posição 0,4 em relação à B do quadrado de 15	0,000	Gabarito 101310-1	0,000	0,400	OK
26	Tolerância de posição 0,1 MMC dos 6 furos de diâmetro 10,3	10,300	Gabarito 101310-1	10,050	10,650	OK
27	Tolerância de posição 0,4 em relação à A E C (diâmetro 6,2)	0,000	Gabarito 101310-1	0,000	0,400	OK
28	Ângulo 29°30' ±30'	29°30'	Gabarito 101310-1	29°00'	30°00'	OK
29	Dimensão 14,5 ± 0,5	14,500	Gabarito 101310-1	14,000	15,000	OK



**Figura 65 - Esquema de verificação da peça similar a 01 na matriz na Europa - folha 04 (Fonte não autorizada)**

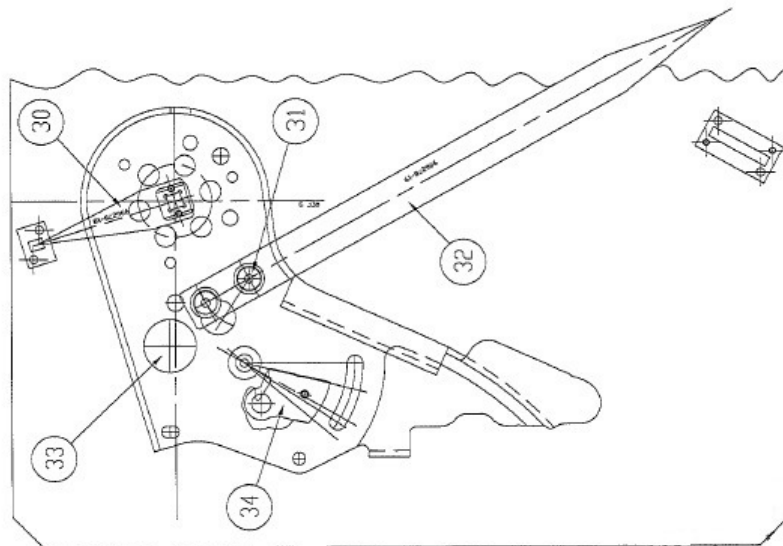


**Figura 66 - Foto do gabarito 101310-1 (Fonte não autorizada)**

A folha 05 da estratégia de medição é continuação da folha 04, além do controle feito no gabarito 101310-1, utilizam-se cálibres para a verificação de três ângulos presentes na peça. Os itens verificados, o esquema de verificação e as fotos dos cálibres 18 e 19 encontram-se na tabela 18, figura 67, figura 68 e figura 69 respectivamente.

**Tabela 18 - Folha 05 da estratégia de medição da peça similar à 01 na matriz na Europa**

Item	Elemento	Nominal	Modo de medição	Limite Inf.	Limite Sup.	OK / NOK
30	Ângulo 17°30' ±2°	17°30'	Cálibre 18	15°30'	19°30'	OK
31	Tolerância de posição 0,4 em relação à A B C (diâmetro 12,2)	0,000	Gabarito 101310-1	0,000	0,400	OK
32	Ângulo 29°24' ±30'	29°24'	Cálibre 19	28°54'	29°54'	OK
33	Diâmetro 25,5 +0,25 -0,05	25,500	Gabarito 101310-1	25,450	25,750	OK
34	Ângulo 29°42' ±30'	29°42'	Cálibre 27	29°12'	30°12'	OK



**Figura 67 - Esquema de verificação da peça similar a 01 na matriz na Europa - folha 05 (Fonte não autorizada)**



**Figura 68 - Foto do cálibre 18 (Fonte não autorizada)**



**Figura 69 - Foto do cálibre 19 (Fonte não autorizada)**

A última etapa de verificação da peça é realizada na máquina de medição por coordenadas, para isso é utilizada uma base para apoiar e localizar a peça, essa pode ser vista na figura 71. Quatro elementos são medidos, o primeiro deles é a planicidade de 0,4. Na figura 70 tem-se o esquema de verificação da peça, para a medição em MMC esse desenho é bastante útil, pois nele pode-se verificar a localização dos pontos em que o apalpador da máquina deve encostar na peça e que a quantidade de pontos medidos são oito. Como a tolerância de planicidade refere-se ao próprio elemento que está sendo tolerado o próprio programa da MMC calculou a diferença máxima entre os pontos e mostrou o resultado para a planicidade.

Para a verificação da altura máxima de 3,1 mm a estratégia de medição solicita que sejam medidos quatro pontos distintos e a peça estará conforme se nenhuma das medições ultrapassar o valor de 3,1 mm. O item 42 e o item 43 são dimensionados da mesma maneira e se alguns dos pontos estiver fora do especificado o elemento estará não conforme no relatório dimensional.

A medição de concentricidade é realizada levando-se em consideração as diferenças de posições de um elemento em relação ao outro nos eixos coordenados x e y. A diferença de concentricidade é duas vezes a hipotenusa do triângulo retângulo formado pelos valores encontrados nos eixos x e y e o resultado está mostrado na tabela 19.

Tabela 19 - Folha 06 da estratégia de medição da peça similar à 01 na matriz na Europa

Item	Elemento	Nominal	Modo de medição	Limite Inf.	Limite Sup.	Medido
40	Planicidade 0,4	0,000	MMC	0,000	0,400	0,165
41	Altura máxima 3,1 (ponto B)	-	MMC	0,000	3,100	2,860
	Altura máxima 3,1 (ponto C)	-	MMC	0,000	3,100	2,827
	Altura máxima 3,1 (ponto D)	-	MMC	0,000	3,100	2,854
	Altura máxima 3,1 (ponto E)	-	MMC	0,000	3,100	2,951
42	Profundidade 2,55 +0,15 -0,05 (ponto A)	2,550	MMC	2,500	2,700	2,695
	Profundidade 2,55 +0,15 -0,05 (ponto B)	2,550	MMC	2,500	2,700	2,534
	Profundidade 2,55 +0,15 -0,05 (ponto C)	2,550	MMC	2,500	2,700	2,666
	Profundidade 2,55 +0,15 -0,05 (ponto D)	2,550	MMC	2,500	2,700	2,704
	Profundidade 2,55 +0,15 -0,05 (ponto E)	2,550	MMC	2,500	2,700	2,733
43	Dimensão 2,0 +0,1 (ponto A)	2,000	MMC	2,000	2,100	1,990
	Dimensão 2,0 +0,1 (ponto B)	2,000	MMC	2,000	2,100	2,026
	Dimensão 2,0 +0,1 (ponto C)	2,000	MMC	2,000	2,100	1,986
	Dimensão 2,0 +0,1 (ponto D)	2,000	MMC	2,000	2,100	1,996
44	Concentricidade 1,4 em relação à E (eixo X)	0,000	MMC	0,000	1,400	0,036
	Concentricidade 1,4 em relação à E (eixo Y)	0,000	MMC	0,000	1,400	0,098
	Concentricidade 1,4 em relação à E (hipotenusa)	0,000	MMC	0,000	1,400	0,208

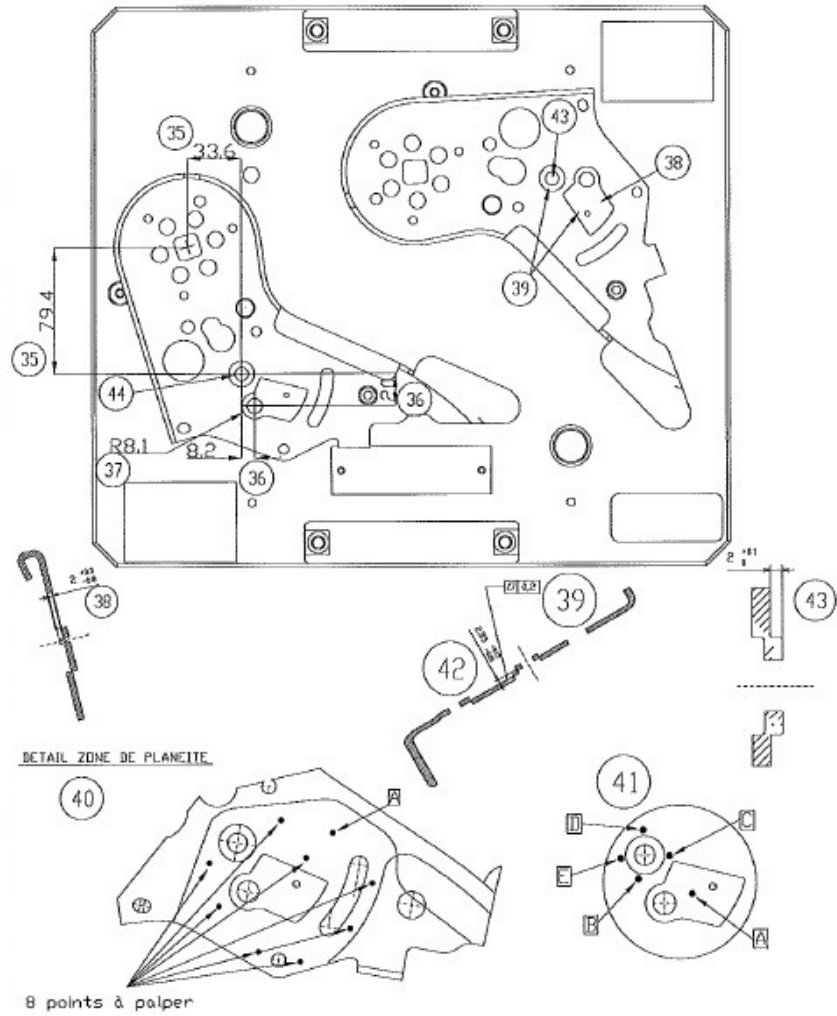


Figura 70 - Esquema de verificação da peça similar a 01 na matriz na Europa - folha 06  
(Fonte não autorizada)



Figura 71 - Foto da base utilizada para apoiar a peça 01 para medição na MMC (Fonte não autorizada)

## 4.4 Erros verificados

As medições foram solicitadas pela aluna às empresas envolvidas e não houve nenhuma modificação nos resultados acima apresentados, por esse motivo erros ocorreram nas estratégias de medição e serão discutidos nos itens: 4.4.1; 4.4.2 e 4.4.3 abaixo.

