

João Marcos de Castro Baker

**"DIMENSIONAMENTO GEOMÉTRICO: ANÁLISE DE
DIFERENÇAS ENTRE MEDIÇÕES DE PERPENDICULARIDADE
APLICANDO A NORMA ISO 1101/2012 E ASME Y14.5-2009 E SUAS
IMPLICAÇÕES"**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica.

Área de concentração: Projetos e Sistemas

Orientador: Prof. Dr. Meinhard Sesselmann

Universidade Federal de Minas Gerais

Belo Horizonte

Escola de Engenharia da UFMG

2016



Universidade Federal de Minas Gerais

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica

Av. Antônio Carlos, 6627 - Pampulha - 31.270-901 - Belo Horizonte – MG

Tel.: +55 31 3499-5145 - Fax.: +55 31 3443-3783 www.demec.ufmg.br

- E-mail: cpgmec@demec.ufmg.br

"DIMENSIONAMENTO GEOMÉTRICO:

ANÁLISE DE DIFERENÇAS ENTRE MEDIÇÕES DE PERPENDICULARIDADE APLICANDO A NORMA ISO 1101/2012 E A ASME Y14.5-2009 E SUAS IMPLICAÇÕES "

JOÃO MARCOS DE CASTRO BAKER

Dissertação defendida e aprovada em 14 de dezembro de 2016, pela Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Minas Gerais, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de "**Mestre em Engenharia Mecânica**", na área de concentração de "**Projetos e Sistemas**".

Prof. Dr. Meinhard Sesselmann - UFMG - Orientador

Prof. Dr. Marcelo Araújo Câmara – UFMG - Examinador

Prof. Dr. Paulo Sérgio Martins – Centro Universitário UNA - Examinador

**Prof. Dr. Alysson Martins Almeida Silva - Universidade de Brasília - UNB -
Examinador**

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, que me inspira em todos os momentos através de imensa sabedoria e criatividade. Que nos dá inteligência para investigar e revelar o desconhecido.

À minha esposa, que sempre tem sido meu suporte nos desafios enfrentados e que, nesse mestrado, me apoiou, abrindo mão de minha presença muitas vezes, além de cooperar na correção desta dissertação. Também a meus filhos Anna Clara, Marcos e Samuel, que também sentiram minha ausência em tantos momentos.

Ao professor Meinhard pelas orientações indicando-me o caminho para vencer os desafios deste trabalho.

À empresa Protominas que preparou o protótipo para execução dos experimentos aqui apresentados.

Às empresas Nematik, Medição e Zeiss, que abriram suas portas para a realização das medições das amostras. À empresa Mitutoyo que prestou informações importantes sobre os padrões de cálculo utilizados nas principais MMCs.

Meus sinceros agradecimentos.

”A glória de Deus é encobrir as coisas, mas a glória dos reis é esquadrihá-las”

Salomão em Provérbios 25:2

" A ciência incha, mas o amor edifica "

Apóstolo Paulo em I Coríntios 8:1

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	7
LISTA DE TABELAS	9
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	10
RESUMO	11
1 INTRODUÇÃO	12
1.1 Justificativa	13
1.2 Objetivos	14
1.2.1 Objetivo geral	14
1.2.2 Objetivos específicos	14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1 Histórico	16
2.2 Conjunto das normas ISO e ASME	18
2.3 ISO1101 x ASMEY14.5	24
2.4 Uso das normas no setor automotivo	26
2.5 Elemento de tamanho	27
2.6 Controle de orientação e posição	29
3 METODOLOGIA	32
3.1 Controle de orientação e localização	32
3.2 Máquinas de medição por coordenadas utilizadas	34
3.3 Metodologia aplicada nos testes	34
3.4 Pesquisa sobre conhecimento das diferenças entre as normas	36
4 RESULTADOS	37
4.1 Controle de orientação	37
4.2 Pesquisa sobre conhecimento das diferenças entre as normas	41
4.3 Discussões dos resultados	45
5 CONCLUSÕES	48
ABSTRACT	51
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52
APÊNDICES	54
Anexo A	54
Anexo B	55
Anexo C	57

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1	Dimensionamento no sistema cartesiano	16
FIGURA 2.2	Dimensionamento no sistema geométrico	17
FIGURA 2.3	Estrutura da matriz GPS	19
FIGURA 2.4	Estrutura da matriz GPS conforme norma ISO/TR 14638	23
FIGURA 2.5	Simbologia das características geométricas conforme ISO 1101	24
FIGURA 2.6	Simbologia das características geométricas conforme ASME Y14.5	25
FIGURA 2.7	Exemplo de diferença de interpretação entre as normas ISO e ASME	26
FIGURA 2.8	Exemplo de elemento de tamanho	27
FIGURA 2.9	Obtendo o eixo do elemento conforme ASME Y14.5-2009	29
FIGURA 2.10	Obtendo o eixo do elemento conforme ISO 14660-1 e ISO/TS 17450-1	30
FIGURA 2.11	Incerteza de medição devido ao número de pontos de medição	31
FIGURA 3.1	Desenho do protótipo proposto	32
FIGURA 3.2	Demonstração do protótipo com forma fletida	33
FIGURA 3.3	Demonstração do centro conforme norma ASME	33
FIGURA 3.4	Divisão do cilindro em 5 seções	35
FIGURA 3.5	Comparativo entre resultados de medição por pontos e por escaneamento	35
FIGURA 4.1	Exemplo de apalpador fixo	39
FIGURA 4.2	Exemplo de apalpador móvel	40
FIGURA 4.3	Distribuição de participação da pesquisa por setor econômico	42
FIGURA 4.4	Distribuição de participação da pesquisa por departamento interno	42

FIGURA 4.5	Distribuição de participação da pesquisa por experiência	43
FIGURA 4.6	Distribuição de participação da pesquisa por profissionais que aplicam GD&T	43
FIGURA 4.7	Distribuição de participação da pesquisa por profissionais que aplicam GD&T no setor automotivo	44
FIGURA 4.8	Utilização das normas entre os profissionais que aplicam GD&T em suas atividades	44
FIGURA 4.9	Conhecimento dos profissionais sobre as diferenças entre as normas	45

LISTA DE TABELAS

TABELA 4.1	Resultados da MMC disponível na UFMG	37
TABELA 4.2	Resultados da MMC disponível no segundo laboratório	38
TABELA 4.3	Resultados de duas MMCs	39
TABELA 4.4	Cálculo da média e desvio padrão dos resultados obtidos na MMC Coord 3 Ares	40
TABELA 4.5	Resultados obtidos pela MMC Zeiss Duramax	41
TABELA 4.6	Comparativo de resultados médios entre as MMCs conforme ISO 1101	46
TABELA 4.7	Comparativo de resultados médios entre as MMCs conforme ASME Y14.5	46

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANSI	American National Standard Institute
ASA	American Standard Association
ASME	American Society of Mechanical Engineers
FOS	Feature of Size (Elemento de tamanho)
GD&T	Geometric Dimensioning and Tolerancing
GPS	Geometric Product Specification
ISO	International Organization for Standardization
MMC	Máquina de Medição por Coordenada
PPAP	Production Part Approval Process
SAE	Society of Automotive Engineers
SOR	Statement of Requirements
TED	Theoretical Exact Dimension
VIM	Vocabulário Internacional de Metrologia

RESUMO

As variações dimensionais inerentes a um processo de fabricação são a razão para a existência do conceito de tolerância de aceitação em uma característica do produto. O sistema de cotação geométrica tem muitas vantagens sobre o sistema cartesiano, evitando a ambiguidade na interpretação dos erros de forma, orientação e localização. As duas principais normas que definem o dimensionamento geométrico, em um projeto mecânico, são a ISO1101/2012 e a ASME Y14.5-2009. No entanto, existem diferenças de interpretação, mesmo quando símbolos iguais são mencionados nestas normas. Quando uma empresa, por exemplo, fornece peças para montadoras de automóveis que aplicam normas de dimensionamento geométrico diferentes, é importante que os profissionais conheçam essas diferenças para garantir a qualidade do produto. O presente trabalho apresenta os resultados do controle de perpendicularidade, usando os critérios de cada norma como um exemplo para demonstrar os possíveis impactos ao escolher uma delas. Foi realizada uma sondagem entre os profissionais no Brasil sobre diferenças entre tais normas e os dados mostram como essas ainda são pouco conhecidas.

Palavras chaves: GD&T, GPS, Desenho Mecânico, Metrologia, Incerteza de Medição, Tolerâncias.

1 INTRODUÇÃO

As variações dimensionais inerentes a um processo de fabricação são a razão para a existência do conceito de tolerância de aceitação numa característica do produto de modo a não comprometer a sua função. O dimensionamento em um desenho mecânico ainda usa o sistema cartesiano para definir suas dimensões e tolerâncias em muitas indústrias mecânicas. Silva (2012) comenta que um dimensionamento incorreto ou ambíguo pode causar grandes perdas na fabricação dos produtos. O dimensionamento por meio do sistema cartesiano permite interpretação ambígua e por esta razão o dimensionamento no sistema geométrico vem ganhando destaque em muitas indústrias. Principalmente os setores automotivo e aeroespacial enfatizam a filosofia do GD&T, ou seja, dimensionamento geométrico e tolerância.

A maioria das normas de dimensionamento usadas na indústria é baseada na ASME (*American Society of Mechanical Engineers*) e na ISO (*International Organization for Standardization*), explica Krulikowski e DeRaad (1999). Estas são as principais normas aplicadas como metodologia de dimensionamento, mas também há outras normas com menor expressão. Há uma pressão crescente para migrar em direção a uma norma internacional comum, mas ainda precisamos manter essas normas e compreender suas diferenças.

Krulikowski e DeRaad (1999) dedicaram um capítulo no livro *Dimensioning and Tolerancing Handbook* para comparar normas ASME e ISO relacionadas com o dimensionamento geométrico. O trabalho focou principalmente na ASME Y14.5M-1994 e ISO (várias normas). No caso das normas ISO, as atualizações utilizadas variam entre 1982 e 1997. Também Henzold (2006) escreveu um capítulo em seu livro *Geometrical Dimensioning and Tolerancing for Design, Manufacturing and Inspection* comparando a ASME, a ISO e outras normas nesse assunto.

A ASME Y14.5 e a ISO 1101 são as principais normas que tratam do dimensionamento geométrico. Essas possuem muitas diferenças importantes em relação à forma como alguns controles serão executados, podendo ou não influenciar nos resultados. Como as normas sofrem atualizações periódicas em suas versões, este trabalho considera a ASME Y14.5-2009 e a ISO 1101/2012 e foca em discutir uma das diferenças entre elas, além de mostrar como o controle dimensional definido por cada uma delas proporciona valores distintos. Para limitar o volume desse trabalho, o controle discutido é o de orientação em um elemento de tamanho (FOS).

1.1 Justificativa

Souza e Wandeck (2009) comentam que nos últimos 15 anos houve um aumento no uso das normas de dimensionamento geométrico, porém os conceitos do GD&T possuem um alto grau de complexidade e muitas empresas não especificam as dimensões conforme as normas. Neste contexto, existem desenhos mal cotados que, por sua vez, dificultam um controle correto das dimensões pela metrologia industrial. A inconsistência desses conceitos (interpretação e definição da estratégia de medição) provoca erros de medição, aumentando a incerteza da mesma.

As normas têm objetivo de padronizar os conceitos entre clientes e fornecedores a fim de estabelecer relações comerciais justas. Para isto, os conceitos das mesmas precisam ser bem compreendidos, proporcionando relações pacíficas.

Humienny (2009) comenta que, em 1997, B. Grant observou que era preciso difundir a prática de Dimensionamento Geométrico e Tolerâncias não apenas com exemplos, mas padronizando regras para estabelecer a prática aceita como melhor possível e aplicada de uma forma comum em todo o mundo, aproveitando da melhor forma possível a tecnologia disponível. Com isso é possível:

- diminuir a incerteza na concepção e fabricação de produtos;
- aumentar a produtividade dos esforços da engenharia e da produção;
- aumentar o uso de computadores e outras tecnologias avançadas em projeto e fabricação.

A adoção de uma norma específica no projeto é uma escolha da empresa que gera o desenho (normalmente definida pelo cliente). Por outro lado, algumas empresas precisam fornecer produtos para clientes diferentes e adotam, para cada um, normas distintas. Assim estas empresas precisam se aprofundar ao conhecimento das mesmas.

Considerando o alto grau de complexidade, a superficialidade quanto ao conhecimento destas normas e suas diferenças, uma empresa pode fornecer produtos não conformes para seu cliente ou rejeitar produtos conformes e aumentar o custo da não qualidade.

Como a simbologia dos controles geométricos (apresentada no capítulo 2, nas figuras 2.5 e 2.6) entre as normas ISO 1101 e ASME Y14.5 é semelhante, os profissionais que destas se utilizam inferem que a metodologia de controle também seja igual. Porém não é este o fato. Como exemplo, a tolerância de perpendicularidade tem o símbolo \perp nas duas normas. No entanto, a interpretação é diferente. Neste contexto, é preciso que haja uma discussão e

difusão do conhecimento sobre as diferenças entre as normas ISO e ASME no que tange ao dimensionamento e tolerância.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Este trabalho visa a estudar e verificar as possíveis diferenças entre as medições de orientação, aplicando os conceitos definidos em cada norma mencionada. Também visa a identificar o conhecimento destas normas entre os profissionais, além de discutir os possíveis impactos sobre o processo produtivo.

1.2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos da pesquisa são:

- a) estudar a estruturação das normas aplicadas aos conceitos de controle geométrico;
- b) analisar os métodos de controle de orientação e posição entre as normas ISO 1101 e ASME Y14.5 e verificar as diferenças de critérios entre as mesmas;
- c) verificar experimentalmente, por meio de medições em máquinas de medição por coordenadas, o controle de perpendicularidade e se as diferenças são significativas utilizando as duas normas;
- d) verificar, por meio de pesquisa, a consciência dos engenheiros usuários das normas de controle geométrico sobre a existência das diferenças entre as mesmas;
- e) comparar os resultados obtidos pelas MMC's considerando a mesma norma;
- f) discutir os possíveis impactos sobre as medições realizadas utilizando critérios iguais em produtos que aplicam normas diferentes.

