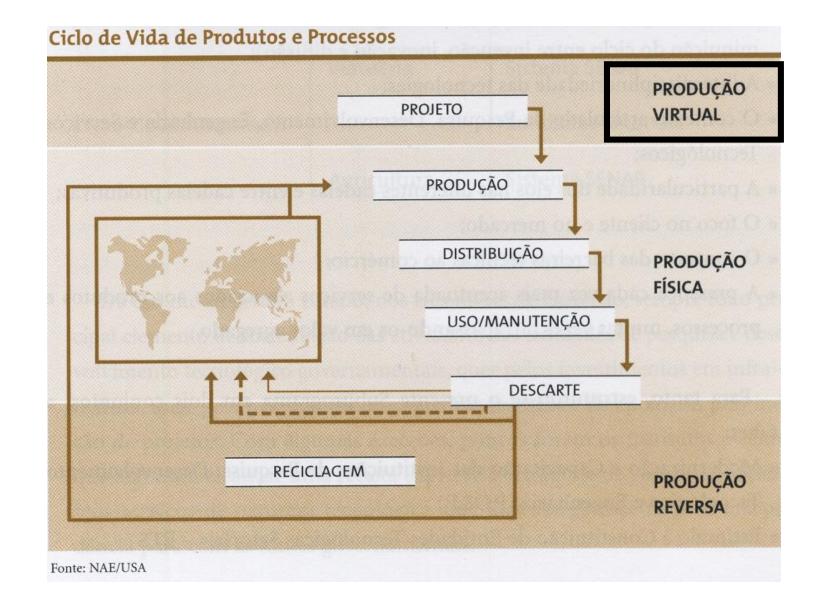


ENGENHARIA DIMENSIONAL DE PRODUTOS



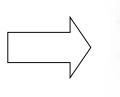


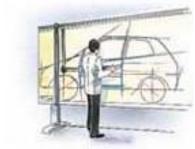


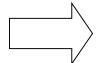


Desenvolvimento de Produtos











Desejos

- Qualidade
- Beleza
- Custo
- ...

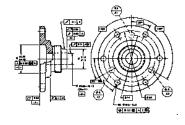




Engenharia

Especificações

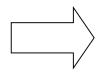
- Projeto Mecânico
- Materiais
- Processos
- ...





Dentre as especificações existe a especificação geométrica





- Geometria
- Dimensões
- Acabamento
- Tolerâncias



- Estética
- Funcionalidade
- Segurança
- Custo de produção

Essa temática tem assumido uma destaque tão grande nos últimos anos que já se fala em uma área da engenharia chamada de:

ENGENHARIA DIMENSIONAL DE PRODUTOS

Área da engenharia mecânica voltada à especificação geométrica dos componentes mecânicos que garantem a estética, funcionalidade e a segurança operacional de produtos, comprometidos com os custos mínimos de produção.



Geometric Quality Assurance Engineering

www.gdtmetro.com

Identificar os requisitos do cliente



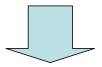
Traduzir requisitos do cliente em especificações técnicas do produto



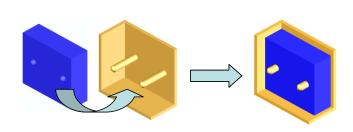
COTAÇÃO FUNCIONAL

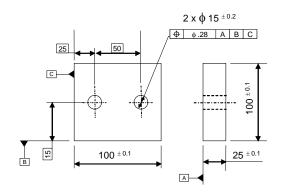


Traduzir as especificações técnicas do produto em requisitos dimensionais de montagem



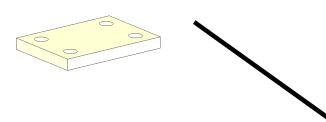
Especificar dimensões que irão atender os requisitos dimensionais de montagem