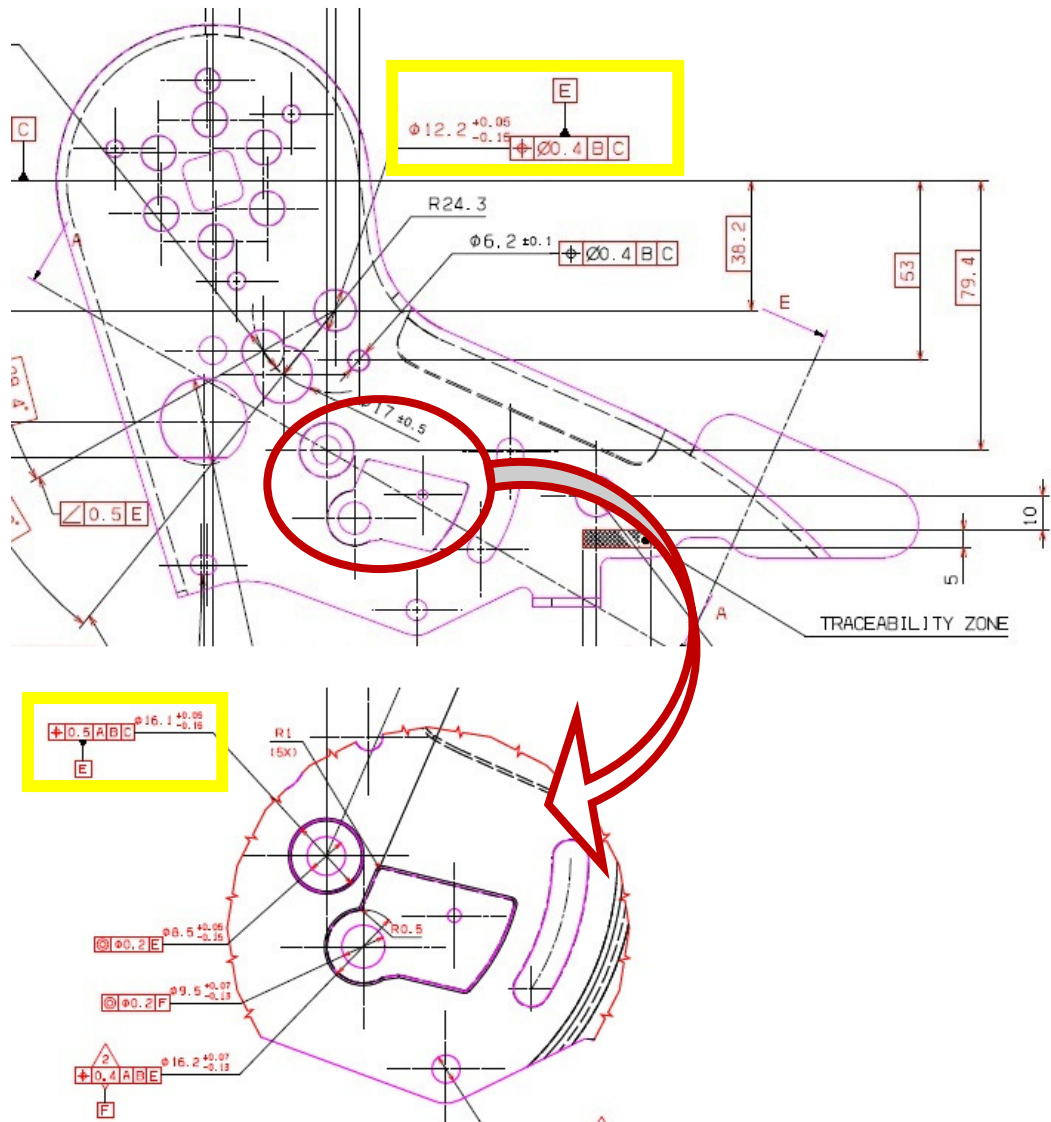
### 4.4.1 Na concepção do desenho

A boa prática e uso do *GD&T* tem seu início na concepção do desenho, e alguns erros foram encontrados, o que prejudicou muito a interpretação do mesmo visto que o desenho é a linguagem principal entre o cliente e o fornecedor.

Para a análise do desenho cabe aqui uma observação sobre o desenho criado no Brasil, que serve tanto para a peça 01 quanto para a sua peça espelho que também é utilizada pela empresa, a peça mostrada no desenho é a peça espelhada. Por esse motivo sempre que o desenho for olhado deve-se considerar a peça 01 como a peça espelho da mostrada no desenho.

Na figura 72 tem-se uma vista da peça e um detalhe dessa vista, dentro dos quadros amarelos tem-se que primeiramente que o *datum* E é o centro do furo de diâmetro 12,2; mas no detalhe do desenho o *datum* E também é o centro do ressalto de diâmetro 16,1mm. Dessa maneira conclui-se que o desenho está errado, pois apresenta dois elementos de referência E.

Este erro implica em não se ter certeza se os elementos tolerados em relação a essa referência estão corretos ou não. Não pode-se afirmar que as tolerâncias geométricas foram calculadas em relação ao datum ou em relação ao elemento.



**Figura 72 - Desenho da peça 01 com dois elementos de referência E (Fonte não autorizada)**

Outro erro é a definição das tolerâncias de posição dos furos, como pode ser visto na figura 73 a tolerância de posição de alguns furos não está aplicada ao diâmetro, como esses furos serão utilizados para montagem de contra-peças o correto é a aplicação da tolerância de posição sobre o diâmetro.

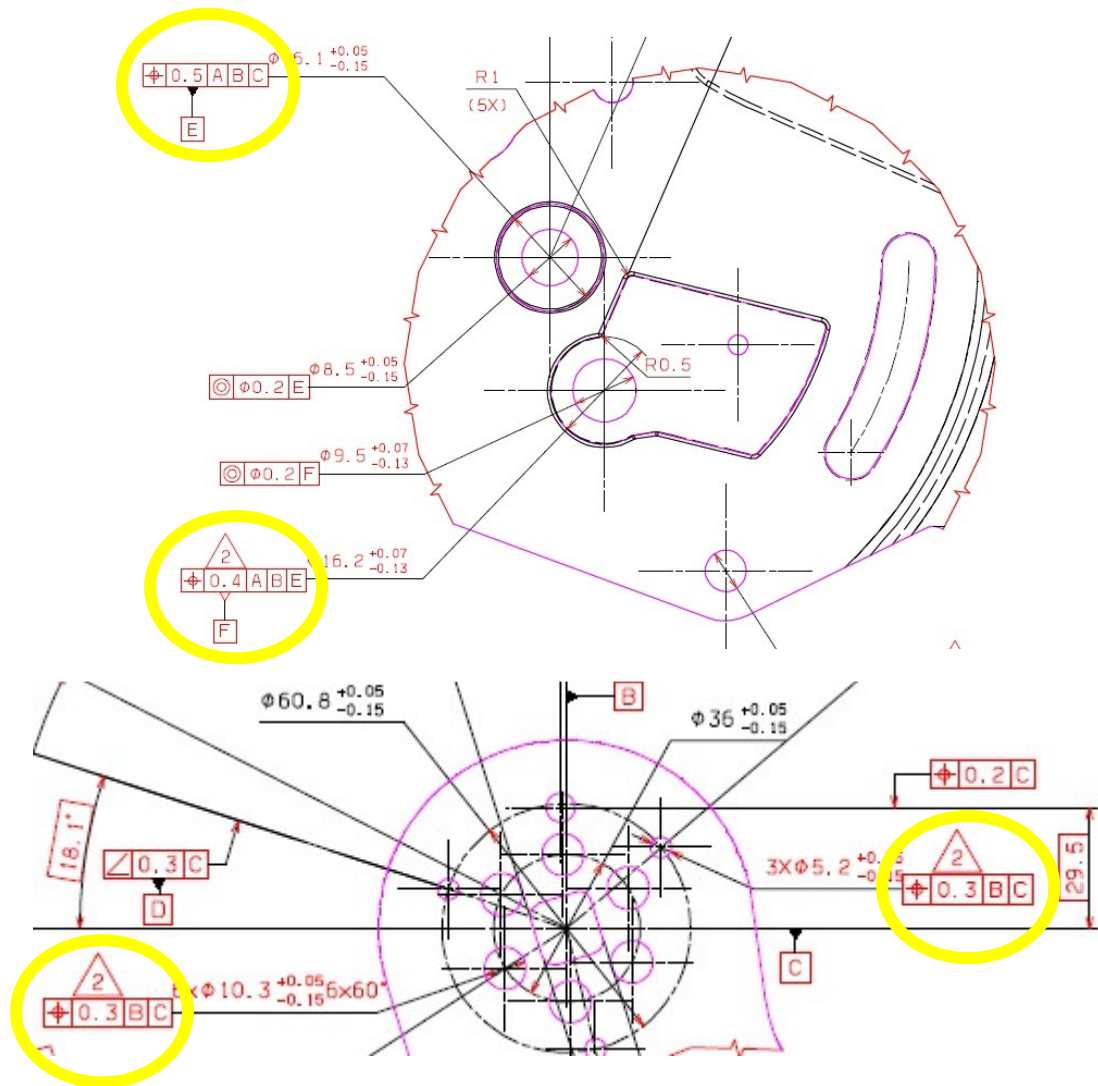
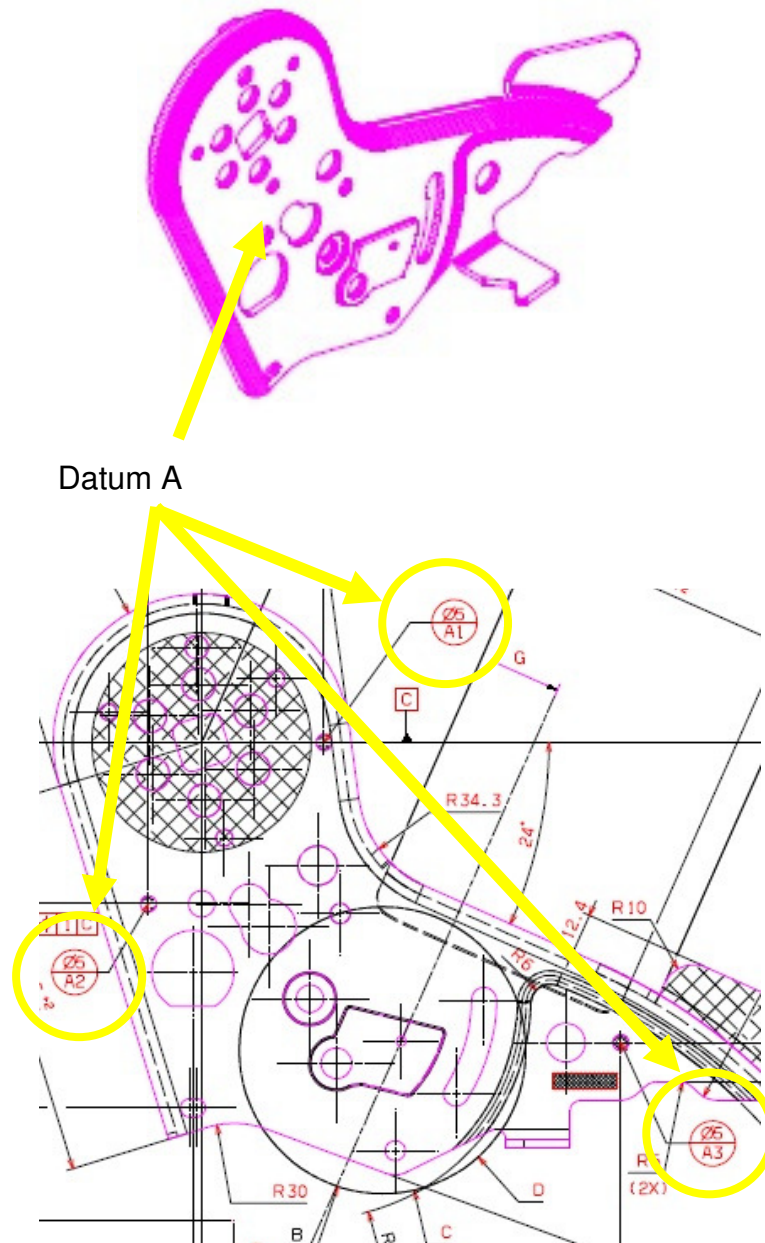