1.3 Estruturação do texto

O capítulo 2 apresenta um breve histórico do surgimento do GD&T, as normas mais utilizadas no âmbito global e descreve sua organização e estruturação, além de ressaltar,

resumidamente, as diferenças existentes entre elas. O capítulo apresenta como o setor automotivo as utiliza, explica alguns conceitos utilizados ao longo desta dissertação, como o significado do elemento de tamanho (FOS) e como é realizado o controle de posição e/ou orientação para esse tipo de elemento.

O capítulo 3 apresenta os detalhes da construção da peça em estudo, a metodologia de medição e os equipamentos utilizados neste experimento. Também mostra a metodologia utilizada na pesquisa feita entre os profissionais da área industrial sobre o conhecimento das diferenças entre as normas.

O capítulo 4 mostra os resultados e análise das medições realizadas nas amostras utilizadas, além dos resultados e análise da pesquisa realizada entre os profissionais da área industrial com respeito ao conhecimento das diferenças entre as normas.

No capítulo 5 são apresentadas as conclusões sobre os resultados alcançados e outras análises observadas devido a outras diferenças que não eram o foco deste trabalho, assim como sugestões para futuros trabalhos nessa área.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Histórico

Existem poucas fontes de literatura sobre o surgimento do dimensionamento geométrico e tolerâncias. A maioria das citações vem da breve história que F. H. Rolt expôs no prefácio do livro de Stanley Parker (1956), *Drawings and Dimensions*, conforme mencionado por MacMillan (2014). Outras partes do histórico apresentado neste trabalho também foram extraídas do mesmo material. No anexo A é apresentado o descritivo a seguir de forma gráfica e simplificada.

Com a Revolução Industrial iniciou-se a utilização do sistema de tolerâncias. Sua principal particularidade foi a substituição do trabalho artesanal pelo assalariado, com a utilização das máquinas. Com a necessidade de peças intercambiáveis, o sistema de dimensionamento adotado foi o cartesiano, baseado nos conceitos definidos pelo cientista e filósofo René Descartes. Este sistema de tolerâncias, portanto, é baseado a partir de coordenadas cartesianas. A Figura 2.1 apresenta um exemplo de desenho dimensionado nesse sistema.

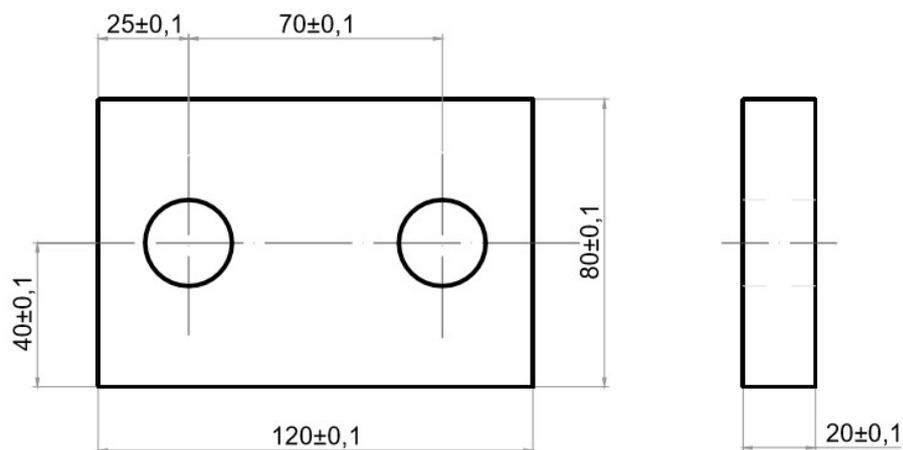


FIGURA 2.1 – Dimensionamento no sistema cartesiano.

FONTE – Autor

O engenheiro Stanley Parker foi o criador do GD&T na década de 30, de acordo com *NADCA Product Specification Standards for Die Castings* (2009). No entanto, a utilização dessa metodologia só ganhou impulso após a Segunda Guerra Mundial.

Em 1935, a *American Standards Association* (ASA) publicou a primeira norma reconhecida para desenhos (*American Drawing and Drafting Room Practices*) de acordo com Krulikowski (1999). Nessa norma apenas dois parágrafos abordavam o assunto de tolerâncias.

Stanley Parker, engenheiro da *Royal Torpedo Factory*, Escócia, realizou experiências e demonstrou que a zona de tolerância para o posicionamento na montagem devia ser circular e não quadrada como se apresenta no sistema cartesiano. O Ministério de Fornecimento inglês então publicou normas pioneiras sobre desenho em 1944, e posteriormente publicou o documento *Dimensional Analysis of Engineering Design – Ministry of Supply* (1948). A figura 2.2 apresenta um exemplo de desenho dimensionado pelo sistema geométrico com o campo circular. Neste exemplo as cotas que indicam a posição dos furos ficam dentro de retângulos e são chamadas cotas básicas (ASME) ou TED (*Theoretical Exact Dimension*) – dimensão teoricamente exata (ISO). Também são indicadas as referências onde é determinado o ponto inicial da medição. O controle da posição é indicado pelo quadro de controle do elemento em que é especificado o campo de tolerância e a ordem de restrição das referências.

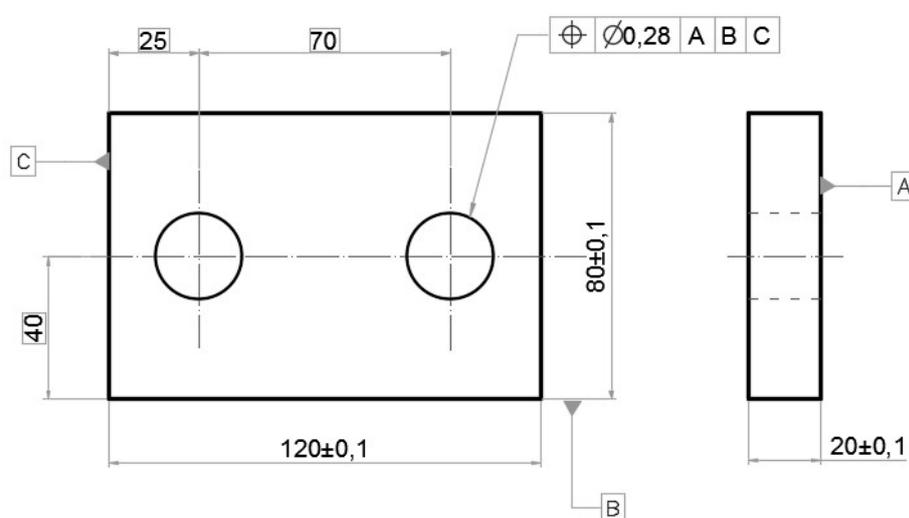


FIGURA 2.2 – Dimensionamento no sistema geométrico.

FONTE – Autor

Em 1945, o exército americano publicou um manual de dimensionamento e tolerâncias que introduziu o uso dos símbolos no lugar das notas para especificar forma e tolerâncias de posição.

A norma inglesa BS308 só introduziu os conceitos de GD&T em 1953 por meio da contribuição de Parker. Em 1957, a ASA (*American Standard Association*), em coordenação

com britânicos e canadenses, publicou a primeira norma sobre dimensionamento e tolerâncias. Já em 1966 foi publicada a norma ANSI Y14.5, que era a unificação das normas ASA, militar e SAE. Esta norma teve novas atualizações em 1973, 1982, 1994 e atualmente é válida a versão de 2009. Desde a versão de 1982, a publicação foi realizada pela ASME.

Com relação às normas ISO, Bennich (2013) publicou uma lista com mais de 300 normas relevantes relacionadas ao tema GPS (*Geometric Product Specification*). Observa-se, nessa lista, que a primeira norma ISO sobre tolerâncias de forma e posição foi editada em julho de 1969, sob o número ISO/R1101. A designação R significa recomendação, que não é mais utilizada. Esta foi substituída em 1983 pela ISO 1101. Posteriormente foi substituída pela versão de 2004. Atualmente a versão vigente é a de 2012.

Humienny (2009) comenta que em 1996 foi estabelecido o comitê ISO/TC 213 liderado por Per Bennich com o objetivo de resolver os problemas de contradições, falhas e falta de coesão entre as normas de GPS. Atualmente este comitê é presidido por Dr. Henrik S. Nielsen (até fim de 2017), conforme informações do site da ISO.

Em 2010, um grupo de estudo foi criado para comparar e contrastar as normas ISO com a ASME Y14.5-2009. O objetivo do grupo era mapear as lacunas e contradições entre as duas normas, além de propor sugestões para trabalhos futuros. O primeiro rascunho apresentado está no anexo B.

2.2 Conjunto das normas ISO e ASME

2.2.1 Normas ISO

Segundo a ISO 14638/1995, a matriz GPS possui um arranjo constituído por 4 diferentes grupos principais de normas:

- normas GPS fundamentais;
- normas GPS globais;
- normas GPS gerais;
- normas GPS complementares.

Conforme Bennich (2013), a ISO possuía uma quantidade de 194 normas vigentes relacionadas ao assunto GPS. Formulou-se um conceito fundamental de cadeia de normas. A estrutura desta cadeia de normas é apresentada na figura 2.3.

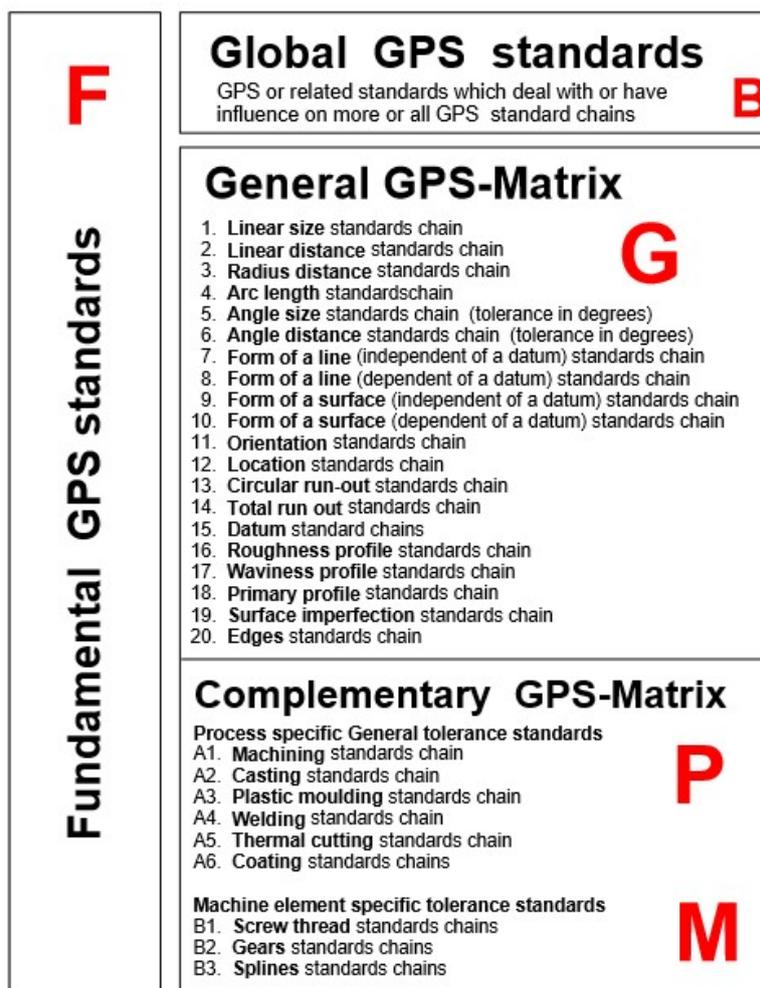


FIGURA 2.3 – Estrutura da matriz GPS.

FONTE – Bennich, 2013, p 3

As normas GPS fundamentais são aquelas que estabelecem as regras e os procedimentos fundamentais para o dimensionamento e tolerância do GPS de peças e produtos. São duas as normas que compõem o grupo de normas GPS Fundamentais:

- ISO 8015:2011 - *Geometrical product specifications (GPS) -- Fundamentals -- Concepts, principles and rules;*
- ISO 14638:2015 - *Geometrical product specifications (GPS) -- Matrix model.*

As normas GPS globais são aquelas que abrangem ou influenciam várias ou todas as cadeias de normas GPS gerais e normas GPS complementares. Bennich (2013) apresenta uma lista na qual as normas que compõem o grupo GPS Global em vigor são descritas. As duas primeiras normas citadas nesta lista afetam esse estudo.