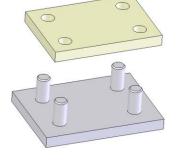


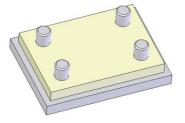
Processo 1



- •Máquina
- Material
- •Mão de Obra
- Meios Ambiente
- Método
- Medição

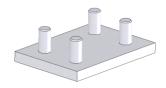
Montagem





Produto

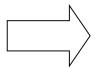
Processo 2





Dentre as especificações existe a especificação geométrica

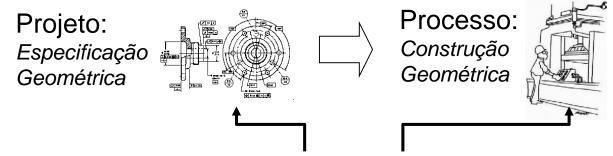




- Geometria
- Dimensões
- Acabamento
- Tolerâncias



- Estética
- Funcionalidade
- Segurança
- Custo de produção

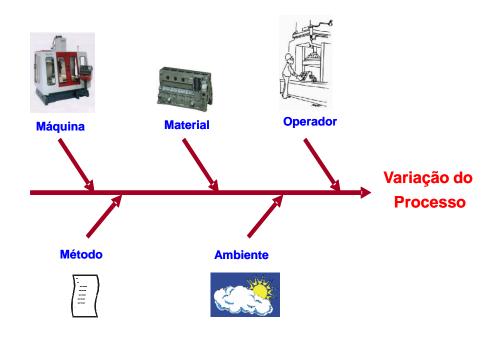


Em um mundo perfeito, o <u>ideal</u> e o <u>real</u> são exatamente iguais





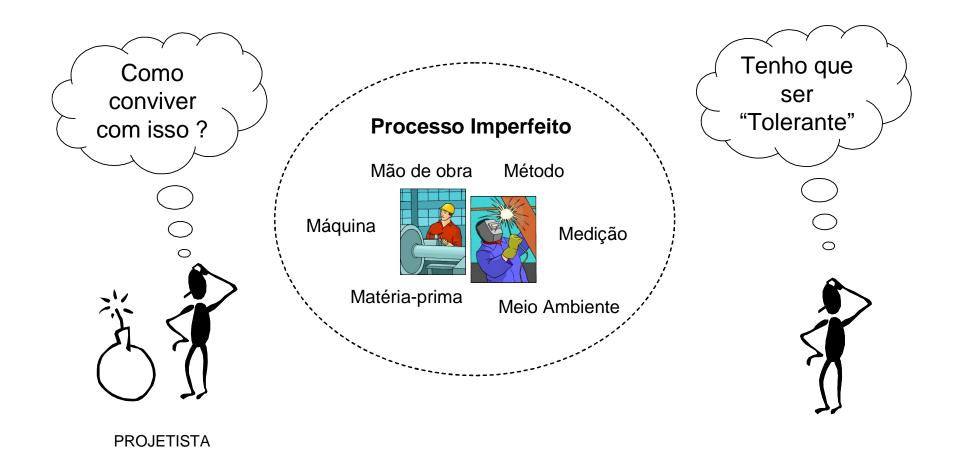
Como não vivemos em um mundo ideal, sempre existem diferenças entre o projetado e o construído



Precisamos lidar com as variações entre o ideal e o real



As peças não precisam ser perfeitas para que a funcionalidade do produto seja adequada.



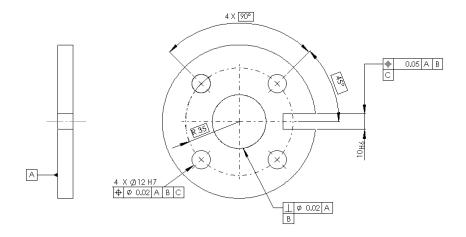


Tolerâncias

As tolerâncias, formalizadas no projeto de produto através dos desenhos de engenharia, têm duas funções básicas:

- a) Expressar como os diversos elementos de um componente se relacionam
- b) Determinar o grau de precisão requerido para o produto montado.

A forma de relacionamento dos elementos determina quais tipos de tolerâncias dimensionais (acoplamentos) e geométricas (posição, perfil de superfície, datums, etc) serão usados. Já o grau de precisão é determinado pelos valores destas tolerâncias.

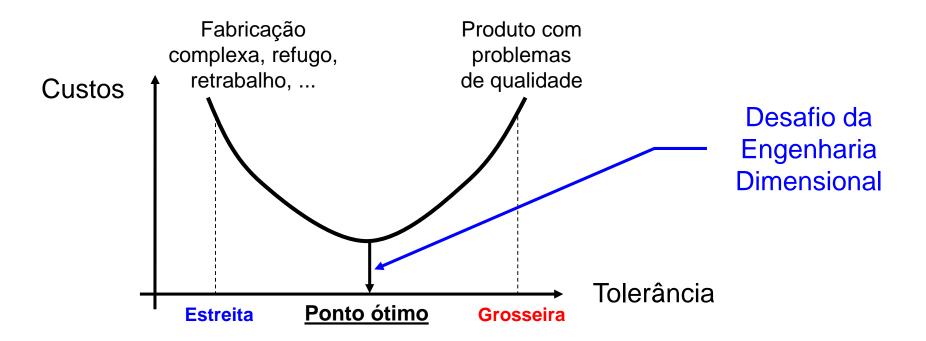




As tolerâncias especificadas no produto são o reconhecimento do fato de que a perfeição dimensional e geométrica não pode ser atingida. [7]



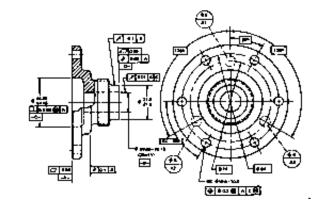
Sob o ponto de vista econômico, a perfeição não é realmente desejável