Figura 73 - Tolerância de posição de furos sem a tolerância aplicada ao diâmetro (Fonte não autorizada)

#### 4.4.2 Na empresa base de estudo

O primeiro erro observado na estratégia de medição da empresa é a interpretação do *datum* A, como pode ser observado na Figura 74 o *datum* A é definido na superfície exterior da peça, um dos princípios do dimensionamento geométrico e toleranciamento é a construção de cálibres funcionais que simulem a montagem das peças. Desse modo a peça seria apoiada em um dispositivo pela superfície externa, e a superfície interna ficaria livre para que as medições fossem realizadas. Como a peça está sendo medida em uma máquina de medição por coordenadas e não possui um gabarito para apoiá-la e prendê-la, o metrologista definiu o *datum* A na superfície interna e prosseguiu com a medição. Um ponto não

observado por ele foi a existência de dois elementos de referência E que no relatório não se sabe ao certo que *datum* realmente foi utilizado na medição.



**Figura 74 - Definição do Datum A (Fonte não autorizada)**

A seqüência de referenciamento não segue a seqüência estabelecida pelos elementos de referência, os pontos são adquiridos aleatoriamente e aparecem numa ordem diferente da encontrada no relatório dimensional, o que dificulta a

interpretação dos dados adquiridos. Há uma diferença na apresentação dos valores encontrados para o dimensionamento geométrico e toleranciamento de posição, alguns itens mostram como o cálculo foi realizado na MMC, a tolerância de posição deve ser calculada a partir das cotas básicas, o desvio encontrado em cada um dos eixos forma um lado de um triângulo, e o desvio da posição é igual a duas vezes a hipotenusa desse triângulo. Isso porque a tolerância é aplicada ao diâmetro do elemento. Mas alguns elementos dimensionados não deixam claro essa seqüência de cálculo e os elementos 15, 16 e 17 não tiveram a posição calculada, a tolerância de posição de 0,3 foi transformada em uma tolerância cartesiana de  $\pm 0,15$ .

#### 4.4.3 No fornecedor

O erro principal encontrado na medição realizada pelo fornecedor foi quanto ao posicionamento da peça para medição, apesar de o referenciamento da peça pelo *datum* A ter sido feito corretamente, todos os pontos foram adquiridos na superfície externa da peça. As duas tolerâncias de planicidade mostradas na figura 75, no desenho aparecem como sendo na face interna da peça, mas o fornecedor adquiriu os pontos da face externa, o que ocasionou uma divergência de resultados entre o dimensionamento realizado pelo cliente e o realizado pelo fornecedor.

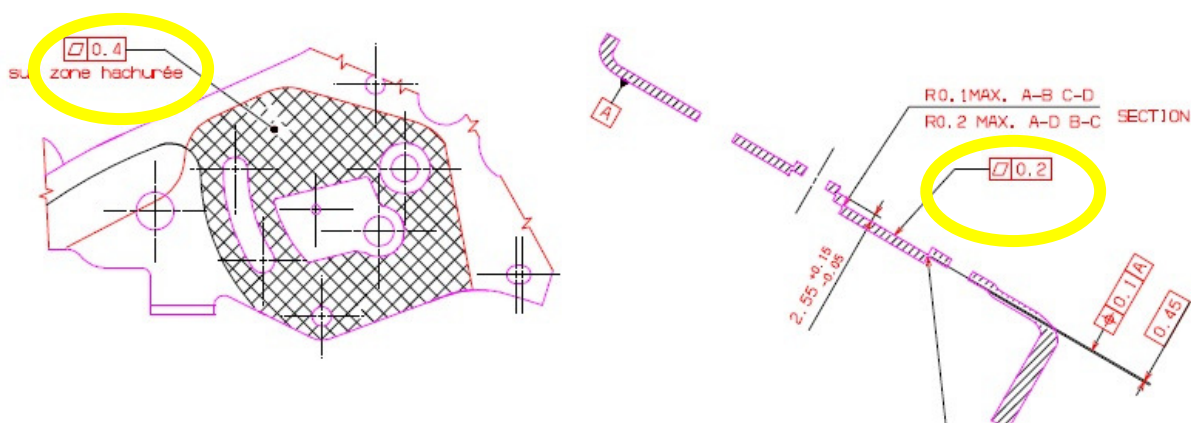


Figura 75 – Tolerâncias de planicidade (Fonte não autorizada)

No relatório dimensional realizado em máquina de medição por coordenadas a seqüência de referenciamento dos elementos de referência não foi seguida, uma

cota básica foi medida e seu valor foi apresentado no relatório sem estar ligado a nenhuma tolerância de posição. O dimensionamento geométrico e toleranciamento de posição não está claro nem na estratégia de medição nem no relatório, pois o mesmo só apresenta o valor final encontrado.

#### 4.5 Comparação entre os resultados de medição

Primeiramente pode-se comparar o desenho da peça similar utilizada na empresa matriz na Europa com o desenho utilizado no Brasil. Todos os furos possuem tolerância de posição aplicada ao diâmetro, e as dimensões são mais bem definidas, o que diminui a probabilidade de interpretações errôneas. Outro ponto interessante é a utilização do modificador de máximo material para os seis furos de diâmetro 10,3 conforme mostra a figura 76, o que possibilita a construção do calibre 13 mostrado na figura 60.