- ISO 14660-1:1999 – *Geometrical Product Specifications (GPS) - Geometrical features - Part 1: General terms and definitions*. Esta norma foi substituída pela ISO 17450-1:2011;
- ISO 17450-1:2011 – *Geometrical product specifications (GPS) -- General concepts -- Part 1: Model for geometrical specification and verification*;
- ISO 1:2016 – *Geometrical product specification (GPS) - Standard reference temperature for geometrical product specification and verification*;
- ISO 14253-1:2013 – *Geometrical product specifications (GPS) -- Inspection by measurement of workpieces and measuring equipment -- Part 1: Decision rules for proving conformity or nonconformity with specifications*;
- ISO 14253-2:2011 – *Geometrical product specifications (GPS) -- Inspection by measurement of workpieces and measuring equipment -- Part 2: Guidance for the estimation of uncertainty in GPS measurement, in calibration of measuring equipment and in product verification - 2011 - Cor 1:2013*;
- ISO 14253-3:2011 – *Geometrical Product Specification (GPS) - Inspection by measurement of workpieces and measuring equipment - Part 3: Guidelines for achieving agreements on measurement uncertainty statements*;
- ISO 14253-4:2010 – *Geometrical Product Specification (GPS) - Inspection by measurement of workpieces and measuring equipment - Part 4: Background on functional limits and specification limits in decision rules*;
- ISO/TR 14253-6:2012 – *Geometrical product specifications (GPS) -- Inspection by measurement of workpieces and measuring equipment -- Part 6: Generalized decision rules for the acceptance and rejection of instruments and workpieces*;
- ISO 14406:2010 – *Geometrical Product Specifications (GPS) – Extraction*;
- ISO 14978:2006 – *Geometrical Product Specifications (GPS) - General concepts and requirements for GPS measuring equipment - Technical Corrigendum 1:2006*;
- ISO/TR 16015:2003 – *Geometrical Product Specifications (GPS) - Systematic errors and contributions to measurement uncertainty of linear dimensional measurements due to thermal influences*;

- ISO/TS 16610-01:2015 – *Geometrical Product Specifications (GPS) - Filtration - Part 1: Overview and basic concepts;*
- ISO/TS 16610-20:2015 – *Geometrical Product Specifications (GPS) - Filtration - Part 20: Linear profile filters: Basic concepts;*
- ISO 16610-21:2011 – *Geometrical product specifications (GPS) -- Filtration – Part 21: Linear profile filters: Gaussian filters;*
- ISO/TS 16610-22:2015 – *Geometrical product specifications (GPS) - Filtration - Part 22: Linear profile filters: Spline filter;*
- ISO/TS 16610-28:2010 – *Geometrical product specifications (GPS) -- Filtration – Part 28: Profile filters: End effects;*
- ISO/TS 16610-29:2015 – *Geometrical product specifications (GPS) - Filtration - Part 29: Linear profile filters: Spline Wavelets;*
- ISO/TS 16610-30:2015 – *Geometrical product specifications (GPS) -- Filtration – Part 30: Robust profile filters: Basic concepts;*
- ISO/TS 16610-31:2010 – *Geometrical Product Specifications (GPS) - Filtration - Part 31: Robust profile filters: Gaussian regression filters;*
- ISO/TS 16610-32:2009 – *Geometrical product specifications (GPS) - Filtration - Part 32: Robust profile filters: Spline filters;*
- ISO/TS 16610-40:2015 – *Geometrical product specifications (GPS) - Filtration - Part 40: Morphological profile filters: Basic concepts;*
- ISO/TS 16610-41:2015 – *Geometrical Product Specifications (GPS) - Filtration - Part 41: Morphological profile filters: Disk and horizontal segment filters;*
- ISO/TS 16610-49:2015 – *Geometrical Product Specifications (GPS) - Filtration - Part 49: Morpho- logical profile filters: Scale space techniques;*
- ISO 17450-2:2012 – *Geometrical product specifications (GPS) — General concepts — Part 2: Basic tenets, specifications, operators, uncertainties and ambiguities;*
- ISO/TR 23605:2009 – *Technical product specification (TPS) -- Application guidance -- International model for national implementation;*
- ISO 25378:2011 – *Geometrical product specifications (GPS) -- Characteristics and conditions – Definitions.*

As normas GPS gerais são o corpo principal de normas GPS que estabelece regras para indicações em desenho, definições e princípios de verificação para diferentes tipos de características geométricas. Existem diversas normas que compõem o grupo GPS Geral. Aqui são citadas apenas aquelas relacionadas a esse estudo.

- ISO 1101:2012 – *Geometrical Product Specification (GPS) - Geometrical tolerancing – Tolerances of form, orientation, location and run-out: 2012 - Corrigendum 1:2013*;
- ISO 14405-1:2016 – *Geometrical Product Specification (GPS) - Dimensional Tolerancing Linear Sizes*;
- ISO 22432:2011 – *Geometrical product specifications (GPS) - Features utilized in specification and verification*.

As normas GPS complementares são aquelas que estabelecem regras complementares para indicações em desenho, definições e princípios de verificação para uma categoria específica de características ou elementos. Essas regras dependem do tipo de processo de fabricação e / ou do tipo de elemento de máquina propriamente dito.

Humienny (2009) também comenta que cada cadeia de normas possui seis conexões que formam uma ligação sem ambiguidade entre a indicação do desenho e o resultado de medição. As dezoito cadeias de normas, cada uma cobrindo sua característica geométrica específica, são usadas na estrutura completa descrita em uma matriz. A matriz modelo é explicada em detalhes no *Technical Report ISO/TR 14638*. A estrutura desta cadeia de normas, conforme Humienny, é apresentada na figura 2.4. Nessa dissertação optou-se por manter a versão original da tabela, não efetuando a tradução da mesma.

Global GPS standards								
General GPS standards								
Fundamental GPS standards	GPS characteristic/feature	Chain link number						
		1	2	3	4	5	6	
	1	Size	Product documentation indication – codification	Definitions of tolerances	Definitions of characteristics of actual (real) feature	Assessment of the workpiece deviations – comparison with limits	Measurement equipment requirements	Calibration requirements – measurement standards
	2	Distance						
	3	Radius						
	4	Angle						
	5	Form of line independent of datum						
	6	Form of line dependent on datum						
	7	Form of surface independent of datum						
	8	Form of surface dependent on datum						
	9	Orientation						
	10	Location						
	11	Circular run-out						
	12	Total run-out						
	13	Datums						
	14	Roughness profile						
	15	Waviness profile						
	16	Primary profile						
	17	Surface imperfections						
18	Edges							

FIGURA 2.4 – Estrutura da matriz GPS conforme norma ISO/TR 14638.

FONTE – Humienny, 2009, p. 2

2.2.1 Normas ASME

A ASME Y14.100 estabelece os requisitos essenciais e documentos de referência aplicáveis na preparação e revisão de desenhos de engenharia. Nesta é mencionado que a norma associada ao dimensionamento geométrico é a Y14.5. Day (2009) explica que algumas normas apresentadas na Y14.100 são complementares e definem a forma de controle de elementos em processos específicos. Dentre elas temos:

- ASME Y14.8 – *Castings and Forgings*;
- ASME Y14.41 – *Digital Product Definition Data Practices*;
- ASME Y14.43 – *Dimensioning and Tolerancing Principles for Gages and Fixtures*.

A ASME Y14.5 é bem extensa e por isso não existe necessidade de muitas normas adicionais.

2.3 ISO 1101 versus ASME Y14.5

Geralmente uma norma é atualizada para resolver problemas e evitar ambiguidades. Em relação à ISO, o comitê TC213 trabalha sobre as normas GPS a fim de resolver as contradições, lacunas e falta de coesão entre elas. Como mencionado na justificativa deste trabalho, B. Grant, em 1997, comentou que era necessário disseminar a prática do dimensionamento geométrico e tolerância não somente com exemplos, mas padronizando as regras para estabelecer a prática amplamente aplicada e aceita de uma forma comum ao redor do mundo, o que ajudará a reduzir as incertezas no projeto e na produção, aumentar a produtividade dos esforços de engenharia e da produção e aumentar o uso de computadores e outras tecnologias avançadas no projeto e na manufatura.

Humienny (2009) também comenta que os dois sistemas de tolerâncias – ISO e ASME – têm muito em comum, mas não são totalmente compatíveis. Podemos observar nas figuras 2.5 e 2.6 a semelhança da simbologia apresentada nas normas ISO 1101 e ASME Y14.5. Essas normas não possuem versão em português e por isso optou-se por mantê-las em sua versão original.

Table 1 — Symbols for geometrical characteristics

Tolerances	Characteristics	Symbol	Datum needed	Subclause
Form	Straightness	—	no	18.1
	Flatness	▭	no	18.2
	Roundness	○	no	18.3
	Cylindricity	⊘	no	18.4
	Profile any line	⤿	no	18.5
	Profile any surface	⤿	no	18.7
Orientation	Parallelism	//	yes	18.9
	Perpendicularity	⊥	yes	18.10
	Angularity	∠	yes	18.11
	Profile any line	⤿	yes	
	Profile any surface	⤿	yes	
Location	Position	⊕	yes or no	18.12
	Concentricity (for centre points)	⊙	yes	18.13
	Coaxiality (for axes)	⊙	yes	18.13
	Symmetry	≡	yes	18.14
	Profile any line	⤿	yes	18.6
	Profile any surface	⤿	yes	18.8
Run-out	Circular run-out	↗	yes	18.15
	Total run-out	↗	yes	18.16

FIGURA 2.5 – Simbologia das características geométricas conforme ISO 1101.

FONTE – ISO 1101, 2012, p. 5

Fig. 3-1 Geometric Characteristic Symbols

APPLICATION	TYPE OF TOLERANCE	CHARACTERISTIC	SYMBOL	SEE:
INDIVIDUAL FEATURES	FORM	STRAIGHTNESS		5.4.1
		FLATNESS		5.4.2
		CIRCULARITY		5.4.3
		CYLINDRICITY		5.4.4
INDIVIDUAL OR RELATED FEATURES	PROFILE	PROFILE OF A LINE		8.2.1.2
		PROFILE OF A SURFACE		8.2.1.1
RELATED FEATURES	ORIENTATION	ANGULARITY		6.3.1
		PERPENDICULARITY		6.3.3
		PARALLELISM		6.3.2
	LOCATION	POSITION **		7.2
		CONCENTRICITY		7.6.4
		SYMMETRY		7.7.2
	RUNOUT	CIRCULAR RUNOUT		9.4.1
		TOTAL RUNOUT		9.4.2
* Arrowheads may be filled or not filled ** May be related or unrelated				3.3.1

FIGURA 2.6 – Simbologia das características geométricas conforme ASME Y14.5.

FONTE – ASME Y14.5, 2009, p.51

Apesar da semelhança entre os símbolos, as normas ISO e ASME possuem muitas diferenças no uso e interpretação. Algumas delas são significantes e afetam o critério de aceitação. Mesmo quando dois símbolos são iguais nas normas ISO e ASME, geralmente apresentam diferenças em seu uso e interpretação, conforme observado por Krulikowski (2012). Se alguém conhece a ASME e interpreta um desenho mecânico preparado de acordo com a ISO, possivelmente encontrará problemas.

Alguns exemplos nos quais os símbolos são os mesmos, mas com interpretação diferente, são os controles de orientação (perpendicularidade, paralelismo e inclinação) e localização (posição) de um elemento de tamanho. Humienny (2009) mostra um exemplo (como mostrado na figura 2.7) em que o mesmo símbolo é usado para a tolerância de posição de acordo com a ISO 1101 e de acordo com a ASME Y14.5, entretanto com interpretação diferente. De acordo com a ISO, a linha mediana extraída (o elemento real) deve estar dentro da zona de tolerância. Porém, de acordo com a ASME, o eixo do cilindro inscrito (o elemento ideal) deve estar dentro da zona de tolerância.

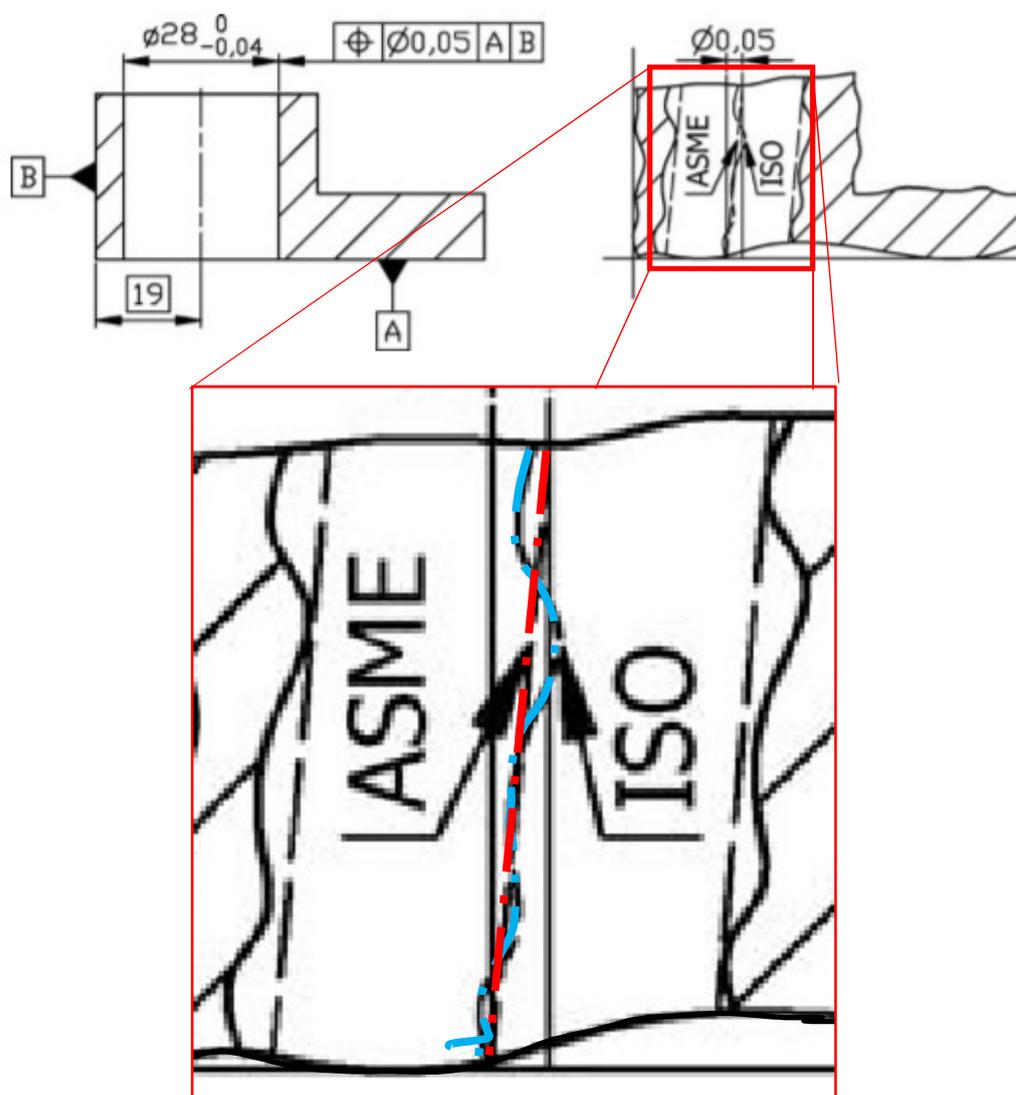


FIGURA 2.7 – Exemplo de diferença de interpretação entre as normas ISO e ASME.