A Engenharia Dimensional em um ambiente de engenharia simultânea, tem o objetivo de gerar

- Dimensões
- Acabamento
- Desenhos: Linguagem de comunicação
- Tolerâncias
- Referências funcionais
- Planos de controle dimensional





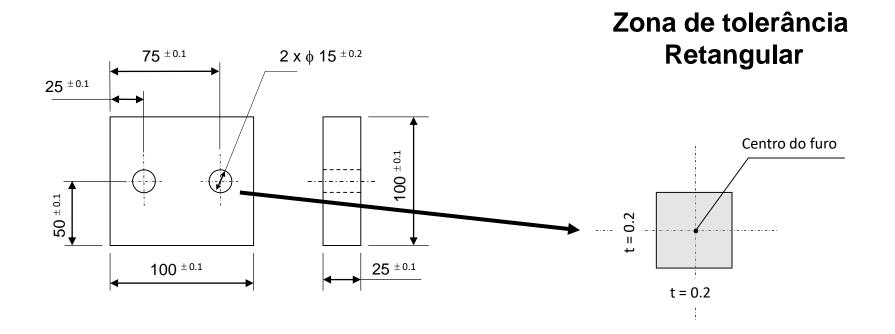
Especificação Geométrica do Produto

Bons produtos começam com bons projetos



Como tudo começou...