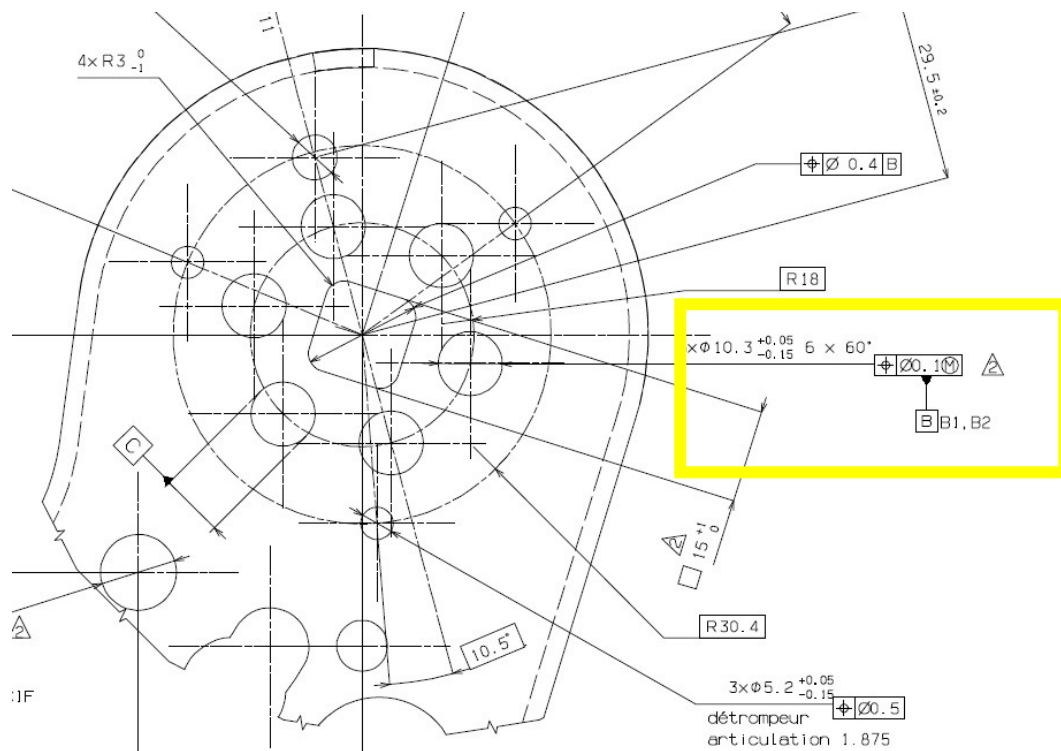


Figura 76 - Indicação no desenho da tolerância de posição 0,1 mm MMC (Fonte não autorizada)

Quanto as estratégias de medição verifica-se que na empresa matriz na Europa o conceito de cálibres funcionais que simulem a montagem e aplicação da peça é bem utilizado, a maioria das dimensões são controladas utilizando esses cálibres como pode ser visto no item 4.3.3. Outro ponto forte dessa estratégia é a utilização de um roteiro o qual enumera os controles que devem ser feitos, o mesmo mostra quais as dimensões que estão sendo controladas, onde elas estão na peça e quais os meios de controle que devem ser utilizados. No fornecedor utilizam-se somente alguns cálibres do tipo passa não passa para verificação de furos e alguns instrumentos mais simples como altímetro e apalpador. A figura 57 mostra o projeto de um gabarito de controle para verificação da peça 01, mas o mesmo ainda não foi manufaturado devido a sua complexidade.

Nem o fornecedor nem a empresa no Brasil possuem um roteiro de medição para a peça, o que os dois possuem é um programa elaborado pelo metrologista na máquina de medição por coordenadas.

O ponto mais discrepante encontrado nas medições realizadas pelo fornecedor e pelo cliente está na definição do *datum A* e aquisição dos pontos. No fornecedor a peça é apoiada pela superfície interna deixando a superfície externa, onde se encontra o *datum A*, livre para medição. No cliente a peça é apoiada pela superfície externa, *datum A*, deixando a superfície interna livre para medição. Isso gera uma diferença nos pontos adquiridos, pois no fornecedor os pontos adquiridos estão na superfície externa e no cliente estão na superfície interna. Essa diferença dá-se principalmente nas medições das planicidades de 0,2 e 0,4 que são definidas na superfície interna da peça e assim são medidas pelo cliente, e no fornecedor são medidas na superfície oposta.

Outra diferença está na medição da tolerância de posição do dimensionamento geométrico e toleranciamento, o fornecedor somente apresenta o valor final da medição e não fica claro como o valor é calculado. Na medição da matriz da empresa na Europa é possível entender como a posição é calculada e esse mesmo princípio é utilizado em alguns dimensionamentos, excluindo-se os itens 15, 16 e 17 do relatório da empresa. Por esse motivo os elementos que apresentam maior discrepância de valores entre o resultado do fornecedor e o da empresa são as tolerâncias de posição conforme pode ser visto na tabela 20.

**Tabela 20- Tabela comparativa dos valores encontrados no relatório do fornecedor e no relatório do cliente**

Elemento	Nominal	Limite Inf.	Limite Sup.	Fornecedor	Cliente
Diâmetro 12,2 +0,05 -0,15	12,200	12,050	12,250	12,330	12,195
Planicidade 0,2	0,200	0,000	0,200	0,110	0,177
Dimensão 2,55 +0,15 -0,05	2,550	2,500	2,700	2,580	2,661
Dimensão 2,0 +0,1	2,000	2,000	2,100	1,900	1,881
Posição de 0,4 em relação à B C	0,000	0,000	0,400	0,460	0,207
Cota de 38,2	38,200	Cota básica		37,960	38,101
Dimensão de 52,6 ± 0,1	52,600	52,500	52,700	52,570	52,612
Dimensão de 51,0 ± 0,1	51,000	50,900	51,100	51,10	51,038
Diâmetro 6,2 +0,05 -0,15	6,200	6,050	6,250	6,200	6,185
Posição de 0,2 em relação à A C E	0,000	0,000	0,200	0,340	0,176
Diâmetro 16,2 +0,07 -0,13	16,200	16,070	16,270	16,210	16,141
Posição 0,4 em relação à A B E	0,000	0,000	0,400	0,310	0,109
Diâmetro 60,8 +0,05 -0,15	60,800	60,650	60,850	60,770	60,820
Diâmetro 5,2 +0,05 -0,15 furo 01	5,200	5,050	5,250	5,150	5,179
Diâmetro 5,2 +0,05 -0,15 furo 02	5,200	5,050	5,250	5,100	5,164
Diâmetro 5,2 +0,05 -0,15 furo 03	5,200	5,050	5,250	5,120	5,177
Posição de 0,3 em relação à B C furo 01	0,000	0,000	0,300	0,290	0,231
Posição de 0,3 em relação à B C furo 02	0,000	0,000	0,300	0,340	0,257
Angularidade 0,3 em relação à C furo 03	0,000	0,000	0,300	0,160	0,204
Cota de 15,5 ± 0,2 dimensão 1	15,500	15,300	15,700	15,550	15,650
Cota de 15,5 ± 0,2 dimensão 2	15,500	15,300	15,700	15,650	15,650
Diâmetro 10,3 +0,05 -0,15 (1)	10,300	10,150	10,350	10,280	10,287
Diâmetro 10,3 +0,05 -0,15 (2)	10,300	10,150	10,350	10,310	10,291
Diâmetro 10,3 +0,05 -0,15 (3)	10,300	10,150	10,350	10,240	10,277
Diâmetro 10,3 +0,05 -0,15 (4)	10,300	10,150	10,350	10,220	10,273
Diâmetro 10,3 +0,05 -0,15 (5)	10,300	10,150	10,350	10,260	10,286
Diâmetro 10,3 +0,05 -0,15 (6)	10,300	10,150	10,350	10,250	10,279
Posição 0,3 em relação à B C (1)	0,000	0,000	0,300	0,160	0,473
Posição 0,3 em relação à B C (2)	0,000	0,000	0,300	0,110	0,436
Posição 0,3 em relação à B C (3)	0,000	0,000	0,300	0,120	0,452
Posição 0,3 em relação à B C (4)	0,000	0,000	0,300	0,150	0,460
Posição 0,3 em relação à B C (5)	0,000	0,000	0,300	0,100	0,399
Posição 0,3 em relação à B C (6)	0,000	0,000	0,300	0,110	0,423
Planicidade 0,4	0,000	0,000	0,400	0,190	0,115



A estratégia inicia-se com a definição do posicionamento da peça e definição do *datum* A, como no desenho esse *datum* foi concebido como um apoio para a verificação da peça e o correto seria a confecção de um dispositivo para auxiliar a medição, antes de prender a peça no prisma magnético, devem-se adquirir os três pontos que formarão esse *datum* diretamente da base do prisma, pois esse será o *datum* primário de apoio da peça.

Define-se o centro do quadrado de lado 15,5 utilizando-se oito pontos, sendo dois para a definição de cada um dos lados. Define-se o centro do furo 8,5 com a aquisição de quatro pontos. A reta formada por esses dois centros define o *datum* B. E por fim a linha de centro do quadrado 15,5 no eixo x define o *datum* C.

Para a medição de furos devem-se adquirir sempre quatro pontos, após o posicionamento da peça e a definição da quantidade de pontos a ser adquirida para a definição dos elementos, inicia-se a medição respeitando a seqüência mostrada a seguir:

1. Adquirem-se os pontos do furo de diâmetro 12,2. Com a aquisição desses pontos calcula-se o diâmetro, o posicionamento de 0,4 em relação à B C e define-se o *datum* E.
2. Adquirem-se os pontos do furo de diâmetro 6,2. Com a aquisição desses pontos calcula-se o diâmetro e o posicionamento de 0,4 em relação à B C.
3. Adquirem-se os pontos do furo de diâmetro 12,0. Com a aquisição desses pontos calcula-se o diâmetro e o posicionamento de 0,4 em relação à B C.
4. Adquirem-se os pontos do furo de diâmetro 25,5. Com a aquisição desses pontos calcula-se o diâmetro do elemento.
5. Adquirem-se os pontos do furo de diâmetro 17,0. Com a aquisição desses pontos e dos pontos adquiridos no item 1, calcula-se a angularidade de 0,5 em relação à E.
6. Adquirem-se os pontos do oblongo 5,7 X 7,7. Com a aquisição desses pontos calculam-se as duas dimensões e o posicionamento de 1,0 em relação à B C.