FONTE – Humienny, 2009, p. 2

2.4 Uso das normas no setor automotivo

Muitas montadoras utilizam os conceitos de GD&T em seus desenhos mecânicos e algumas delas estabelecem uma norma (ISO ou ASME) para uso dos fornecedores como um requisito específico.

Geralmente as montadoras americanas aplicam a norma ASME Y14.5 e as europeias a norma ISO 1101. Assim, a General Motors, Ford Company e Chrysler aplicam a ASME Y14.5. FIAT também aplica a ASME Y14.5 devido a sua associação com a Chrysler. Volvo, MAN, Iveco, Renault e Peugeot Citroen S/A aplicam a ISO 1101.

A General Motors tem um requisito específico para os fornecedores sobre dispositivos, pois estes precisam compreender os conceitos do GD&T. A norma que estabelece

estes conceitos é a “*GM Fixture Standards (GM1925)*”, que resume os requisitos mínimos para todos os PPAPs (*Production Part Approval Process*) dos fornecedores GM ao redor do mundo que utilizam dispositivos de controle. Todos os dispositivos devem ser construídos de acordo com o modelo matemático tridimensional e o GD&T. Os desenhos mecânicos GM especificam a ASME Y14.5 como a norma a ser aplicada.

A SOR (*Statement of Requirements - Declaração de Requisitos*) da FORD estabelece que a ASME Y14.5-2009 é a norma que deve ser utilizada em seus desenhos.

2.5 Elemento de tamanho

Como este trabalho trata de medição de orientação ou posição de um elemento de tamanho, a seguir é apresentada a sua definição.

O termo em inglês *feature of size* (FOS) não é mencionado no VIM 2012 (Vocabulário Internacional de Metrologia). Por este motivo a tradução utilizada aqui foi estabelecida pelo autor como elemento de tamanho. Elementos de tamanho são geometrias simples como esferas, cilindros (interno ou externo) e planos opostos que podem ser definidos com uma dimensão e tolerância, conforme mostrado na figura 2.8.

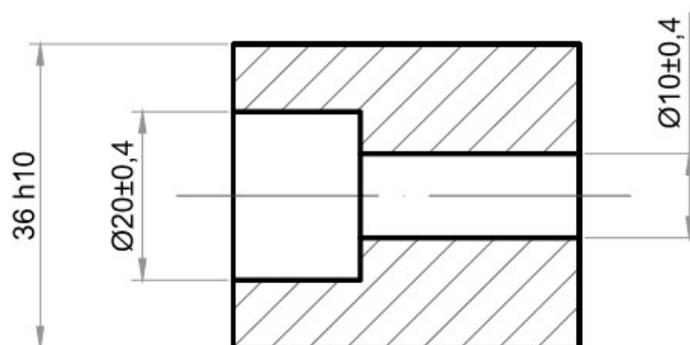


FIGURA 2.8 – Exemplos de elemento de tamanho.

FONTE – Autor

A norma ISO 1101/2012 menciona a ISO 14405-1/2016, que estabelece dois tipos de elemento de tamanho:

- elemento de tamanho linear: pode ser um cilindro, uma esfera, dois planos paralelos opostos, um círculo, duas linhas retas opostas paralelas e dois círculos opostos, isto é, a espessura de parede de um tubo;

- elemento de tamanho angular: essa norma não se detém na explicação desse tipo de elemento.

Tamanho é uma característica intrínseca do elemento de tamanho que pode ser o diâmetro de um cilindro (interno ou externo) ou a distância entre dois planos paralelos.

A norma ISO 22432/2011, entretanto, não faz distinção entre elemento de tamanho linear e elemento de tamanho angular; apenas define que o elemento de tamanho é um elemento geométrico com uma ou mais características intrínsecas, sendo que apenas uma delas pode ser considerada como um parâmetro variável, que é adicionalmente um membro de uma "família monoparamétrica", e obedece à propriedade de contenção monotônica para esse parâmetro. Também diz que um elemento de tamanho pode ser uma esfera, um círculo, duas linhas retas, dois planos paralelos opostos, um cilindro, um toróide, etc. Essas diferenças de definição sobre o elemento de tamanho entre as normas ISO 14405-1 e ISO 22432 não são o foco deste trabalho, são citadas apenas para demonstrar que elas existem.

A ASME Y14.5-2009 estabelece que existem dois tipos de elementos de tamanho:

- elemento de tamanho regular é único porque:
 - contém pontos opostos;
 - pode conter ou ser contido por um envelope real como uma esfera, cilindro ou par de planos paralelos;
 - tem limites (não é básico);
 - segue a regra número 1 da ASME Y14.5-2009.
- elemento de tamanho irregular não tem todas as características de um elemento de tamanho regular, por isso não segue a regra número 1 da ASME Y14.5-2009.

Day (2009) explica que a regra número 1 da ASME Y14.5-2009 estabelece que os limites de tamanho controlam a forma do elemento, isto é, o tamanho local real em cada seção transversal deverá estar dentro dos limites de tamanho e que a superfície ou superfícies de um elemento não deverá ultrapassar um limite, ou envelope, de forma perfeita.

Essa dissertação usa o conceito de “elemento de tamanho linear” em relação às normas ISO e “elemento de tamanho” regular em relação às normas ASME por haver conceitos similares nas duas normas. Para simplificar e padronizar, esse conceito, a partir de agora, será apenas referenciado como “elemento de tamanho” nesse trabalho.

2.6 Controle de orientação e posição

Elementos de uma peça apresentam erros inerentes ao processo de manufatura que não são matematicamente perfeitos. Quando se mede um elemento, é realizada uma coleta de pontos do elemento (nuvem de pontos) que se aproxima da forma real.

Nas normas ASME e ISO existem critérios que definem como o elemento de tamanho deve ser tratado. Para efetuar o controle de orientação ou localização, o centro do elemento de tamanho deve ser obtido.

Quando a tolerância de posição, perpendicularidade, paralelismo e inclinação forem aplicadas ao elemento de tamanho, a tolerância geométrica estará controlando o ponto central, o plano central ou o eixo central do envelope de acoplamento do elemento conforme a ASME Y14.5-2009. Para cilindros, deve-se obter o centro do maior cilindro inscrito (para furos) ou o centro do menor cilindro circunscrito (para pinos). A figura 2.9 mostra um eixo como elemento cilíndrico real (elemento da peça real) e o centro do menor cilindro circunscrito do elemento real. Este centro deve estar dentro da zona de tolerância especificada no quadro de controle do elemento para ser aprovada.

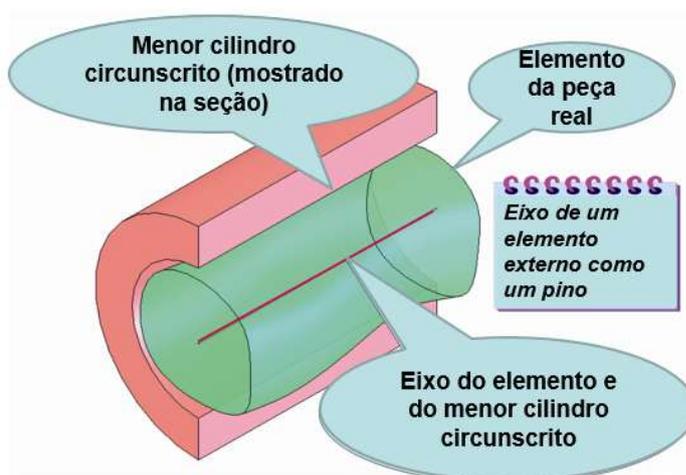


FIGURA 2.9 – Obtendo o eixo do elemento conforme ASME Y14.5-2009.

FONTE – Don Day, 2009, p. 10

A norma ISO 1101/2012 define que a linha mediana extraída (elemento real) do centro do elemento cilíndrico deve estar dentro da zona de tolerância especificada. A norma especifica no item 4.3 que para se obter esta linha mediana deve-se consultar as normas ISO 14660-1 e a ISO/TS 17450-1. Simion (2008) mostra na figura 2.10 os detalhes de como se obtém esta linha mediana extraída.

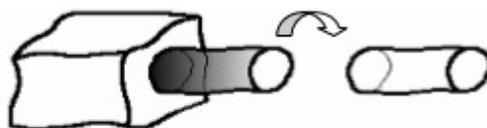


Fig. 15 Operations – partition 1.



Fig. 16 Operations – association 1.

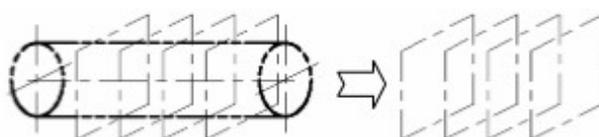


Fig. 17 Operations – construction.

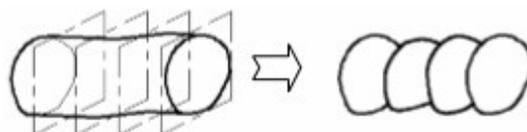


Fig. 18 Operations – partition 2.

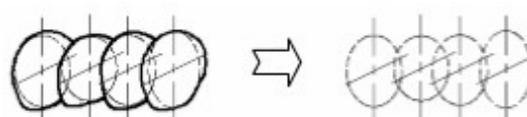


Fig. 19 Operations – association 2.



Fig. 20 Operations – collection.

FIGURA 2.10 – Obtendo o eixo do elemento conforme ISO 14660-1 e ISO/TS 17450-1.

FONTE – Simion, 2008, p. 44

Na ISO 22432 são descritos diversos tipos de elementos. Um deles é chamado de elemento substituto. Este é um elemento único ideal associado a um elemento não ideal, como utilizado em técnicas tridimensionais (máquinas de medição por coordenadas). Apesar do fato da ISO 1101 definir a linha mediana extraída (real) de um elemento não ideal, as tridimensionais aplicam um elemento ideal associado a um elemento não ideal.

As MMC's usam algoritmos complexos e nelas o cálculo é realizado pelos mínimos quadrados para determinar o elemento ideal de um cilindro. Esses algoritmos são considerados propriedade intelectual dos fabricantes de MMC's e, por este motivo, não foram aqui abordados. Mesmo havendo a disponibilidade desses algoritmos, sua análise metrológica

não faz parte do escopo desse trabalho. Fato é que as incertezas acerca desse elemento ideal dependem muito do número de pontos colhidos, como explicado pelo fabricante Zeiss (2016).

Esse fabricante de MMC descreve em seu catálogo que, ao contrário do escaneamento por pontos, a apalpação contínua da superfície (escaneamento) da peça permite a rápida captura de um elevado número de pontos de medição para uma determinada característica e que existem diversos estudos científicos que mostram a existência de uma correlação clara entre a incerteza de uma característica e o número de pontos de medição. A figura 2.11 apresenta esta correlação e mostra que o método de escaneamento coleta milhares de pontos, permitindo uma incerteza de medição menor.



FIGURA 2.11 – Incerteza de medição devido ao número de pontos de medição.

FONTE – Zeiss, 2016, p. 18

3. METODOLOGIA

3.1 Controle de Orientação e Localização

A fim de simplificar o teste, este trabalho mostra o controle de perpendicularidade de um pino redondo em relação a uma base plana. No entanto, a compreensão de um controle de perpendicularidade em um elemento de tamanho é semelhante ao controle de posição e orientação (perpendicularidade, paralelismo e inclinação).

Normalmente, o controle desse tipo de elemento é por meio da verificação do centro real da peça em relação à referência definida no desenho técnico.

Duas peças foram utilizadas com elementos cilíndricos (pinos) contendo desvios da forma e orientação. O desenho das amostras está na figura 3.1. Uma das amostras foi preparada com um desvio significativo (~ 2 mm) e outra com um desvio menor ($\sim 0,2$ mm). A peça com o maior desvio foi preparada com um empeno realizado em uma prensa para que seu centro tenha uma forma fletida, perceptível mesmo a olho nu, conforme demonstrado na figura 3.2. A amostra com o desvio menor foi preparada com um pino retilíneo.

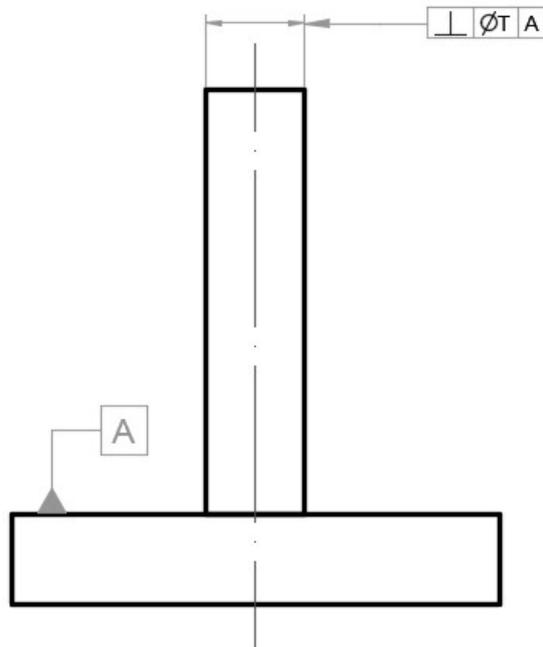


FIGURA 3.1 – Desenho do protótipo proposto.