Leonardo da Vinci — Cotação cartesiana

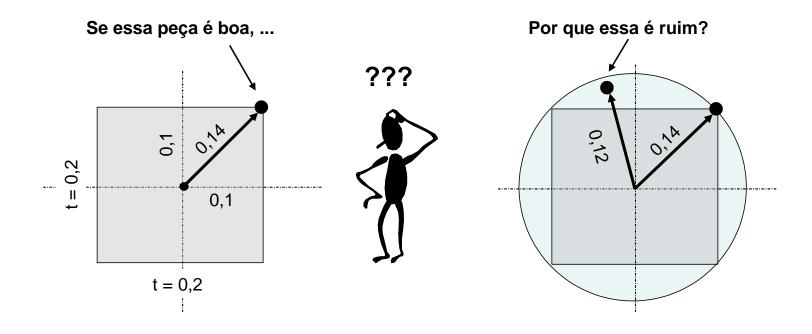




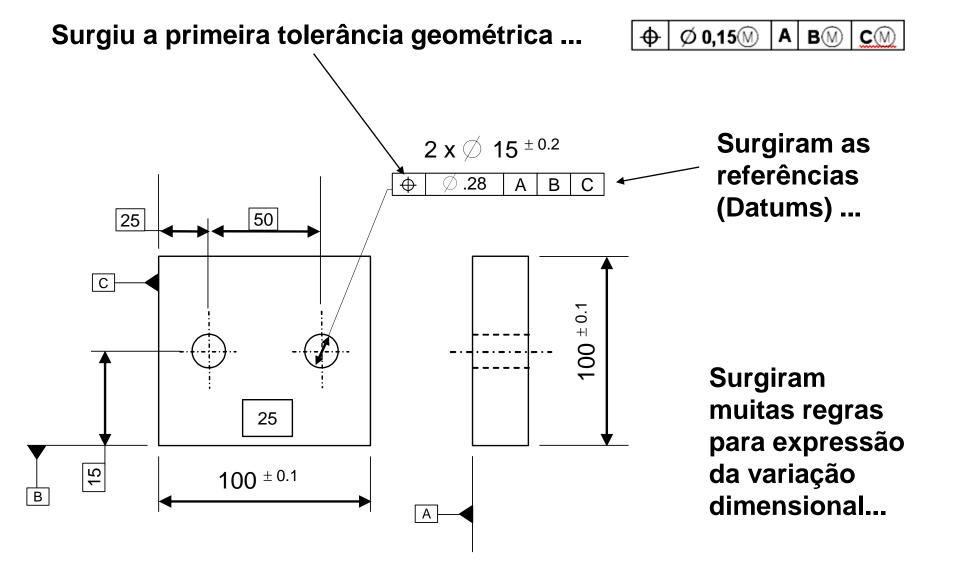
Stanley Park: criador do GD&T

Zona de tolerância de posição é circular

Zona de tolerância retangular





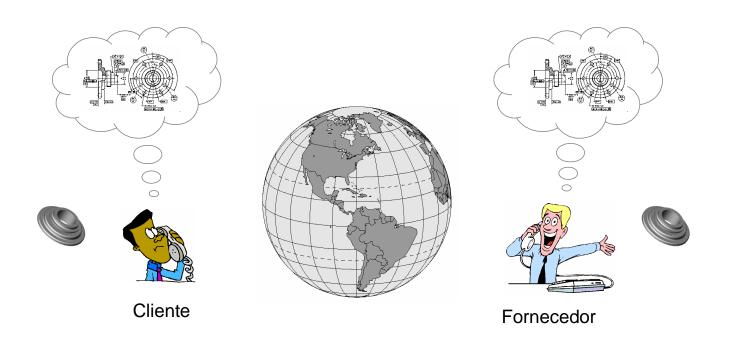




Normalização

ASME Y 14.5 M - GD&T - Geometrical Dimensioning and Tolerancing

ISO 1101: GPS – Geometrical Product Specification



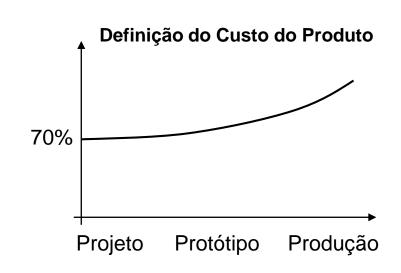
Tolerâncias: A Linguagem GD&T

Quando se trata das estratégias de Engenharia Simultânea (DFM – Design for Manufacturing e DFA – Design for Assembly), as especificações das tolerâncias e os métodos usados para expressá-las nos desenhos dos componentes e das montagens são fatores chave.

A linguagem GD&T (*Geometric Dimensioning and Tolerancing*) proporciona os recursos necessários para que o projeto possa informar os principais parâmetros, em termos dimensionais, focando não somente o produto, mas também levando em consideração os processos de fabricação, o controle dimensional e a montagem.

O GD&T é uma ferramenta utilizada no desenvolvimento do produto, para facilitar a comunicação, e é nessa fase em que os ganhos de otimização do projeto são maiores. [6]

A definição de 70% dos custos de um produto é feita na fase de desenvolvimento integrado.

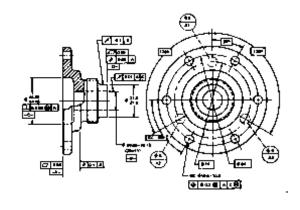


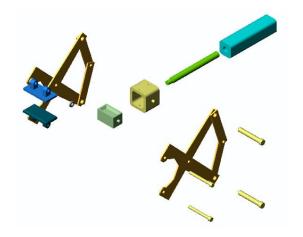


O GD&T objetiva o estabelecimento de uma linguagem única para a expressão da variação dimensional do produto.

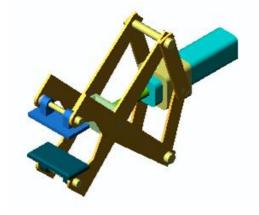
Reduz os custos:

- Montagem sem retrabalhos
- Viabilização do global sourcing
- Aumento de intercambiabilidade
- Garantia da qualidade no projeto









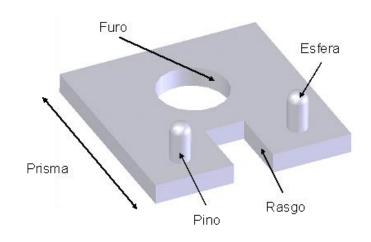


Definições Fundamentais

Elementos (Features)

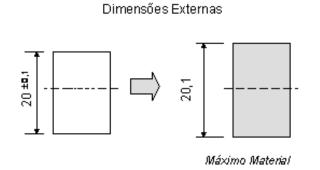
1D 2D <u>3D</u> Linhas Ponto Esferas Círculos Cones Planos Cilindros Toróide Free-Forms Linha Exfern Cone Cilindros Circulos Plano Ponto

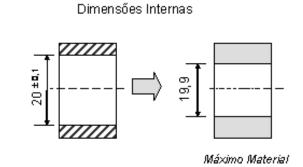
Elementos Dimensionais (Feature of Size – FOS)



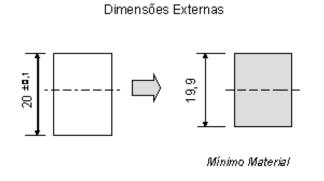


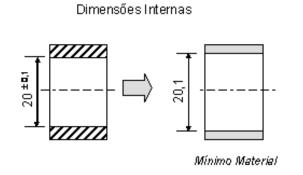
Condição de Máximo Material





Condição de Mínimo Material

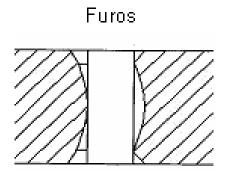




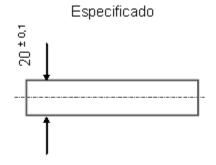


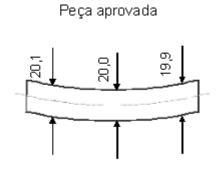
Envelope





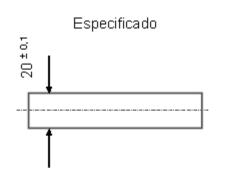
Princípio de Independência

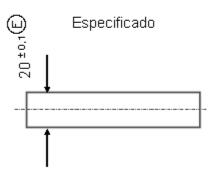




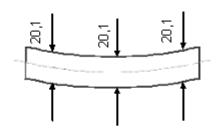


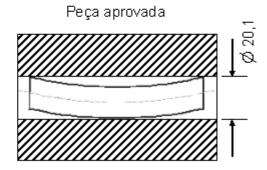
Requisito de Envelope (Norma ISO1101)