7. Adquirem-se os pontos do furo de diâmetro 16,1. Com a aquisição desses pontos calcula-se o diâmetro, o posicionamento de 0,5 em relação à B C e define-se o *datum* F.
8. Adquirem-se os pontos do furo de diâmetro 8,5. Com esses pontos calcula-se o diâmetro, e a tolerância de concentricidade de 0,2 em relação à F.
9. Adquirem-se os pontos do furo de diâmetro 16,2. Com a aquisição desses pontos calcula-se o diâmetro, o posicionamento de 0,4 em relação a A B E e define-se o *datum* G.
10. Adquirem-se os pontos do furo de diâmetro 9,5. Com a aquisição desses pontos calcula-se o diâmetro, e a tolerância de concentricidade de 0,2 em relação à G.
11. Adquirem-se os pontos do furo de diâmetro 6,2. Com esses pontos calcula-se o diâmetro e o posicionamento de 0,2 em relação a A C E.
12. Adquirem-se os pontos da região do sorriso, são adquiridos oito pontos, sendo quatro para cada semi-círculo. Com os pontos adquiridos no item 7 calculam-se as dimensões 52,6 e 51,0.
13. Adquirem-se quatro pontos na superfície do ressalto de diâmetro 16,1. Com a aquisição desses pontos calcula-se a dimensão de 2,0 e a tolerância de perpendicularidade de 0,3.
14. Adquirem-se seis pontos na região do rebaixo. Com esses pontos calcula-se a planicidade de 0,2.
15. Adquirem-se dois pontos do lado do quadrado de 15,5. Com esses pontos calcula-se a angularidade de 0,3 em relação à B.
16. Adquirem-se os pontos dos seis furos de diâmetro 10,3. Com esses pontos calculam-se o diâmetro de 60,8; os seis diâmetros e as seis tolerâncias de posição de 0,3 em relação à B C.
17. Adquirem-se oito pontos do quadrado de 15,5, sendo dois para a definição de cada um dos lados. Com esses pontos calculam-se as duas dimensões de 15,5.
18. Adquirem-se os pontos dos três furos de diâmetro 5,3. Com esses pontos calculam-se os três diâmetros, as três tolerâncias de posição de 0,3 em relação à B C, e as angularidades em relação a C e D.
19. Adquirem-se 11 pontos na região de planicidade 0,4. Com esses pontos calcula-se a planicidade de 0,4.

## 5 CONCLUSÕES

Conforme a pesquisa realizada e estudo apresentado nesse trabalho de conclusão de curso, pode-se ter mais conhecimento sobre o dimensionamento geométrico e toleranciamento, tema esse bastante discutido e utilizado na empresa que serviu de base para o estudo. Pode-se verificar que existem erros na definição do desenho e que esses erros podem levar a interpretações erradas, principalmente no fornecedor que somente realiza o processo de estampagem da peça e não conhece a aplicação da mesma. Sendo que esse tipo de acontecimento vem na contra mão do que é proposto pelo *GD&T*, uma linguagem clara, bem definida que leva em consideração a montagem da peça na verificação das dimensões, diminuindo assim a quantidade de peças rejeitadas.

Pode-se aprofundar o conhecimento em metrologia, especificamente em medição utilizando máquina de medição por coordenadas, pois o dimensionamento geométrico e toleranciamento foi concebido com o intuito de se utilizar cálibres e gabaritos funcionais e quando essas tolerâncias devem ser verificadas em MMC o conhecimento do metrologista é fundamental para que a medição seja corretamente feita.

Com a aquisição de dados de três fontes diferentes pode-se observar que o conhecimento de *GD&T* que a empresa base de estudo e o fornecedor possuem não são suficientes para desenvolver, produzir e controlar peças estampadas que possuem o dimensionamento geométrico e toleranciamento em seus desenhos. O desenho apresenta alguns erros, os metrologistas o interpretaram de maneiras diferentes e, por conseguinte o referenciamento e a aquisição de pontos foi diferente, o que gera dúvida e discussão na aprovação da peça.

Para corrigir esse tipo de problema a empresa base de estudo está tentando construir dispositivos para controle da peça, mas como foi visto o dispositivo projetado é muito complexo e dificilmente sai do papel devido à quantidade de dimensões que se pretende controlar em um único gabarito. Com as informações recebidas da empresa matriz na França, pode-se verificar que a metodologia de trabalho é diferente e deve ser seguida, a utilização de um roteiro de inspeção que mostre os elementos que são controlados e como eles são controlados auxilia e

padroniza o trabalho de verificação da conformidade da peça. Outro ponto de destaque percebido na estratégia de medição da empresa matriz na França e que deve ser copiado é a construção de pequenos gabaritos para controle de conjuntos de elementos que têm dependência entre si e não a utilização um gabarito que controle a máxima quantidade de elementos possível como está sendo difundido na empresa base de estudo.

A aprovação das peças de fornecedores na empresa base de estudo é realizada através da análise da documentação de PPAP (*Production Part Approval Process*, processo de aprovação de peças de produção) nele apresentam-se alguns documentos, entre eles o relatório dimensional da peça, muitas peças são aprovadas tendo-se como base somente esse relatório e em nenhum momento a estratégia de medição é verificada ou questionada pela pessoa responsável por fazer essa aprovação. A melhoria a ser implementada nesse ponto seria a verificação da estratégia de medição pela pessoa responsável pela aprovação da peça, para que erros grosseiros como a aquisição de pontos na superfície oposta da peça verificado no trabalho sejam eliminados.

Com o conhecimento aqui adquirido e exposto neste trabalho definiu-se uma estratégia de medição correta que pode ser utilizada pelo fornecedor e pela empresa base de estudo para verificação e controle da peça 01. Os conhecimentos podem ser estendidos e aplicados a todas as outras peças estampadas utilizadas na empresa base de estudo.

## 6 REFERÊNCIAS

Albertazzi, Armando; Souza André R. de. **Fundamentos de Metrologia Científica e Industrial** - Barueri : Manole, 2008.

Alves, Arthur Soares. **Metrologia Geométrica** - Coimbra : Fundação Calouste Gulbenkian, 1996.

Arenhart, Francisco Augusto. **Avaliação do Desempenho Metrológico de Processos de Medição de Forma por Scanning com Base na Incerteza de Medição** - Universidade Federal de Santa Catarina. - Florianópolis : 2009.

\_\_\_\_\_. **Planejamento e melhoria de processos de medição de forma por scanning em máquinas de medir por coordenadas** - Florianópolis : 2010.

**ASME Dimensioning and Tolerancing - Y14.5-2009.**

Bosch, J. A. **Coordinate Measuring Machines and Systems** - New York : Marcel Dekker Inc., 1995.

Coelho, Marcus. **Metrologia na medida**: Um pouco da história da Metrologia. - 24 de Julho de 2008. - 27 de Agosto de 2011. - <http://metrologianamedida.blogspot.com/search/label/Hist%C3%B3ria>.

Cogorno, Gene R. **Geometric Dimensioning and Tolerancing for Mechanical Design** - New York : McGraw-Hill, 2006.

Dotson, Connie. **Fundamentals of Dimensional Metrology** - New York : Thomson Delmar Learning, 2006. - 5ª Edição.

Drake; J.Paul Jr. **Dimensioning and Tolerancing** - New York : McGraw-Hill, 1999.

Felix, Júlio C. **A Metrologia no Brasil** - Rio de Janeiro : Qualitymark Editora Ltda, 1995.

Gläser, Michael; Kochsiek, Manfred. **Handbook of Metrology** - Weinheim : WILEY-VCH Verlag GmbH & Co., 2010. - Vol. I.

Guimarães, Vagner Alves. **Controle Dimensional e Geométrico** - Passo Fundo : Editora Universitária, 1999.

Hamburg-Piekar Daniel Samuel. **Calibração de peças padrão em máquinas de medir por coordenadas** - Florianópolis, 2006.

InterAction Plexus. **Fundamentos e Interpretação de Projetos com uso de GD&T conforme Norma ASME Y14.5M:1994** - São Paulo : Plexus Training Systems, 2010. - Vol. Módulo I.

Istituto de Pesos e Medidas. **Istituto de Pesos e Medidas (IPEM)** - 2010. - acessado em 02 de Setembro de 2011. - [http://www.ipem.ap.gov.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=145&Itemid=15&483a73f1dc44fb22fdb09ec41c77218e=3554bdd40c90a3162c2e4ba2d8198823](http://www.ipem.ap.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=145&Itemid=15&483a73f1dc44fb22fdb09ec41c77218e=3554bdd40c90a3162c2e4ba2d8198823).

Krulikowski, Alex. **Fundamentals of Geometric Dimensioning and Tolerancing** - New York : Albany, 1997. - Segunda edição.

Miles, Matthew B.; Huberman A. Michael. **Qualitative data analysis** - Sage Publications, 1994.

Oliveira, Ademir Linhares de; Souza, André Roberto de. **Validação de processos de medição por coordenadas em operações de controle da qualidade**. Metrologia para a vida - Sociedade Brasileira de Metrologia (SBM). - 01 de 05 de 2003.

Orrego, Roxana Martinez; Giacomo, Benedito Di; Abackerli, Alvaro J. **Fontes de Erros em Metrologia a Três Coordenadas: considerações gerais** - Revista de Ciência e Tecnologia. - Dezembro de 2000. - Vol. 8. - pp. 43-56.

Schmidt, A. **Análise dos Efeitos da Filtragem na Medição de Circularidade em Máquinas de Medir por Coordenadas Utilizando Scanning** - Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, 2005.

Sousa, André Roberto de. **Conhecendo e Conservando a Medição por Coordenadas** - Carl Zeiss Aplicação e Engenharia. - 2003.

\_\_\_\_\_ **Formação avançada de metrologistas 3D** - Forma 3D, 2011. - Vols. Módulo 2 - Metrologista 3D - Nível B.

Souza, André Roberto de; Wandek Maurício. **Deficiências da metrologia industrial no Brasil no correto entendimento do GD&T e na definição de**

**estratégias de medição consistentes para o seu controle geométrico** - V Congresso brasileiro de metrologia. - 9 a 13 de novembro de 2009.