FONTE – Autor

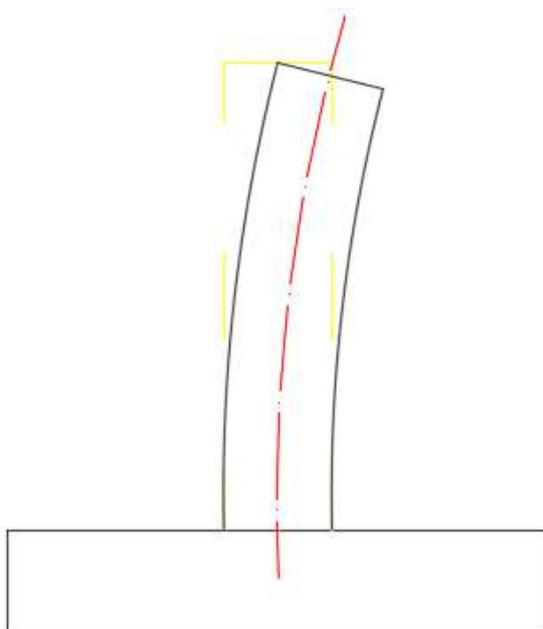


FIGURA 3.2 – Demonstração do protótipo com forma fletida (peça com desvio ~2mm).

FONTE – Autor

Na condição com maior desvio, o centro do pino conforme a norma ISO (linha mediana extraída) será uma curva, conforme apresentado na figura 3.2. Ao adotar o critério da norma ASME (centro do menor cilindro circunscrito), o centro será uma reta, conforme mostrado na figura 3.3.

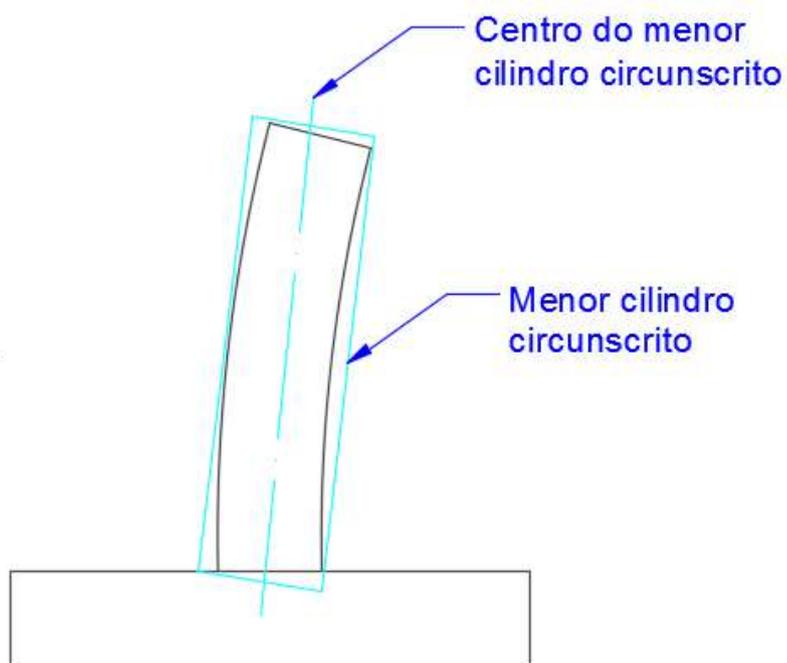


FIGURA 3.3 – Demonstração do centro conforme norma ASME.

FONTE – Autor

Estas condições foram estabelecidas para demonstrar a diferença de cálculos entre as normas.

3.2 Máquinas de medição por coordenadas utilizadas

Foram utilizadas cinco máquinas de medição por coordenadas (MMC), uma no campus da UFMG e as demais em três outros laboratórios.

A MMC da UFMG é uma TESA MH 3D 4.5.4 com sua última calibração realizada em 08/04/13 apresentando incerteza de:

$$U_{95} = (3,0 + 1,0L / 250) \mu\text{m} \text{ (comprimento L em mm)} \quad (3.1)$$

A segunda MMC é uma Mitutoyo M Bright com calibração válida até maio de 2016.

A terceira MMC é um Coord 3 Ares com última calibração realizada em 23 de novembro de 2015.

A quarta MMC é uma Dea Scirocco. A calibragem não estava disponível. A terceira e a quarta MMC utilizadas foram realizadas em um mesmo laboratório.

A quinta MMC é uma Zeiss Duramax com cabeçote VAST XXT (*Scanning* passivo) com software de medição Calipso. A incerteza de medição volumétrica é de:

$$U_{95} = 2,4 + (L/300) \mu\text{m} \text{ (comprimento L em mm)} \quad (3.2)$$

Sua última calibração ocorreu em 23 de julho de 2016. Esta medição foi realizada no laboratório da própria fabricante.

3.3 Metodologia aplicada nos testes

A peça foi referenciada no plano superior, conforme indicado na figura 3.1. Para isto, foi realizada uma coleta de quatro pontos nesta superfície. No caso da medição realizada na MMC da Zeiss, foi utilizado o método de escaneamento desta superfície.

Os pontos XYZ de um pino foram obtidos no espaço que compreende a nuvem de pontos do elemento cilíndrico em análise. Esta nuvem de pontos obedeceu aos seguintes critérios:

- o elemento cilíndrico foi dividido em 5 seções, conforme mostrado na figura 3.4, e para cada seção foram coletados 6 pontos;
- estes pontos foram usados para calcular a perpendicularidade de acordo com as duas normas em análise. O cálculo foi realizado pelo software da MMC utilizada;
- por se utilizar o método de escaneamento, a MMC da Zeiss fez milhares de pontos em cada seção e não seguiu o padrão anterior.

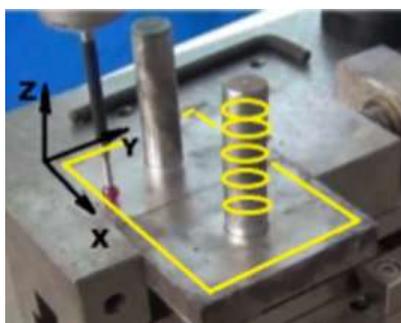


FIGURA 3.4 – Divisão do cilindro em 5 seções.

FONTE – Relatório Zeiss, 2016, p. 3

A empresa Zeiss (2016) demonstra na figura 3.5 que uma quantidade pequena de pontos coletados influenciará no resultado de medição. Por outro lado, a elevada densidade de pontos medidos também permite obter uma melhor reprodutibilidade das medições.

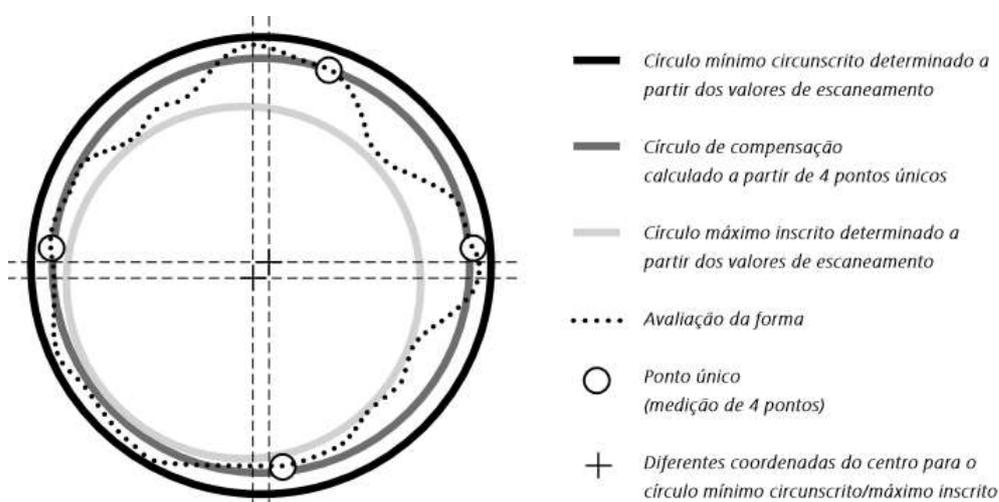


FIGURA 3.5 – Comparativo entre resultados de medição por pontos e por escaneamento.

FONTE – Zeiss, 2016, p. 20

3.4 Pesquisa sobre conhecimento das diferenças entre as normas

Uma pesquisa foi preparada a fim de identificar o conhecimento dos profissionais das áreas de desenvolvimento, fabricação, metrologia e educação sobre as diferenças entre as normas ISO 1101 e ASME Y14.5.

As seguintes perguntas foram propostas aos entrevistados:

- em qual setor econômico você trabalha?
- em qual departamento você trabalha?
- qual seu tempo de experiência?
- você aplica conceitos de GD&T em suas atividades de trabalho?
- qual norma relacionada com o GD&T você aplica em seu trabalho?
- se você usa as duas normas (ISO e ASME), você conhece as principais diferenças entre elas?

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Controle de Orientação

As medições na UFMG foram realizadas a uma temperatura de $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$. Observou-se que o software do equipamento não fornece uma maneira de escolher o cálculo do elemento de tamanho por mínimos quadrados (ISO) ou pelo mínimo cilindro circunscrito (ASME). Portanto, não foi possível encontrar a diferença entre as medições conforme ISO 1101 ou conforme ASME Y14.5. Os resultados encontrados estão descritos na tabela 4.1.

TABELA 4.1
Resultados da MMC disponível na UFMG

Equipamento	Condição de Cálculo	Peça 1 (Perp. ~0,2mm)	Peça 2 (Perp. ~2,0mm)
TESA MH 3D 4.5.4	ISO	0,175	1,760

FONTE – Autor

O fabricante da MMC TESA MH 3D (UFMG), no entanto, esclareceu que o seu software está em conformidade com os requisitos da ISO. Para medir de acordo com os requisitos da ASME é necessário um software adicional.

Medições realizadas no segundo laboratório ocorreram a uma temperatura de $(22,8 \pm 0,5)^\circ\text{C}$. Observou-se também que esta MMC, assim como a anterior, não permite a medição de erros de orientação seguindo a norma ISO 1101 ou mesmo a ASME Y14.5. O software da MMC não fornece alternativas de escolher o elemento de tamanho pelos mínimos quadrados (ISO) ou o mínimo cilindro circunscrito (ASME). Portanto, não foram consideradas as medições realizadas com o fim de detectar as diferenças entre as normas. Os resultados encontrados estão descritos na tabela 4.2.

TABELA 4.2

Resultados da MMC disponível no segundo laboratório

Equipamento	Condição de Cálculo	Peça 1 (Perp. ~0,2mm)	Peça 2 (Perp. ~2,0mm)
Mitutoyo M Bright	ISO	0,480	2,614
		0,489	2,725
		0,488	2,664

FONTE – Autor

O fabricante Mitutoyo explicou que o software utilizado nos seus equipamentos está em conformidade com os requisitos da ISO, e que a versão do software disponível nesse laboratório em particular é uma versão (V2.0 R3) que ainda não tem a possibilidade de escolher uma característica de acordo com a ISO ou ASME. A versão da MMC em questão só pode escolher a média dos mínimos quadrados de uma circunferência. Para escolher o cilindro pelos mínimos quadrados ou cilindro pelo mínimo circunscrito, uma versão 3.0 ou superior é necessária.

Outros fabricantes de MMC confirmaram que, em seus equipamentos, aplica-se o padrão ISO e, geralmente, não fornecem informações detalhadas sobre como diferenciar o controle da orientação ou localização seguindo as normas em questão.

Outras duas MMC's permitiram medir as peças conforme as duas normas e foram obtidos os valores conforme descritos na tabela 4.3.

TABELA 4.3

Resultados de duas MMCs.

Equipamento	Condição de Cálculo	Peça 1 (Perp. ~0,2mm)	Peça 2 (Perp. ~2,0mm)
MMC Coord 3 Ares	ISO	0,2064	2,7711
		0,2111	2,7639
		0,2121	2,7626
	ASME	0,2044	2,7702
		0,2051	2,7679
		0,2074	2,7670
MMC Dea Scirocco	ISO	0,162	1,979
	ASME	0,162	1,982

FONTE – Autor

Na medição realizada pela MMC Coord 3 Ares, utilizou-se um apalpador fixo. A figura 4.1 apresenta um exemplo de cabeçote fixo com cinco apalpadores. No experimento realizado, foi utilizado um cabeçote semelhante com dois apalpadores na posição horizontal e opostos um ao outro.



FIGURA 4.1 – Exemplo de apalpador fixo.

FONTE – Hexagon Manufacturing Intelligence (2016)

Na medição realizada pela MMC Dea Scirocco, utilizou-se um apalpador móvel. A figura 4.2 apresenta um exemplo de cabeçote móvel com um apalpador. Neste experimento foram coletados seis pontos, porém apenas no semicírculo de cada seção.



FIGURA 4.2 – Exemplo de apalpador móvel.

FONTE – Renishaw (2016)

Três resultados foram obtidos na MMC Coord 3 Ares. Na tabela 4.4 estão apresentados os cálculos da média e do desvio padrão.

TABELA 4.4

Cálculo da média e desvio padrão dos resultados obtidos na MMC Coord 3 Ares.

Condição de cálculo	Condição de Cálculo	Peça 1 (Perp. ~0,2mm)	Peça 2 (Perp. ~2,0mm)
ISO	Média	0,2099 mm	2,7659 mm
	Desvio padrão	3,0 μm	4,6 μm
ASME	Média	0,2056 mm	2,7684 mm
	Desvio padrão	1,6 μm	1,2 μm
Diferença das médias (90% de abrangência)		(4,2 \pm 4,1) μm	(2,5 \pm 5,8) μm

FONTE – Autor

No experimento realizado na MMC Coord 3 Ares, foi necessária uma coleta de pontos para o cálculo segundo a norma ISO e outra coleta para o cálculo segundo a norma ASME. Este equipamento não permitia o cálculo para as duas normas da mesma nuvem de pontos coletada. A medição realizada na MMC Coord 3 Ares foi feita três vezes para cada norma, o que certamente contribuiu para seu respectivo desvio padrão. Mesmo nessa condição, os resultados demonstraram uma diferença entre as normas ISO e ASME e podem ser verificados através do teste unilateral das médias amostrais (t-teste com 90%), conforme Montgomery (2001).