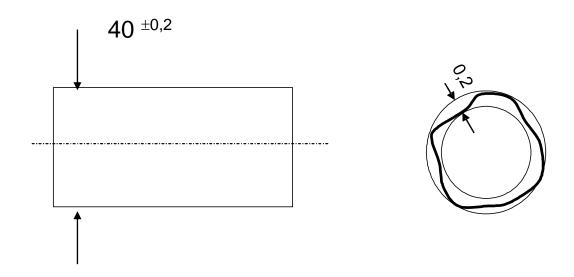


Anel padrão na dimensão de máximo material do eixo



Regra #1 (Norma ASME Y 14.5)

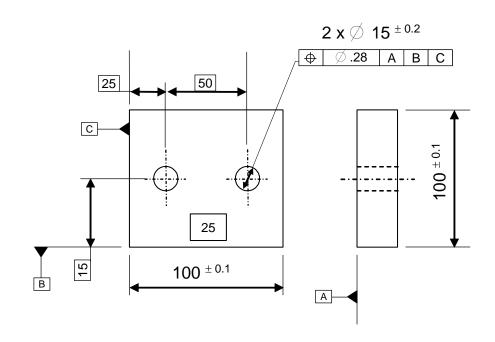
O erro de forma deve estar contido dentro da variação dimensional



O requisito de envelope da norma ISO não é default



Dimensões Básicas



Quadro de controle

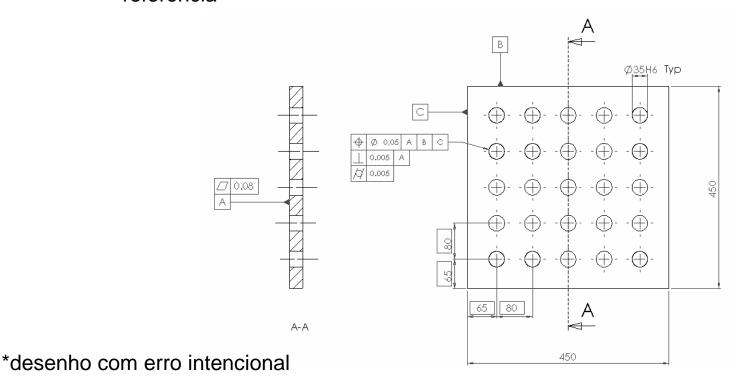




Referenciação de Peças no Espaço (Datum)

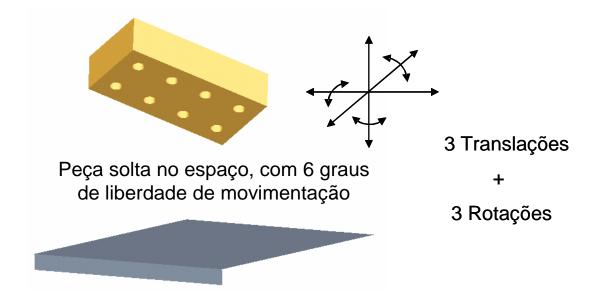
Objetivos:

- Estabelecer uma relação funcional entre elementos geométricos da peça
- Relacionar a medição de uma dimensão na peça com um sistema de referência



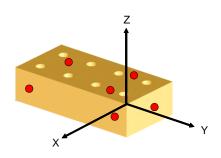


Para que seja possível exprimir muitas das tolerâncias geométricas, é indispensável que exista uma amarração da peça no espaço tridimensional. As tolerâncias de localização e orientação (posição, perpendicularidade, etc.) precisam de uma referência para serem definidas de forma correta e sem ambigüidades.

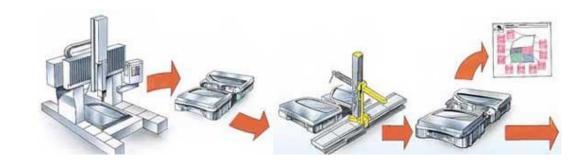


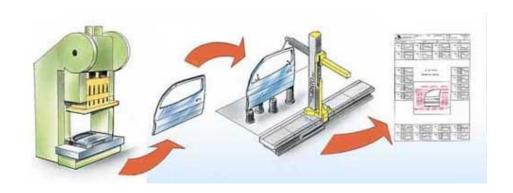


As referências são vitais para a definição e manutenção de estratégias consistentes de fabricação e controle dimensional