Wandeck, Maurício. **Projetos Mecânicos Utilizando Geometric Dimensioning and Tolerancing (GD&T) e Simulação Monte Carlo** - Núcleo de Manufatura Avançada. - 2009. Acessado em 25 de Março de 2011. - [http://www.numa.org.br/conhecimentos/conhecimentos\\_port/pag\\_conhec/GD&T\\_MonteCarlo2.htm](http://www.numa.org.br/conhecimentos/conhecimentos_port/pag_conhec/GD&T_MonteCarlo2.htm).

Weckenmann, A. ; Eitzert, H. ; Garmer, M. ; Webert, H. **Functionality-oriented evaluation and sampling strategy in coordinate metrology** Precision Engineering. - 1995. - 17. - pp. 244-252.

YIN, Robert K. **Planejamento e métodos** - Porto Alegre : Bookman, 2006. - Terceira Edição.

## APÊNDICE A – RELATÓRIO DIMENSIONAL PEÇA 01 DA EMPRESA

### BASE DO ESTUDO

Item	Elemento	Nominal	Desvio	Limite Inf.	Limite Sup.	Medido	Fora
01	Concentricidade 0,2 em relação à E	0,000	0,371	0,000	0,200	0,371	0,171
02	Concentricidade 0,2 em relação à F	0,000	0,305	0,000	0,200	0,305	0,105
03	Posição 0,4 em relação a A B E	0,000	0,109	0,000	0,400	0,109	
04	Posição 0,2 em relação a A C E	0,000	0,384	0,000	0,200	0,384	0,184
05	Dimensão de 52,6 ± 0,1	52,600	0,013	52,500	52,700	52,613	
06	Dimensão de 12,4 ± 0,1	12,400	-0,095	12,300	12,500	12,305	
07	Dimensão de 51,0 ± 0,1	51,000	0,031	50,900	51,100	51,031	
08	Dimensão de 17,8 ± 0,1	17,800	0,147	17,700	17,900	17,947	0,047
09	Dimensão de 0,4 ± 0,1	0,400	-0,075	0,300	0,500	0,325	
10	Dimensão de 11,8 ± 0,1	11,800	0,141	11,700	11,900	11,941	
11	Dimensão de 2,55 +0,15 -0,05	2,550	0,111	2,500	2,700	2,661	
12	Diâmetro 5,2 +0,05 -0,15 inferior	5,200	-0,021	5,050	5,250	5,179	
13	Diâmetro 5,2 +0,05 -0,15 traseiro	5,200	-0,036	5,050	5,250	5,164	
14	Diâmetro 5,2 +0,05 -0,15 frontal	5,200	-0,023	5,050	5,250	5,177	
15	Posição de 0,3 em relação à B C cir. 1	29,572	-0,112	29,422	29,722	29,460	
		7,045	0,076	6,895	7,195	7,121	
16	Posição de 0,3 em relação à B C circ. 2	9,444	0,231	9,294	9,594	9,675	0,081
		28,895	-0,204	28,745	29,045	28,691	0,054
17	Posição de 0,3 em relação à B C circ. 3	19,702	0,087	19,552	19,852	19,789	
		23,150	0,257	23,000	23,300	23,407	0,107
18	Diâmetro 60,8 +0,05 -0,15	60,800	0,020	60,650	60,850	60,820	
19	Angularidade 0,3 em relação a C	0,000	0,083	0,000	0,300	0,083	
20	Dimensão de 15,5 ± 0,2 dimensão 1	15,500	0,150	15,300	15,700	15,650	
21	Dimensão de 15,5 ± 0,2 dimensão 2	15,500	0,150	15,300	15,700	15,650	
22	Diâmetro 10,3 +0,05 -0,15 (1)	10,300	-0,027	10,150	10,350	10,273	
23	Diâmetro 10,3 +0,05 -0,15 (2)	10,300	-0,023	10,150	10,350	10,277	
24	Diâmetro 10,3 +0,05 -0,15 (3)	10,300	-0,021	10,150	10,350	10,279	
25	Diâmetro 10,3 +0,05 -0,15 (4)	10,300	-0,014	10,150	10,350	10,286	
26	Diâmetro 10,3 +0,05 -0,15 (5)	10,300	-0,013	10,150	10,350	10,287	

Item	Elemento	Nominal	Desvio	Limite Inf.	Limite Sup.	Medido	Fora
27	Diâmetro 10,3 +0,05 -0,15 (6)	10,300	-0,009	10,150	10,350	10,291	
28	Posição 0,3 em relação à B C (1)	15,588	-0,217	0,000	0,300	15,371	0,173
		9,000	0,094			9,094	
		Hipotenusa	0,473			0,473	
29	Posição 0,3 em relação à B C (2)	15,588	-0,207	0,000	0,300	15,381	0,152
		9,000	-0,090			8,910	
		Hipotenusa	0,452			0,452	
30	Posição 0,3 em relação à B C (3)	0,000	0,201	0,000	0,300	0,201	0,136
		18,000	-0,084			17,916	
		Hipotenusa	0,436			0,436	
31	Posição 0,3 em relação à B C (4)	15,588	0,218	0,000	0,300	15,806	0,160
		9,000	-0,073			8,927	
		Hipotenusa	0,460			0,460	
32	Posição 0,3 em relação à B C (5)	15,588	0,186	0,000	0,300	15,774	0,099
		9,000	0,071			9,071	
		Hipotenusa	0,399			0,399	
33	Posição 0,3 em relação à B C (6)	0,000	0,201	0,000	0,300	0,201	0,123
		18,000	0,066			18,066	
		Hipotenusa	0,423			0,423	
34	Dimensão de 36	36,000	-0,030	Cota básica		35,970	
35	Diâmetro 12,2 +0,05 -0,15	12,200	-0,005	12,050	12,250	12,195	
36	Posição 0,4 mm em relação a A B C	0,000	0,207	0,000	0,400	0,207	
37	Dimensão de 38,2	38,200	-0,099	Cota básica		38,101	
38	Diâmetro 6,2 +0,05 -0,15	6,200	-0,015	6,050	6,250	6,185	
39	Posição de 0,2 em relação a A C E	39,500	0,156	0,000	0,200	39,656	0,176
		36,900	0,104			37,004	
		Hipotenusa	0,376			0,376	
40	Diâmetro 16,2 +0,07 -0,13	16,200	-0,059	16,070	16,270	16,141	
41	Posição de 0,4 em relação a A B E	17,500	0,043	0,000	0,400	17,543	0,099
		12,700	-0,025			12,675	
		Hipotenusa	0,099			0,099	
42	Planicidade 0,2	0,000	0,177	0,000	0,200	0,177	
43	Dimensão 2,0 +0,1	2,000	-0,119	2,000	2,100	1,881	0,119
44	Planicidade 0,4	0,000	0,115	0,000	0,400	0,115	
45	Dimensão 52,6 ± 0,1	52,600	0,012	52,500	52,700	52,612	
46	Dimensão de 51,0 ± 0,1	51,000	0,038	50,900	51,100	51,038	

## APÊNDICE B – RELATÓRIO DIMENSIONAL PEÇA 01 NO

### FORNECEDOR

Item	Elemento	Nominal	Modo de medição	Limite Inf.	Limite Sup.	OK / NOK
1	Diâmetro 12,5 +0,05 -0,15	12,500	Cálibre passa - não passa	12,350	12,550	OK
2	Diâmetro 17,00 ± 0,5	17,000	Cálibre passa - não passa	16,500	17,500	OK
3	Diâmetro 12,00 +0,05 -0,15	12,000	Cálibre passa - não passa	11,850	12,050	OK
4	Diâmetro 6,2 ± 0,1	6,200	Cálibre passa - não passa	6,100	6,300	OK
5	Diâmetro 12,2 +0,05 -0,15	12,200	Cálibre passa - não passa	12,050	12,250	OK
6	Diâmetro 25,5 +0,25 -0,05	25,500	Cálibre	25,450	25,750	OK
7	Oblongo 5,7 X 7,7 +0,05 -0,15	5,700	Cálibre	5,550	5,750	OK
		7,700		7,550	7,750	OK
8	Diâmetro 9,5 +0,07 -0,13	9,500	Cálibre passa - não passa	9,370	9,570	OK
9	Diâmetro 6,2 +0,05 -0,15	6,200	Cálibre passa - não passa	6,050	6,250	OK
10	Diâmetro 10,3 +0,05 -0,15 furo 01	10,300	Cálibre passa - não passa	10,150	10,350	OK
	Diâmetro 10,3 +0,05 -0,15 furo 02					OK
	Diâmetro 10,3 +0,05 -0,15 furo 03					OK
	Diâmetro 10,3 +0,05 -0,15 furo 04					OK
	Diâmetro 10,3 +0,05 -0,15 furo 05					OK
	Diâmetro 10,3 +0,05 -0,15 furo 06					OK
11	Dimensão 15,5 ± 0,2 (2X)	15,500	Cálibre	15,300	15,700	OK
12	Diâmetro 5,2 +0,05 -0,15 furo 01	5,200	Cálibre passa - não passa	5,050	5,250	OK
	Diâmetro 5,2 +0,05 -0,15 furo 02					OK
	Diâmetro 5,2 +0,05 -0,15 furo 03					OK
Item	Elemento	Nominal	Modo de medição	Limite Inf.	Limite Sup.	Medido
13	Dimensão 14,5 ± 0,5	14,500	Altímetro	14,000	15,000	14,610
14	Dimensão 1,0 ± 0,2	1,000	Altímetro	0,800	1,200	1,120
15	Dimensão 15,3 ± 0,2	15,300	Altímetro	15,100	15,500	15,440
16	Planicidade 0,2	0,200	Relógio apalpador	0,000	0,200	0,110
17	Dimensão 2,55 +0,15 -0,05	2,550	Altímetro	2,500	2,700	2,580
18	Dimensão 2,0 +0,5 -0,8	2,000	Altímetro	1,800	2,500	1,350
19	Dimensão 2,0 +0,1	2,000	Altímetro	2,000	2,100	1,900
20	Diâmetro 25,5 +0,25 -0,05	25,500	MMC	25,450	25,750	25,680
21	Diâmetro 12,2 +0,05 -0,15	12,200	MMC	12,050	12,250	12,330