No experimento realizado com a MMC Dea Scirocco, havia a possibilidade do cálculo do erro de orientação para as duas normas da mesma nuvem de pontos. Teoricamente isto permite a melhor comparação direta. Entretanto, neste experimento, somente foi possível tocar em um lado da peça, ou seja, em um semicírculo de cada seção.

No experimento realizado com a MMC da Zeiss, foi utilizada a técnica de escaneamento da superfície e cálculo, utilizando a mesma nuvem de pontos. Em cada seção foi escaneada a circunferência, encontrada a linha mediana extraída, conforme definido pela norma ISO e o centro do mínimo cilindro circunscrito, definido pela ASME. O cálculo realizado por este equipamento apresentou os resultados conforme tabela 4.5. O relatório completo fornecido pela Zeiss está no anexo C.

TABELA 4.5

Resultados obtidos pela MMC Zeiss Duramax.

Equipamento	Condição de Cálculo	Peça 1 (Perp. ~0,2mm)	Peça 2 (Perp. ~2,0mm)
Zeiss Duramax	ISO	0,1374	1,8700
	ASME	0,1171	1,7756
Diferença entre os cálculos		0,0203	0,0944
Incerteza U_{95}		$\pm 0,0026$	

FONTE – Autor

A incerteza expandida U_{95} da MMC Zeiss foi estimada em $2,6\mu\text{m}$ utilizando uma dimensão L igual a 50mm na equação 3.2, mencionada no item 3.2 da metodologia.

Conforme descrito na revisão bibliográfica, o método de escaneamento permite uma incerteza menor quando comparado com o método de poucos pontos, com sistema de apalpadores de ativação por contato. Desta forma é possível visualizar a diferença entre a aplicação de cada norma.

4.2 Pesquisa sobre o conhecimento das diferenças entre as normas.

Esta pesquisa envolveu uma amostra de 161 profissionais no Brasil, de diversas áreas de atuação, apresentando maior participação do setor automotivo, como apresentado na figura 4.3.

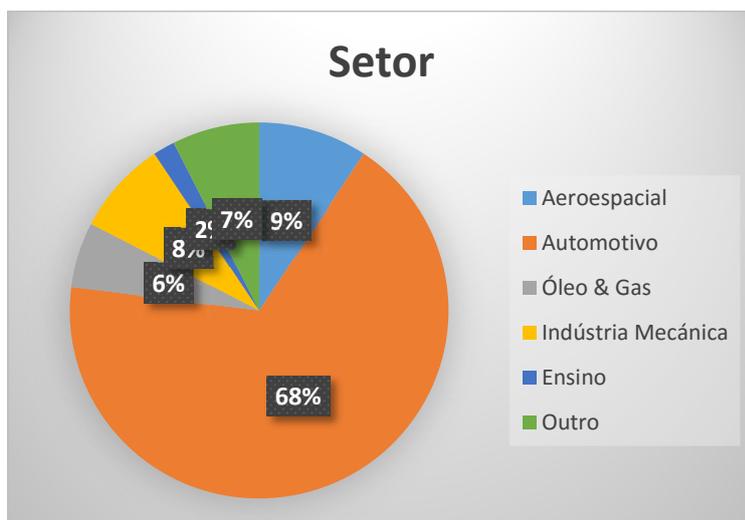


FIGURA 4.3 – Distribuição de participação da pesquisa por setor econômico.

FONTE – Autor

O estudo obteve uma participação maior dos departamentos de desenvolvimento e qualidade, como mostrado na figura 4.4, e uma distribuição de experiência bem balanceada, como apresentado na figura 4.5. Não houve participação de estudantes nesse levantamento.

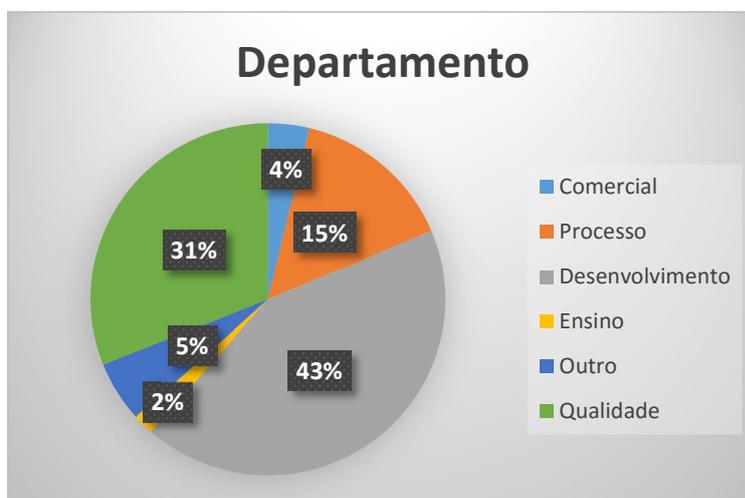


FIGURA 4.4 – Distribuição de participação da pesquisa por departamento interno.

FONTE – Autor



FIGURA 4.5 – Distribuição de participação da pesquisa por experiência.

FONTE – Autor

76% dos entrevistados utilizam os conceitos de GD&T em suas atividades. Se considerarmos apenas os entrevistados do setor automotivo, este percentual sobe para 83%. Estes percentuais estão demonstrados nas figuras 4.6 e 4.7.

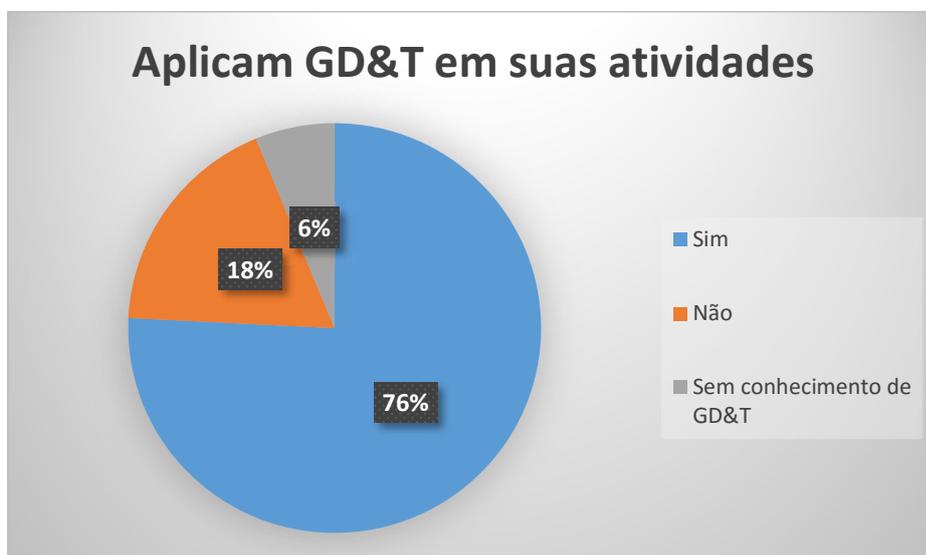


FIGURA 4.6 – Distribuição de participação da pesquisa por profissionais que aplicam GD&T.

FONTE – Autor

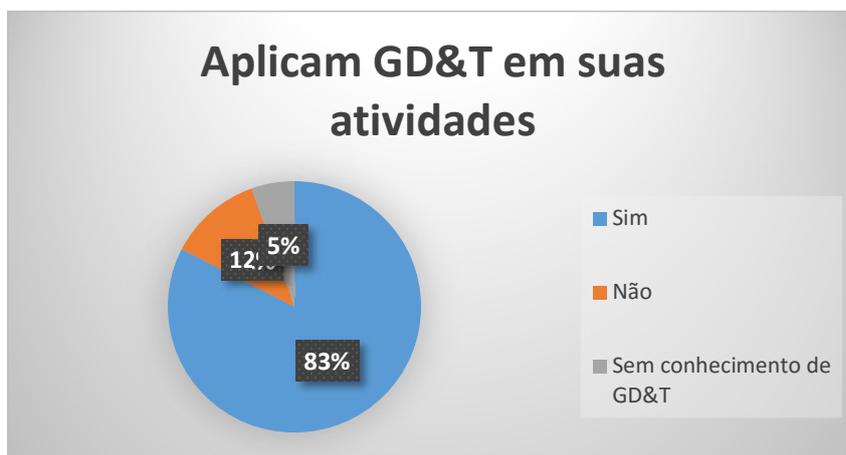


FIGURA 4.7 – Distribuição de participação da pesquisa por profissionais que aplicam GD&T no setor automotivo.

FONTE – Autor

Desses profissionais que aplicam GD&T em suas atividades, 56% utilizam a norma ASME Y14.5 e 34% a norma ISO 1101, como apresentado na figura 4.8. Esse percentual se altera um pouco quando consideramos apenas o setor automotivo. Assim, os percentuais são 51% que utilizam a ASME Y14.5 e 41% a ISO 1101.

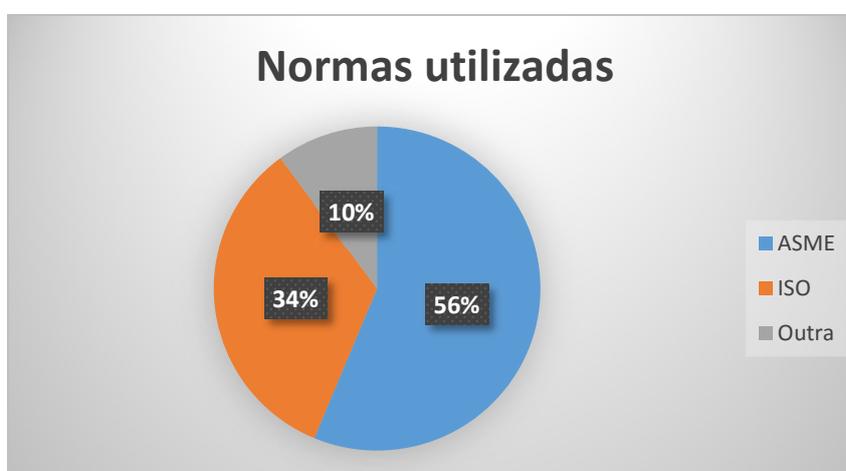


FIGURA 4.8 – Utilização das normas entre os profissionais que aplicam GD&T em suas atividades.

FONTE – Autor

Dentre os profissionais que aplicam o GD&T em suas atividades, somente 20% sabem as principais diferenças entre as normas, como mostrado na figura 4.9. Este número é menor no setor automotivo, que apresenta o percentual de apenas 13%.

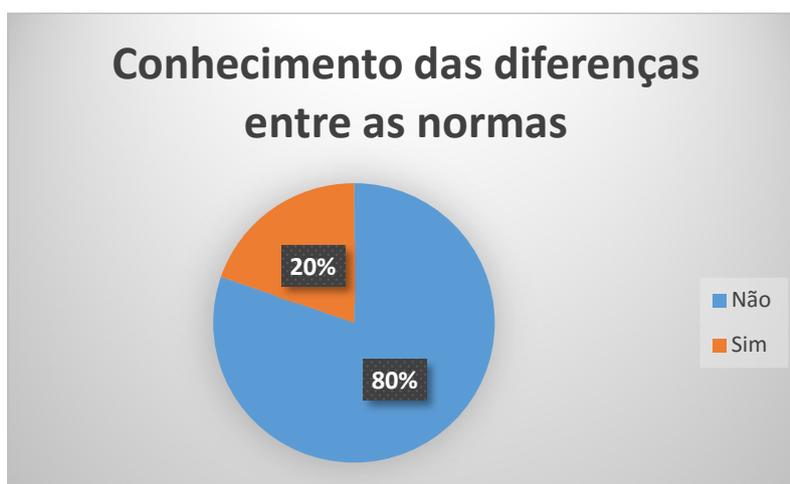


FIGURA 4.9 – Conhecimento dos profissionais sobre as diferenças entre as normas.

FONTE – Autor

Alguns dos profissionais, participantes desta pesquisa, aplicam apenas uma das normas em suas atividades e, por isso, não se preocupam em conhecer estas diferenças. Entretanto, empresas fornecedoras de produtos para clientes que exigem normas distintas também desconhecem estas desigualdades.

4.3 Discussão dos resultados.

Existe uma contribuição na incerteza de medição quando se calcula posição ou orientação seguindo os critérios da norma ASME ou da ISO. O método de cálculo para controle de posição ou orientação estabelecido pela norma ISO considera o centro do elemento como a linha mediana extraída. Já a ASME considera o centro do cilindro mínimo circunscrito. Uma das contribuições que influenciam os resultados é o número de pontos coletados.

Outro fator que influencia os resultados é a coleta de pontos realizada separadamente para cálculo, ora na ISO, ora na ASME.

O experimento utilizando o método de escaneamento e cálculo com a mesma nuvem de pontos demonstrou que existe uma diferença importante entre as normas. Para um caso específico, em uma tolerância relativamente alta de 0,11mm, esta diferença chega a 17%.

O cálculo de perpendicularidade realizado pela MMC Zeiss utilizou a mesma nuvem de pontos, e por isso a incerteza de medição desta MMC não influencia nos resultados. Além desse fato, a incerteza de medição da MMC Zeiss é muito inferior à diferença encontrada no cálculo entre as normas.

Ao construir as amostras, considerando uma delas com o pino fletido e a outra retilínea, esperava-se encontrar uma diferença maior no erro da peça fletida. De forma absoluta, esses resultados foram confirmados pelas medições, entretanto observou-se que a peça retilínea e com um erro menor apresentou um resultado em que a diferença de cálculo entre as normas é proporcionalmente maior.