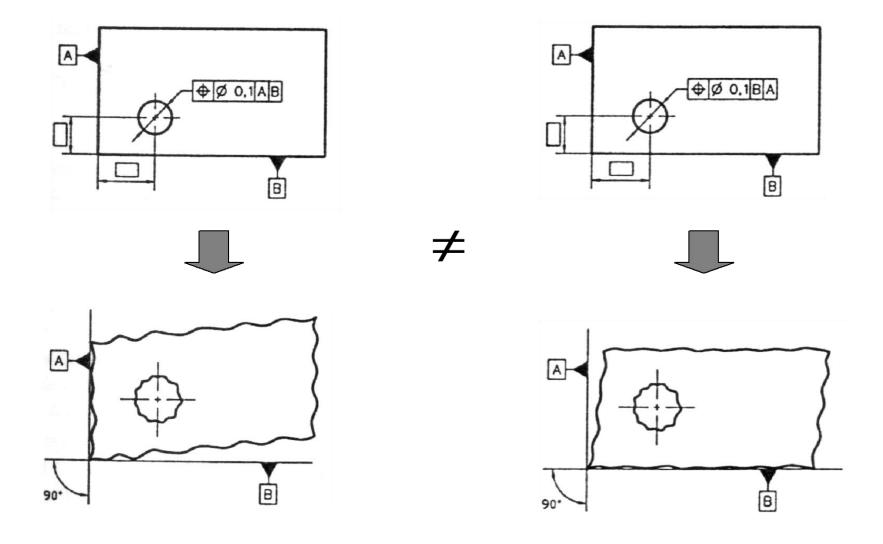






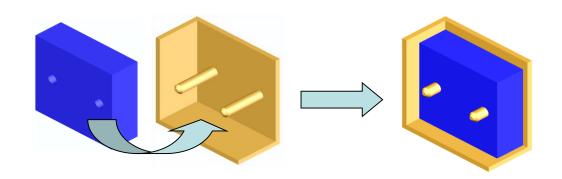




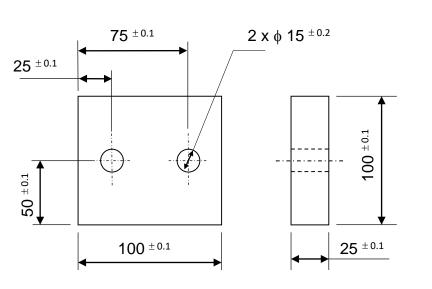




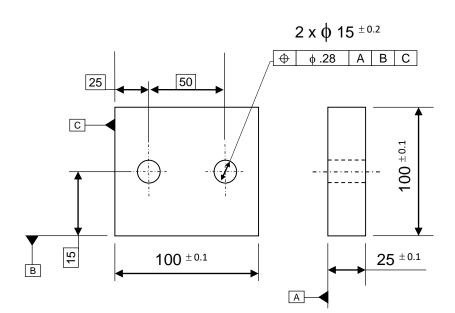
Exemplo:



Cotação Cartesiana



GD&T





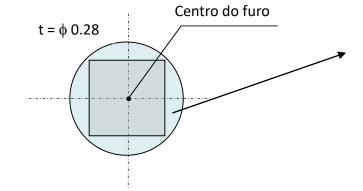
Zona de tolerância

Cartesiano: Retangular

Centro do furo

t = 0.2

GD&T: Circular

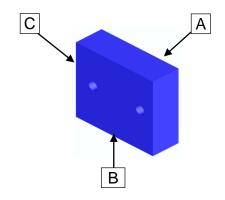


Ganho de 57% na zona de tolerância, garantindo a mesma funcionalidade do produto

Referências funcionais

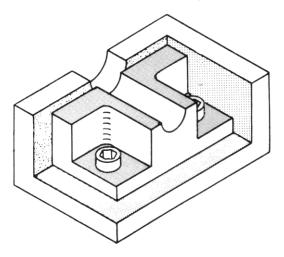
Cartesiano: Sem indicação clara (possibilita erro)

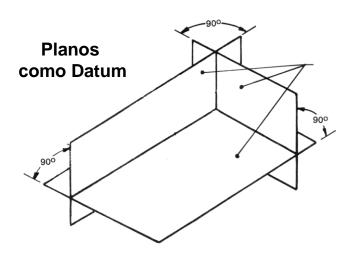
GD&T: Indicado explicitamente (sem ambigüidade)