Item	Elemento	Nominal	Modo de medição	Limite Inf.	Limite Sup.	Medido
22	Posição de 0,4 em relação à B C	0,000	MMC	0,000	0,400	0,460
23	Cota de 38,2	38,200	MMC	Cota básica		37,960
24	Planicidade 0,2	0,000	MMC	0,000	0,200	0,090
25	Dimensão 2,0 +0,1	2,000	MMC	2,000	2,100	2,030
26	Diâmetro 9,5 +0,07 -0,13	9,500	MMC	9,370	9,570	9,440
27	Diâmetro 8,5 +0,05 -0,15	8,500	MMC	8,350	8,550	8,450
28	Dimensão de 52,6 ± 0,1	52,600	MMC	52,500	52,700	52,570
29	Dimensão de 51,0 ± 0,1	51,000	MMC	50,900	51,100	51,10
30	Diâmetro 6,2 +0,05 -0,15	6,200	MMC	6,050	6,250	6,200
31	Posição de 0,2 em relação a A C E	0,000	MMC	0,000	0,200	0,340
32	Diâmetro 16,2 +0,07 -0,13	16,200	MMC	16,070	16,270	16,210
33	Posição 0,4 em relação a A B E	0,000	MMC	0,000	0,400	0,310
34	Diâmetro 60,8 +0,05 -0,15	60,800	MMC	60,650	60,850	60,770
35	Diâmetro 5,2 +0,05 -0,15 furo 01	5,200	MMC	5,050	5,250	5,150
36	Diâmetro 5,2 +0,05 -0,15 furo 02	5,200	MMC	5,050	5,250	5,100
37	Diâmetro 5,2 +0,05 -0,15 furo 03	5,200	MMC	5,050	5,250	5,120
38	Posição de 0,3 em relação à B C furo 01	0,000	MMC	0,000	0,300	0,290
39	Posição de 0,3 em relação à B C furo 02	0,000	MMC	0,000	0,300	0,340
40	Angularidade 0,3 em relação a C furo 03	0,000	MMC	0,000	0,300	0,160
41	Cota de 15,5 ± 0,2 dimensão 1	15,500	MMC	15,300	15,700	15,550
42	Cota de 15,5 ± 0,2 dimensão 2	15,500	MMC	15,300	15,700	15,650
43	Diâmetro 10,3 +0,05 -0,15 (1)	10,300	MMC	10,150	10,350	10,280
44	Diâmetro 10,3 +0,05 -0,15 (2)	10,300	MMC	10,150	10,350	10,310
45	Diâmetro 10,3 +0,05 -0,15 (3)	10,300	MMC	10,150	10,350	10,240
46	Diâmetro 10,3 +0,05 -0,15 (4)	10,300	MMC	10,150	10,350	10,220
47	Diâmetro 10,3 +0,05 -0,15 (5)	10,300	MMC	10,150	10,350	10,260
48	Diâmetro 10,3 +0,05 -0,15 (6)	10,300	MMC	10,150	10,350	10,250
49	Posição 0,3 em relação à B C (1)	0,000	MMC	0,000	0,300	0,160
50	Posição 0,3 em relação à B C (2)	0,000	MMC	0,000	0,300	0,110
51	Posição 0,3 em relação à B C (3)	0,000	MMC	0,000	0,300	0,120
52	Posição 0,3 em relação à B C (4)	0,000	MMC	0,000	0,300	0,150
53	Posição 0,3 em relação à B C (5)	0,000	MMC	0,000	0,300	0,100
54	Posição 0,3 em relação à B C (6)	0,000	MMC	0,000	0,300	0,110
55	Planicidade 0,4	0,000	MMC	0,000	0,400	0,190

## APÊNDICE C – RELATÓRIO DIMENSIONAL PEÇA SIMILAR A 01 NA MATRIZ NA EUROPA

Item	Elemento	Nominal	Modo de medição	Limite Inf.	Limite Sup.	OK / NOK
1	Diâmetro 10,3 +0,1 (6X)	10,300	Cálibre passa - não passa 03	10,300	10,400	OK
2	Diâmetro 5,2 +0,05 -0,15 (3X)	5,200	Cálibre passa - não passa 34	5,050	5,250	OK
3	Diâmetro 7,2 +0,05 -0,15	7,200	Cálibre passa - não passa 33	7,050	7,250	OK
4	Tolerância de posição 0,1 MMC dos 6 furos de diâmetro 10,3	10,300	Cálibre 13	10,050	10,650	OK
	Tolerância de posição 0,5 dos 3 furos de diâmetro 5,2	0,000	Cálibre 13	0,000	0,500	OK
	Tolerância de posição 0,5 do furo de diâmetro 7,2	0,000	Cálibre 13	0,000	0,500	OK
5	Controle do quadrado de 15,0 +1,0	15,000	Cálibre passa - não passa 11	15,000	16,000	OK
6	Diâmetro 12,2 +0,05 -0,15	12,000	Cálibre passa - não passa 04	11,850	12,050	OK
7	Diâmetro 6,2 +0,05 -0,15	9,500	Cálibre passa - não passa 24	9,370	9,570	OK
8	Tolerância de posição 0,4 do furo de diâmetro 9,5	0,000	Cálibre 30	0,000	0,400	OK
9	Diâmetro 6,2 +0,05 -0,15	6,200	Cálibre passa - não passa 07A	6,050	6,250	OK
10	Raio 3,9 ± 0,2	3,900	Cálibre passa - não passa 25	3,700	4,100	OK
11	Tolerância de forma 0,4 do oblongo	0,000	Cálibre 26	0,000	0,400	OK
12	Raio máximo 16,0	-	Cálibre 17	0,000	16,000	OK
13	Diâmetro 8,5 +0,05 -0,15	8,500	Cálibre passa - não passa 06A	8,350	8,550	OK
14	Diâmetro 16,0 +0,025	16,000	Cálibre 12A	16,000	16,025	OK
15	Diâmetro 16,14 +0,025	16,140	Cálibre 12A	16,140	16,165	OK
16	Oblongo (5,7 X 7,7) +0,05 -0,15	5,700	Cálibre passa - não passa 05	5,550	5,750	OK
		7,700		7,550	5,750	OK
17	Diâmetro 25,5 +0,25 -0,05	25,500	Cálibre passa - não passa 02A	25,450	25,750	OK
18	Diâmetro 8,2 ±0,2	8,200	Cálibre passa - não passa 23	8,000	8,400	OK

Item	Elemento	Nominal	Modo de medição	Limite Inf.	Limite Sup.	OK / NOK
19	Diâmetro 12,5 +0,05 -0,15	12,500	Cálibre passa - não passa 09A	12,350	12,550	OK
20	Ângulo 21°48' ±30'	21°48'	Cálibre passa - não passa 14	21°18'	22°18'	OK
21	Dimensão 2,0 +0,1	2,000	Gabarito 101315-1	2,000	3,000	OK
22	Dimensão 2,55 +0,15 -0,05	2,550		2,500	2,700	OK
23	Presença oblongo 5,7 X 7,7	-	Gabarito 101310-1	-	-	OK
24	Presença do furo diâmetro 8,2	-	Gabarito 101310-1	-	-	OK
25	Tolerância de posição 0,4 em relação à B do quadrado de 15	0,000	Gabarito 101310-1	0,000	0,400	OK
26	Tolerância de posição 0,1 MMC dos 6 furos de diâmetro 10,3	10,300	Gabarito 101310-1	10,050	10,650	OK
27	Tolerância de posição 0,4 em relação a A E C (diâmetro 6,2)	0,000	Gabarito 101310-1	0,000	0,400	OK
28	Ângulo 29°30' ±30'	29°30'	Gabarito 101310-1	29°00'	30°00'	OK
29	Dimensão 14,5 ± 0,5	14,500	Gabarito 101310-1	14,000	15,000	OK
30	Ângulo 17°30' ±2°	17°30'	Cálibre 18	15°30'	19°30'	OK
31	Tolerância de posição 0,4 em relação a A B C (diâmetro 12,2)	0,000	Gabarito 101310-1	0,000	0,400	OK
32	Ângulo 29°24' ±30'	29°24'	Cálibre 19	28°54'	29°54'	OK
33	Diâmetro 25,5 +0,25 -0,05	25,500	Gabarito 101310-1	25,450	25,750	OK
34	Ângulo 29°42' ±30'	29°42'	Cálibre 27	29°12'	30°12'	OK
Item	Elemento	Nominal	Modo de medição	Limite Inf.	Limite Sup.	Medido
35	Posição 0,5 mm em relação a A B C (dimensão de 79,4)	79,400	MMC	79,150	79,650	79,378
	Posição 0,5 mm em relação a A B C (dimensão de 33,6)	33,600	MMC	33,350	33,850	33,671
36	Posição 0,4 mm em relação a A C E (dimensão de 20)	20,000	MMC	19,800	20,200	20,001
	Posição 0,4 mm em relação a A C E (dimensão de 8,2)	8,200	MMC	8,000	8,400	8,333
37	Raio de 8,1 ± 0,02	8,100	MMC	8,080	8,120	8,113
38	Dimensão de 2,0 +0,5 -0,8	2,000	MMC	1,200	2,500	1,847
39	Planicidade 0,2	0,000	MMC	0,000	0,200	0,080