Observou-se também que as outras MMC's utilizadas nos experimentos tiveram uma contribuição maior na incerteza de medição devido aos erros de reprodutibilidade relacionados ao número de pontos coletados, capacidade de coleta de pontos em todo o contorno ou apenas em seu semicírculo, cálculo dos controles em momentos diferentes para uma norma ou outra e falta de módulo no software de cálculo para atendimento em uma das normas. Verificou-se que as diferenças entre as MMC's são muito maiores que as diferenças entre as normas. A tabela 4.6 apresenta um comparativo das diferenças entre as MMC's utilizando a norma ISO 1101 e a tabela 4.7 a norma ASME Y14.5.

TABELA 4.6

Comparativo de resultados médios entre as MMCs conforme ISO 1101.

Equipamento	Condição de Cálculo	Peça 1 (Perp. ~0,2mm)	Peça 2 (Perp. ~2,0mm)
TESA MH 3D 4.5.4	ISO	0,175	1,760
Mitutoyo M Bright		0,486	2,668
MMC Coord 3 Ares		0,2099	2,7659
MMC Dea Scirocco		0,162	1,979
Zeiss Duramax		0,1374	1,8700

FONTE – Autor

TABELA 4.7

Comparativo de resultados médios entre as MMCs conforme ASME Y14.5

Equipamento	Condição de Cálculo	Peça 1 (Perp. ~0,2mm)	Peça 2 (Perp. ~2,0mm)
MMC Coord 3 Ares	ASME	0,2056	2,7684
MMC Dea Scirocco		0,162	1,982
Zeiss Duramax		0,1171	1,7756

FONTE – Autor

A estrutura de normas ISO relacionadas ao GPS é significativamente mais complexa que a das normas ASME. Esta complexidade exige do profissional um domínio de muitas normas as quais, normalmente, não estão disponíveis na maioria das empresas.

Considerando apenas as normas ISO citadas nesse estudo (cinco normas válidas), a soma dos valores desembolsados por uma empresa seria de oitocentos francos suíços (dados do site ISO), que utilizando a taxa de conversão do Banco do Brasil (24/11/16), corresponderia a um valor aproximado de R\$2677,00 (dois mil, seiscentos e setenta e sete reais). Este valor será muito maior para a compra de todas as normas relacionadas aos controles geométricos. Como discutido no capítulo dois, são quase duzentas normas da estrutura ISO/GPS, conforme Bennich (2013). Também é necessário considerar que as normas evoluem com certa frequência, o que exige do profissional a atualização de seu banco de normas constantemente.

A estrutura da ASME possui poucas normas, sendo que a principal é a Y14.5, cujo valor no site da instituição é de duzentos dólares americanos. Utilizando a taxa de conversão do Banco do Brasil (23/11/16), este valor corresponderia a aproximadamente R\$680,00 (seiscentos e oitenta reais). A norma Y14.5 cobre quase todas as informações relativas às características geométricas que o profissional utiliza. Dessa forma, o valor a ser desembolsado por uma empresa é substancialmente menor quando comparado às normas da ISO.

Estes valores inviabilizam que a maioria das empresas possua o conjunto dessas normas e as mantenham atualizadas.

A falta de conhecimento sobre as regras das normas que regem as tolerâncias geométricas, bem como suas diferenças, pode gerar projetos de produtos que não atendem à necessidade do cliente. Quem produz a peça pode interpretar incorretamente o que o projetista esperava e, após o controle de qualidade, pode-se considerar peças boas como não conformes ou peças reprovadas, como conformes. A precisão na comunicação deve ser garantida entre todos os departamentos de uma organização que usa desenhos mecânicos e nas relações entre cliente e fornecedor. Ficou também evidenciado que um percentual significativo de profissionais, dentro da amostra estudada, desconhece as diferenças entre as normas.

Algumas empresas possuem profissionais responsáveis pela engenharia dimensional, porém essa disciplina ainda é muito incipiente na indústria. Uma pequena quantidade de literatura desse assunto está disponível em português e geralmente não é abordado nas graduações de engenharia no Brasil de forma que o estudante seja preparado para esta metodologia.

5. CONCLUSÕES

5.1 Conclusão.

A confiabilidade das medições é um importante fator para que as transações comerciais sejam realizadas de forma justa e pacífica, explica Albertazzi (2015). Além das incertezas inerentes aos processos de medição, existem critérios definidos pelas normas ASME e ISO para controlar um elemento, que podem acrescentar uma contribuição significativa à incerteza geral. Se essas influências não são bem compreendidas ou mesmo reconhecidas, pode-se aumentar o risco de reprovar peças conformes e/ou aprovar peças não conformes.

Ficou evidenciado que existe uma contribuição na incerteza de medição quando se calcula posição ou orientação seguindo os critérios da norma ASME ou da ISO. O experimento em que o método de escaneamento foi utilizado demonstrou que existe uma diferença importante entre as normas. Entretanto, observou-se também que, apesar da contribuição da diferença entre as normas sobre a incerteza de medição, a falta de reprodutibilidade é mais significativa quando utilizamos MMC's diferentes, métodos de medição diferentes, com palpadores diferentes etc. Dentre as normas de controle geométrico, as mais utilizadas mundialmente são a ISO 1101 e a ASME Y14.5. A maioria das MMCs aplica a ISO 1101 como padrão, contudo a norma ASME Y14.5 é mais utilizada pelos profissionais que utilizam o GD&T.

A estrutura das normas ISO relacionadas ao GPS é significativamente mais complexa que a das normas ASME. Esta complexidade exige do profissional um grande domínio de conceitos, além de custos elevados para as empresas.

A precisão na comunicação deve ser garantida entre todos os departamentos de uma organização que usa desenhos mecânicos e nas relações entre cliente e fornecedor. Ficou evidenciado que um percentual significativo dos profissionais dentro da amostra estudada desconhece as diferenças entre as normas. O conhecimento e aplicação desse assunto não é tão imediato, pois os profissionais são preparados nas escolas com o conceito do sistema cartesiano.

Muitas empresas industriais possuem MMC's similares às que foram utilizadas nestes experimentos, isto é, pequenas e compactas. Algumas destas MMC's necessitam de software adicional, mas geralmente com alto custo devido à complexidade dos algoritmos para extrair os elementos e efetuar os cálculos conforme norma específica. Assim, o que se mede hoje pelas MMC's pode ser questionado quando se mede tolerâncias de orientação ou posição.

Além do exposto acima, observou-se que as MMC's utilizam o método de elemento associado para o cálculo de erro de orientação ou posição, todavia a norma ISO 1101

estabelece que este cálculo deveria ser efetuado pelo elemento extraído. Desta forma, a ISO deveria atualizar a descrição de sua definição do elemento a ser controlado ou solicitar que os fabricantes de MMC's revisem a forma de cálculo desses controles.

5.2 Estudos Futuros.

O número elevado de normas, principalmente da ISO, impossibilita a maioria dos profissionais conhecerem o assunto de forma completa. Existe a necessidade de, em um único estudo, mostrar a relação entre as normas. O comitê ISO/TC 213 relaciona centenas de normas relacionadas ao assunto GPS.

Apesar de o foco dos comitês das normas ser a eliminação de ambiguidades e inconsistências, ainda é comum encontrar esses problemas nas normas, principalmente na ISO. Como exemplo, foi apresentada a diferença de conceitos sobre elemento de tamanho entre as normas ISO 14405-1 e a ISO 22432. Faz-se necessário um estudo de forma que conceitos não apresentem duplicidade a fim de se evitar tais ambiguidades ou inconsistências.

Como demonstrado, proporcionalmente, o pino considerado retilíneo obteve uma diferença de cálculo entre as normas maior que o pino fletido. Entretanto, como o número de amostras foi pequeno, não podemos afirmar que esta é uma regra. Trabalhos podem ser desenvolvidos considerando pinos com diversos erros de inclinação e/ou retitude a fim de verificar tal hipótese.

Devido à limitação de laboratórios, disponibilidade de MMCs e custos envolvidos, este estudo se limitou a poucos resultados. Ainda serão necessários estudos que verifiquem influência de apalpadores, influência de métodos e influência entre MMCs.

Normalmente o método utilizado em um laboratório metrológico é bem simplificado, coletando poucos pontos. Uma discussão se torna necessária para entender o impacto que os métodos podem ter sobre os resultados de medição.

Conforme discutido, os documentos que fazem comparações entre as normas são poucos, sendo que, devido à atualização constante dessas, grande parte já está defasada. Tomando como exemplo o setor automotivo, muitos fornecedores de autopeças possuem alguns clientes que aplicam as normas ISO e outros, as normas ASME. Assim, aqueles precisam compreender o impacto devido à diferença entre estas normas. Fazem-se necessários estudos constantes sobre essas diferenças a fim de auxiliar a engenharia no Brasil.

Nessa pesquisa entre os profissionais no Brasil, não foi possível identificar a incerteza dos resultados em função de todos aqueles que se utilizam desta metodologia. Não foi

encontrado estudo que identifique a quantidade de profissionais que a utilizam. Na entrevista realizada, foi verificado apenas se eles conheciam as principais diferenças entre as normas, porém não foi verificado o seu nível de conhecimento. Ainda existe campo de pesquisa para entender sobre a influência desse conhecimento entre os profissionais e seus impactos.

ABSTRACT

Dimensional variations inherent in a manufacturing process are the reason for the existence of the acceptance tolerance concept on a product characteristic. The geometric quotation system has many advantages over the Cartesian system by avoiding ambiguity in the interpretation on form, orientation and location errors. The two main standards that define the geometric dimensioning on a mechanical design are ISO1101/2012 and ASME Y14.5-2009. However, there are differences of interpretation even when the same symbols are mentioned in these standards. When a company, for example, supplies parts to OEMs that apply different geometric dimensioning standards, it is important that all involved professionals understand these differences to ensure product quality. This study presents the results obtained from the control of perpendicularity using the criteria of each standard as an example of the impact when choosing one of them. A survey was conducted among professionals within the Brazilian industry in order to find out how well these two standards and, in particular, their differences are known. Data obtained from this survey shows there is still a significant lack of knowledge.

Key words: GD&T, GPS, Mechanical Design, Metrology, Measurement Uncertainty, Tolerances.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Albertazzi A., Sousa A., **Fundamentos de Metrologia Científica e Industrial**, Manole, 2015, p. 2.

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

Bennich P., **GPS Relevant ISO-Standards**, 2013, 26ª edição, Vaerloese, Dinamarca, p. 3

Day D., **The GD&T Hierarchy Y14.5-2009**, Tec-Ease Inc., 2009, pp. 24-25 (Chapter 2),

GM Fixture Standards (GM1925), 2005, General Motors Corporation.

Henzold G., **Geometrical Dimensioning and Tolerancing for Design, Manufacturing and Inspection**, BH, 2006, p.327-350, 356 ISBN- 978-0-7506-67388.

Humienny Z., **State of art in standardization in GPS area**, CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, 2009

INMETRO **Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia**, VIM, 2012

ISO 1101/2012, Geometrical product specifications (GPS) — Geometrical tolerancing — Tolerances of form, orientation, location and run-out

ISO 14405-1:2016 – **Geometrical Product Specification (GPS) - Dimensional Tolerancing Linear Sizes**

ISO 14638:2015 - **Geometrical product specifications (GPS) -- Matrix model.**

ISO 14660-1:1999 – **Geometrical Product Specifications (GPS) - Geometrical features - Part 1: General terms and definitions.**

ISO 17450-1:2011 – **Geometrical product specifications (GPS) -- General concepts -- Part 1: Model for geometrical specification and verification**

ISO 22432:2011 – **Geometrical product specifications (GPS) - Features utilized in specification and verification**

ISO/R 1101/1969, **Geometrical product specifications (GPS) — Geometrical tolerancing — Tolerances of form, orientation, location and run-out**

Krulikowski e DeRaad, **Dimensioning and Tolerancing Handbook** (chapter 6 - Differences Between US Standards and Other Standards). McGraw-Hill Education, New York, Chicago, San Francisco, Athens, London, Madrid, Mexico City, Milan, New Delhi, Singapore, Sydney, Toronto , 1999 ISBN 0-07-018131-4 p. 6-1.

Krulikowski A., **Fundamentals of Geometric Dimensioning and Tolerancing**, DELMAR Cengage Learning, 2012, p.396 ISBN-13: 978- 1-1111-2982-8

MacMillan D. e Krandall R., **Circuitous Root** Disponível em:
<http://www.circuitousroot.com/artifice/drafting/drawing-studies/dt/history-geometric/index.html>.

Acesso em: 15/09/2016.

Ministry of Supply, **Dimensional Analysis of Engineering Design**, HMSO, 1948

Montgomery D. **Design and Analysis of Experiments**, John Wiley & Sons, Inc, 2001

NADCA, **NADCA Product Specification Standards for Die Castings**, Engineering & Design: Geometric Dimensioning 2009. Acesso em: 09.06.2015. Disponível em:
<http://www.tcdcinc.com/media/NADCA%20GD&T.pdf>.

Parker S., **Drawings and Dimensions**, 1956

SILVA, A. [et al.]. **Desenho Técnico Moderno**, GEN, São Paulo p. 118, 2012.