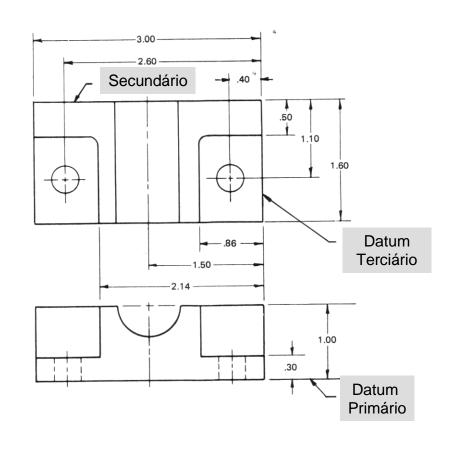




Montagem da Peça

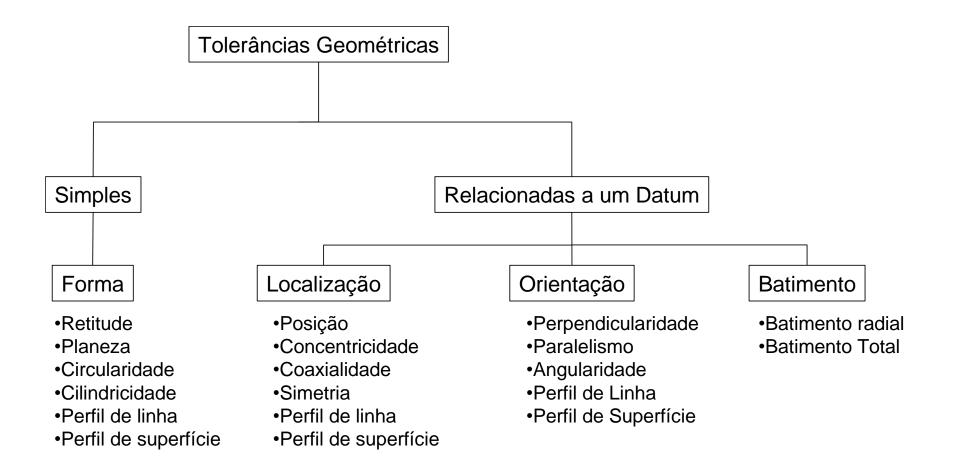




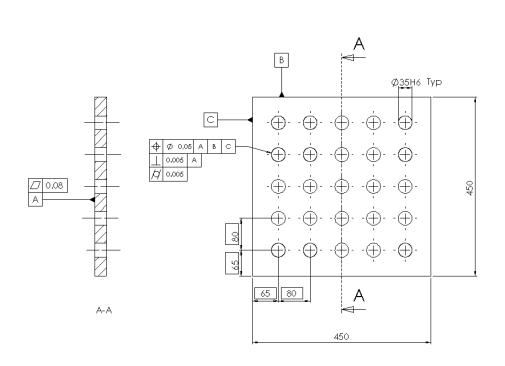




Tipos de Tolerâncias Geométricas







Tolerância geométrica	Símbolo
Posição	+
Paralelismo	//
Perpendicularidade	
Angularidade	_
Concentricidade / Coaxialidade	
Simetria	-
Circularidade	
Cilindricidade	\nearrow
Retitude	_
Planeza	
Perfil de linha	
Perfil de superfície	
Batimento circular	A
Batimento total	ZX

^{*}desenho com erro intencional

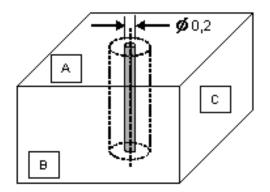


Relação entre as tolerâncias

Tolerância		Tolerâncias controladas de forma implícita
Retitude	_	
Planeza		-
Circularidade	0	
Cilindricidade	W	- 0 //
Perfil de Linha		Φ
Perfil de Superfície		<u> </u>
Paralelismo	//	- 🛮
Perpendicularidade	工	- 🛮
Angularidade	_	- 🛮
Posição	0	// _
Coaxialidade,	0	- ⊕
Concentricidade		
Simetria	=	- ∅ ♦
Batimento radial	A	00
Batimento Axial	A	1 <i>a</i>
Batimento radia total	25	- O A // O A
Batimento axial total	21	⊥ <i>□</i> ፆ