Item	Elemento	Nominal	Modo de medição	Limite Inf.	Limite Sup.	Medido
40	Planicidade 0,4	0,000	MMC	0,000	0,400	0,165
41	Altura máxima 3,1 (ponto B)	-	MMC	0,000	3,100	2,860
	Altura máxima 3,1 (ponto C)	-	MMC	0,000	3,100	2,827
	Altura máxima 3,1 (ponto D)	-	MMC	0,000	3,100	2,854
	Altura máxima 3,1 (ponto E)	-	MMC	0,000	3,100	2,951
42	Profundidade 2,55 +0,15 -0,05 (ponto A)	2,550	MMC	2,500	2,700	2,695
	Profundidade 2,55 +0,15 -0,05 (ponto B)	2,550	MMC	2,500	2,700	2,534
	Profundidade 2,55 +0,15 -0,05 (ponto C)	2,550	MMC	2,500	2,700	2,666
	Profundidade 2,55 +0,15 -0,05 (ponto D)	2,550	MMC	2,500	2,700	2,704
	Profundidade 2,55 +0,15 -0,05 (ponto E)	2,550	MMC	2,500	2,700	2,733
43	Dimensão 2,0 +0,1 (ponto A)	2,000	MMC	2,000	2,100	1,990
	Dimensão 2,0 +0,1 (ponto B)	2,000	MMC	2,000	2,100	2,026
	Dimensão 2,0 +0,1 (ponto C)	2,000	MMC	2,000	2,100	1,986
	Dimensão 2,0 +0,1 (ponto D)	2,000	MMC	2,000	2,100	1,996
44	Concentricidade 1,4 em relação à E (eixo X)	0,000	MMC	0,000	1,400	0,036
	Concentricidade 1,4 em relação à E (eixo Y)	0,000	MMC	0,000	1,400	0,098
	Concentricidade 1,4 em relação à E (hipotenusa)	0,000	MMC	0,000	1,400	0,208

## APÊNDICE D – RELATÓRIO DIMENSIONAL DA PEÇA 01

### REALIZADO COM A ESTRATÉGIA DE MEDIÇÃO ELABORADA NO TRABALHO

Item	Elemento	Nominal	Desvio	Limite Inf.	Limite Sup.	Medido
01	Diâmetro 12,2 +0,05 -0,15	12,200	0,001	12,050	12,250	12,201
02	Posição 0,4 mm em relação a A B C	38,200	-0,109	Cota básica		38,091
		36,000	-0,035	Cota básica		35,965
		Hipotenusa	0,228	0,000	0,400	0,228
03	Diâmetro 6,2 ± 0,1	6,200	-0,017	6,100	6,300	6,183
04	Posição 0,4 mm em relação à B C	53,000	-0,055	Cota básica		52,945
		43,000	-0,074	Cota básica		42,926
		Hipotenusa	0,183	0,000	0,400	0,183
05	Diâmetro 12,0 +0,05 -0,15	12,000	0,024	11,850	12,050	12,024
06	Posição 0,4 mm em relação a A B C	93,000	0,163	Cota básica		93,163
		113,000	-0,216	Cota básica		112,784
		Hipotenusa	0,542	0,000	0,400	0,542
07	Diâmetro 25,5 +0,25 -0,05	25,500	0,198	25,450	25,750	25,698
08	Angularidade 0,5 em relação à E	51,200	-0,194	Cota básica		51,006
		0,000	0,076	0,000	0,500	0,076
09	Oblongo 5,7 X 7,7 +0,05 -0,15	5,700	-0,097	5,550	5,750	5,603
		7,700	-0,019	7,550	7,750	7,681
10	Posição de 1,0 em relação à B C	113,200	-0,028	Cota básica		113,172
		2,700	0,228	Cota básica		2,928
		Hipotenusa	0,459	0,000	1,000	0,459
11	Diâmetro 16,1 +0,05 -0,15	16,100	-0,144	15,950	16,150	15,956
12	Posição 0,5 mm em relação a A B C	79,400	-0,140	Cota básica		79,260
		33,600	-0,132	Cota básica		33,468
		Hipotenusa	0,384	0,000	0,500	0,384
13	Diâmetro 8,5 +0,05 -0,15	8,500	0,020	8,350	8,550	8,520
14	Concentricidade 0,2 em relação à F	0,000	0,373	0,000	0,200	0,373
15	Diâmetro 16,2 +0,07 -0,13	16,200	-0,050	16,070	16,270	16,150
16	Posição de 0,4 em relação a A B E	17,500	0,055	Cota básica		17,555
		12,700	-0,031	Cota básica		12,669
		Hipotenusa	0,127	0,000	0,400	0,127
17	Diâmetro 9,5 +0,07 -0,13	9,500	-0,013	9,370	9,570	9,487
18	Concentricidade 0,2 em relação à G	0,000	0,309	0,000	0,200	0,309
19	Diâmetro 6,2 +0,05 -0,15	6,200	0,001	6,050	6,250	6,201
20	Posição de 0,2 em relação a A C E	39,500	0,174	Cota básica		39,674
		36,900	0,096	Cota básica		36,996
		Hipotenusa	0,397	0,000	0,200	0,376

21	Dimensão 52,6 ± 0,1	52,600	0,020	52,500	52,700	52,620
22	Dimensão 51,0 ± 0,1	51,000	0,060	50,900	51,100	51,060
Item	Elemento	Nominal	Desvio	Limite Inf.	Limite Sup.	Medido
23	Dimensão 2,0 +0,1	2,000	-0,123	2,000	2,100	1,877
24	Perpendicularidade 0,3	0,000	0,108	0,000	0,300	0,108
25	Planicidade 0,2	0,000	0,174	0,000	0,200	0,174
26	Angularidade 0,3 em relação à B	17,500	-0,156	Cota básica		17,344
		0,000	0,014	0,000	0,500	0,014
27	Diâmetro 60,8 +0,05 -0,15	60,800	0,019	60,650	60,850	60,819
28	Angularidade 0,3 em relação a C	18,100	0,526	Cota básica		18,626
		0,000	0,278	0,000	0,300	0,278
29	Diâmetro 10,3 +0,05 -0,15 (1)	10,300	-0,007	10,150	10,350	10,293
30	Posição 0,3 em relação à B C (1)	9,777	-0,187	Cota básica		9,590
		15,113	-0,141	Cota básica		14,972
		Hipotenusa	0,469	0,000	0,300	0,469
31	Diâmetro 10,3 +0,05 -0,15 (2)	10,300	-0,008	10,150	10,350	10,292
32	Posição 0,3 em relação à B C (2)	17,976	-0,093	Cota básica		17,883
		0,910	0,127	Cota básica		1,037
		Hipotenusa	0,382	0,000	0,300	0,382
33	Diâmetro 10,3 +0,05 -0,15 (3)	10,300	-0,001	10,150	10,350	10,299
34	Posição 0,3 em relação à B C (3)	8,199	-0,094	Cota básica		8,105
		16,023	0,125	Cota básica		16,148
		Hipotenusa	0,313	0,000	0,300	0,313
35	Diâmetro 10,3 +0,05 -0,15 (4)	10,300	-0,004	10,150	10,350	10,296
36	Posição 0,3 em relação à B C (4)	9,777	0,077	Cota básica		9,854
		15,113	0,176	Cota básica		15,289
		Hipotenusa	0,384	0,000	0,300	0,384
37	Diâmetro 10,3 +0,05 -0,15 (5)	10,300	0,003	10,150	10,350	10,303
38	Posição 0,3 em relação à B C (5)	17,976	0,154	Cota básica		18,130
		0,910	-0,222	Cota básica		0,688
		Hipotenusa	0,540	0,000	0,300	0,540
39	Diâmetro 10,3 +0,05 -0,15 (6)	10,300	-0,003	10,150	10,350	10,297
40	Posição 0,3 em relação à B C (6)	8,199	0,186	Cota básica		8,385
		16,023	-0,187	Cota básica		15,836
		Hipotenusa	0,528	0,000	0,300	0,528
41	Angularidade 0,3 em relação a C	32,900	-0,261	Cota básica		32,639
		0,000	0,079	0,000	0,300	0,079
42	Cota de 15,5 ± 0,2 dimensão 1	15,500	0,160	15,300	15,700	15,660
	Cota de 15,5 ± 0,2 dimensão 2	15,500	0,152	15,300	15,700	15,652
43	Angularidade 0,3 em relação à D	121,500	0,707	Cota básica		122,207
		0,000	0,315	0,000	0,300	0,315
44	Diâmetro 5,2 +0,05 -0,15 inferior	5,200	-0,023	5,050	5,250	5,177
45	Posição de 0,3 em relação à B C cir. 1	9,444	0,226	Cota básica		9,670
		28,895	-0,198	Cota básica		28,697
		Hipotenusa	0,601	0,000	0,300	0,601
46	Diâmetro 5,2 +0,05 -0,15 traseiro	5,200	-0,006	5,050	5,250	5,194
47	Posição de 0,3 em relação à B C circ. 2	29,560	-0,097	Cota básica		29,463
		7,096	0,024	Cota básica		7,120
		Hipotenusa	0,200	0,000	0,300	0,200

Item	Elemento	Nominal	Desvio	Limite Inf.	Limite Sup.	Medido
48	Diâmetro 5,2 +0,05 -0,15 frontal	5,200	-0,010	5,050	5,250	5,190
49	Posição de 0,3 em relação à B C circ. 3	19,743	0,041	Cota básica		19,784
		23,116	0,284	Cota básica		23,400
		Hipotenusa	0,573	0,000	0,300	0,573
50	Angularidade 0,3 em relação à D	121,500	-0,335	Cota básica		121,165
		0,000	0,238	0,000	0,300	0,238
51	Planicidade 0,4	0,000	0,106	0,000	0,400	0,106