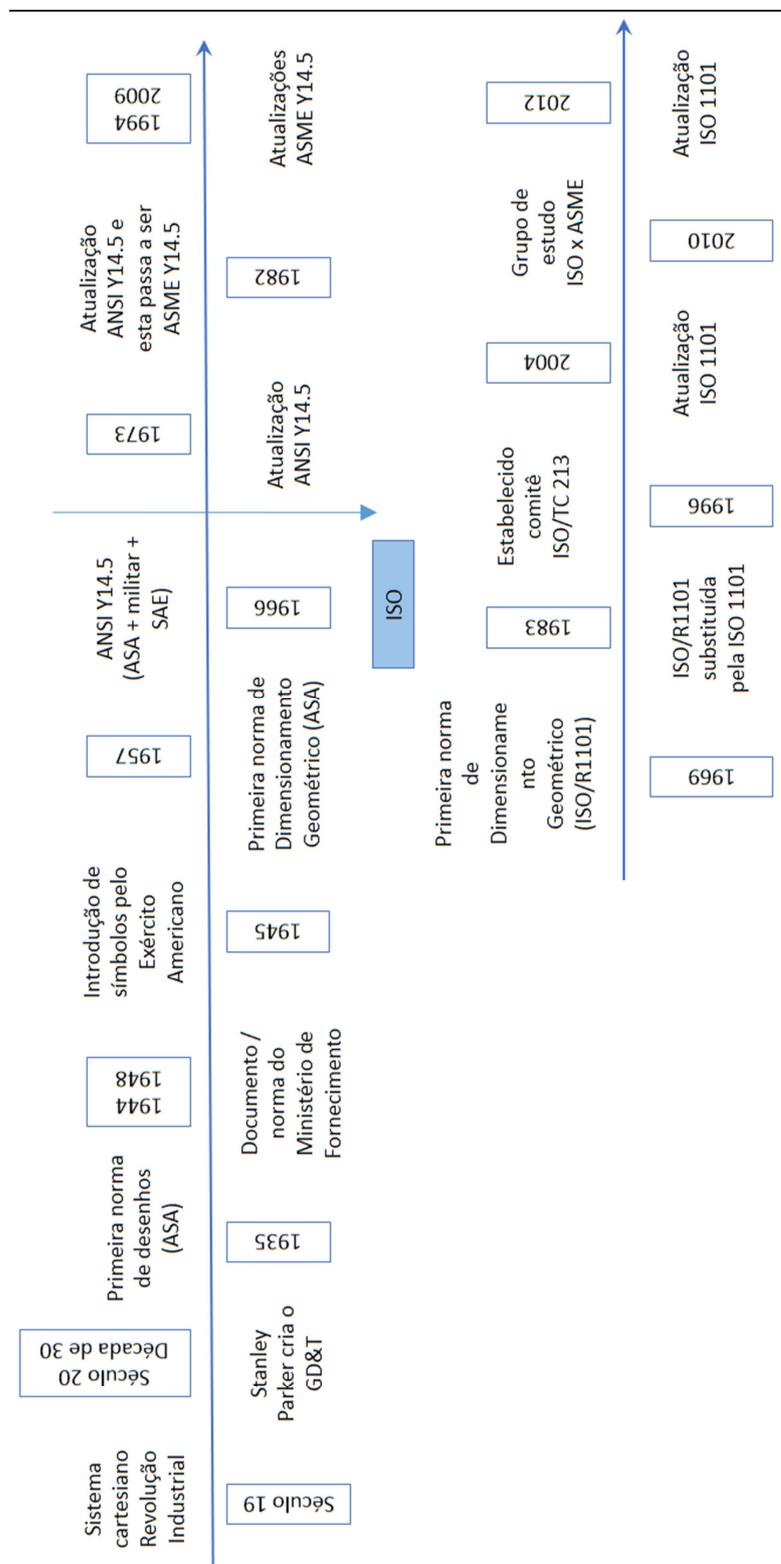
Simion, I [et al], **Geometric Product Specification**, 2008, p44 11

Souza A. Wandek M., **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**, Salvador, 2009.

Zeiss, Catálogo **Maxline, Máquinas de Medição na Produção**, Carl Zeiss do Brasil Ltda, São Paulo, p. 18, 2016.

ANEXO A

A.1 Representação gráfica do histórico das normas de GD&T.



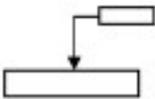
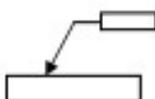
ANEXO B

A.1 Rascunho comparativo normas ASME e ISO feito pelo Comitê ISO/TC 213.

2010-01-19

DRAFT OUTLINE

Study Group on ISO 1101/Y14.5
COMPARISON OF ISO AND ASME STANDARDS

ITEM	ISO/TC 213	ASME Y14.5	
Projection method	First angle	Third angle	
Fundamental tolerancing principle	Independency	Rule #1	
Indication of GD&T			
Basic dimension indication			
Reading direction	Parallel to dimension line	Always parallel to lower edge of paper	
Standards required	Multiple standards – one subject one standard ISO policy	One standard ASME Y14.5 – 2009	
Application of tolerances	Derived feature	Actual mating envelope	
Terminology	No equivalent term	Boundary, inner	
	No equivalent term	Boundary, outer	
	No equivalent term	Boundary, least material (LMB)	
	No equivalent term	Boundary, maximum material (MMB)	
	No equivalent term	Datum feature simulator (theoretical)	
	No equivalent term	Datum feature simulator (practical)	
	Derived feature		Center point
			Derived median plane
			Derived medial line
			Envelope, actual mating
	Nominal derived feature		Center point, axis, or center plane
	Feature: geometrical feature		Feature
	Integral feature		
	Nominal integral feature		
	Real integral feature		
	Feature of size		Feature of size
			Regular feature of size
Irregular feature of size			
Real surface of a workpiece		Produced feature	
Extracted integral feature		Extracted feature	
Extracted derived feature		Center point, derived medial	

ITEM	ISO/TC 213	ASME Y14.5
		line, derived median plane
	Associated derived feature	Center point, derived median line, derived median plane
	No equivalent term	Statistical tolerancing
	No equivalent term	Tolerance
	No equivalent term	Tolerance, bilateral
	Tolerance, geometrical	Tolerance, geometric
		Tolerance, unilateral
		True position
		True profile
		Uniform tolerance zone

ANEXO C

B.1 Relatório dimensional da empresa Zeiss.

O relatório abaixo está digitalizado na íntegra.

CZB – IMT



UFMG



Ronaldo Stivalli
Gerente de Vendas – IMT
E-mail: ronaldo.stivalli@zeiss.com
Tel.: 011-97510-7490



CZB – IMT



UFMG – Comparativo de resultados

Escopo: Comparativo de resultados de acordo com diferentes normas de avaliação.

Material utilizado na demonstração:

- Máquina de medição por Coordenadas modelo Duramax com cabeçote VAST XXT (Scanning passivo)
- Software de medição Calypso
- Corpos (02) de prova fornecidos pela UFMG

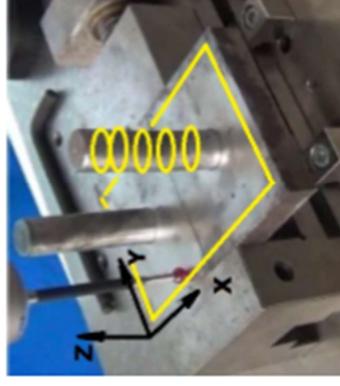
Procedimento adotado:

- Medição dos corpos de prova (cilindros e plano) utilizando medição por scanning e avaliação da característica de perpendicularidade através de duas diferentes normas (ISO 1101 e ASME Y 14.5-2009).

UFMG – Comparativo de resultados

Procedimento detalhado de medição:

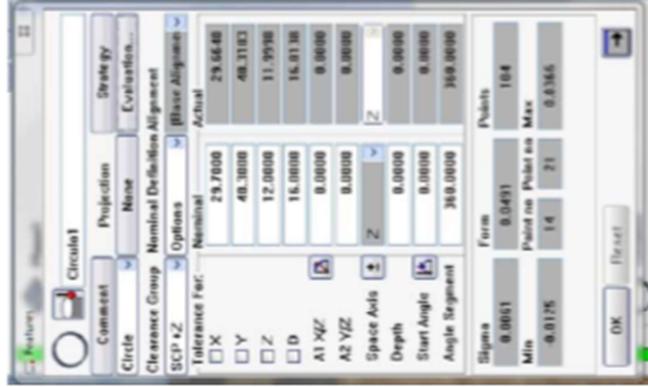
1. Alinhamento matemático da peça através da medição de um plano (linha amarela) para nivelamento, medição de uma linha na face lateral direita para alinhamento e um ponto na face frontal, definindo assim sistema coordenado (x,y e z).
2. Executado a medição dos dois cilindros através de 5 seções circulares para cada cilindro através de scanning.
3. Gerar os dois cilindros rechamando as respectivas 5 seções circulares.
4. Fazer avaliação de perpendicularidade para cada cilindro com relação a superfície medida na fase inicial do processo. Gerando assim os resultados de perpendicularidade 1 e 2.
5. Nesta etapa a avaliação os resultados obtidos estavam sendo controlados através da norma ISO 1101.
6. Rechamar todas as seções circulares medidas anteriormente utilizando agora a norma ASME.
7. Através destes resultados gerar outros dois cilindros.
8. Fazer avaliação de perpendicularidade para cada cilindro agora gerados através da norma ASME.
9. Gerado novos dois resultados de perpendicularidade.



UFMG – Comparativo de resultados

Resultados para cada seção circular nas diferentes normas:

Abaixo são mostrados como exemplo o resultado de uma única seção circular medida por scanning porém representada em duas diferentes normas (LSQ Feature e Minimum Feature)



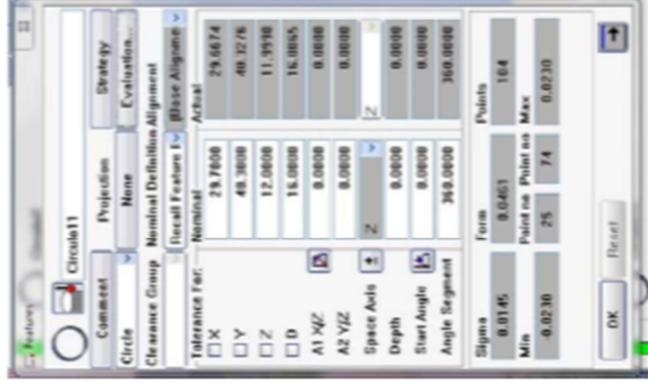
Tolerance Fac:	Nominal	Actual
X	29.7000	29.6648
Y	48.3000	48.3183
Z	12.0000	11.9998
D	16.0000	16.0138
A1 Y/Z	0.0000	0.0000
A2 Y/Z	0.0000	0.0000

Form	Points
Sigma	0.0051
Min	-0.0175
Max	0.0365



Tolerance Fac:	Nominal	Actual
X	29.7000	29.6674
Y	48.3000	48.3276
Z	12.0000	11.9998
D	16.0000	16.0055
A1 Y/Z	0.0000	0.0000
A2 Y/Z	0.0000	0.0000

Form	Points
Sigma	0.0145
Min	-0.0230
Max	0.0230



Tolerance Fac:	Nominal	Actual
X	29.7000	29.6674
Y	48.3000	48.3276
Z	12.0000	11.9998
D	16.0000	16.0055
A1 Y/Z	0.0000	0.0000
A2 Y/Z	0.0000	0.0000

Form	Points
Sigma	0.0461
Min	-0.0230
Max	0.0230

UFMG – Comparativo de resultados

Resultados do cilindro 1 utilizando diferentes normas:

Abaixo são mostrados os resultados de um mesmo cilindro (1), porém utilizando diferentes formas de avaliação (LSQ Feature e Minimum Feature)

Tolerance Fac.	Nominal	Actual
<input type="checkbox"/> X	29.7608	29.6629
<input type="checkbox"/> Y	48.3808	48.3078
<input type="checkbox"/> Z	12.0808	11.9575
<input type="checkbox"/> D	16.0808	16.0658
<input type="checkbox"/> A1 XYZ	0.2608	0.1596
<input type="checkbox"/> A2 YZ	0.1808	0.1258
Space Axis	Z	Z
Depth	48.1808	48.0656
Start Angle	0.0808	0.0808
Angle Segment	360.0808	360.0808

Form	Points
Sigma	528
Min	Point no Point on Max
Max	0.0055

Form	Points
Sigma	528
Min	Point no Point on Max
Max	0.0031

UFMG – Comparativo de resultados

Resultados do cilindro 2 utilizando diferentes normas:

Abaixo são mostrados os resultados de um mesmo cilindro (2), porém utilizando diferentes formas de avaliação (LSQ Feature e Minimum Feature)

The image displays three screenshots of the Zeiss CMM software interface, showing the evaluation results for 'Cilindro2' using different methods. The screenshots are arranged horizontally from left to right.

Left Screenshot (LSQ Feature):

- Method: LSQ Feature
- Form: 0.4117
- Point no: 126
- Point no Max: 222
- Min: -0.2164
- Max: 0.1952

Middle Screenshot (Minimum Feature):

- Method: Minimum Feature
- Form: 0.3631
- Point no: 21
- Point no Max: 323
- Min: -0.1815
- Max: 0.1815

Right Screenshot (Minimum Feature):

- Method: Minimum Feature
- Form: 0.3631
- Point no: 21
- Point no Max: 323
- Min: -0.1815
- Max: 0.1815

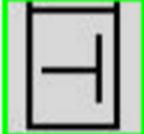
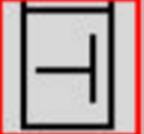
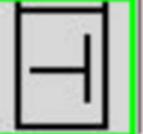
CZB – IMT



UFMG – Comparativo de resultados

Resultados da avaliação de perpendicularidade para as diferentes normas:

Abaixo são mostrados os resultados de perpendicularidade dos cilindros 1 e 2 sendo as duas primeiras utilizando resultados através dos elementos gerados com LSQ Feature e as duas últimas utilizando resultados através dos elementos gerados com Minimum Feature.

	Perpendicularidade1	0.1374	0.0000	0.2000	0.1374
	Perpendicularidade2	1.8700	0.0000	0.2000	1.8700
	Perpendicularity1	0.1171	0.0000	0.2000	0.1171
	Perpendicularity2	1.7756	0.0000	0.2000	1.7756



We make it visible.