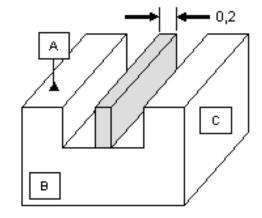
Posição





Zona de tolerância para FOS cilíndrica

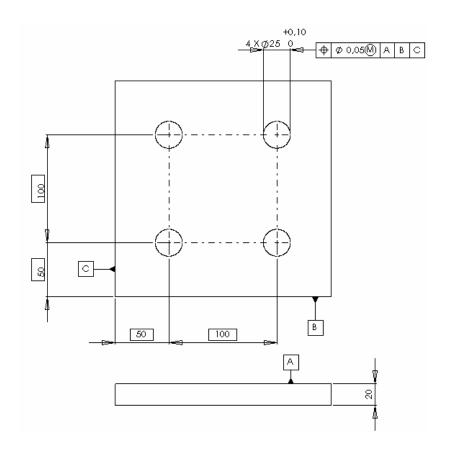




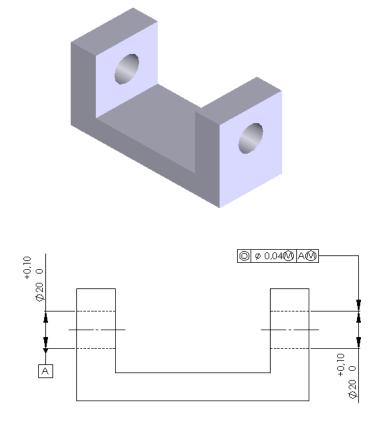
Zona de tolerância para FOS planar



Posição



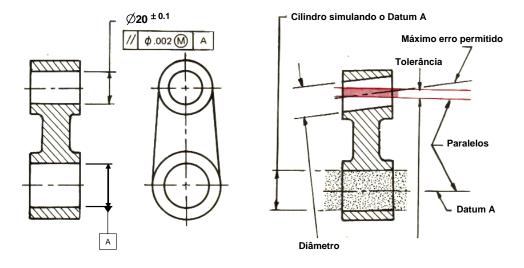
Concentricidade/ Coaxialidade



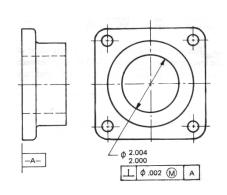
*Desenho ISO1101

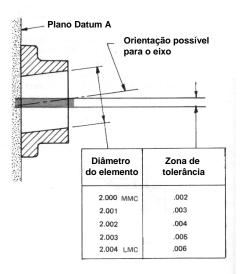


Paralelismo



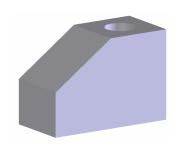
Perpendicularidade

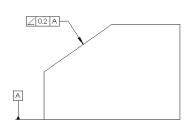


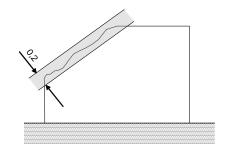




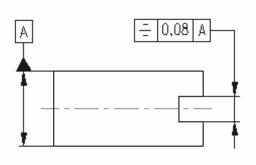
Angularidade

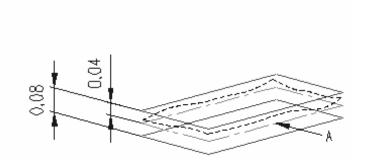






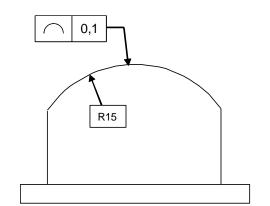
Simetria

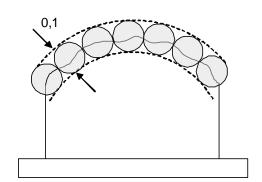




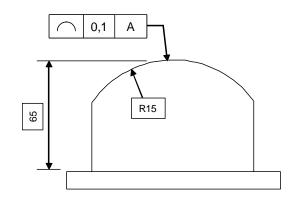


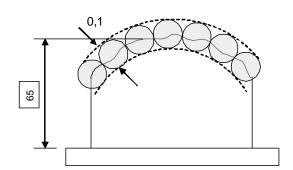
Perfil de Linha





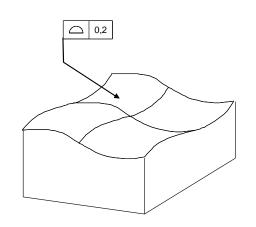
Perfil de Linha com Datum

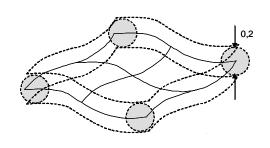




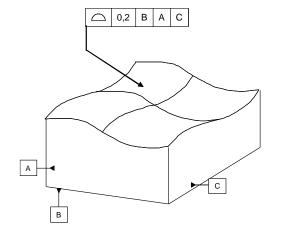


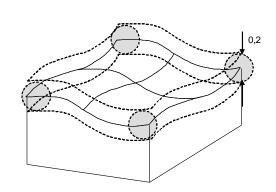
Perfil de Superfície





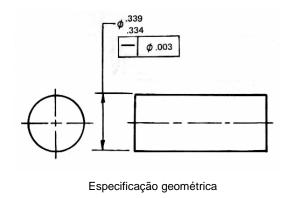
Perfil de Superfície com Datum

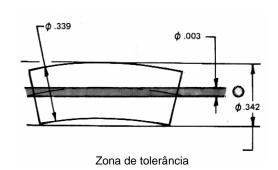






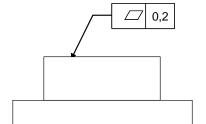
Retitude

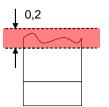


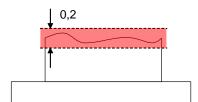


Planeza



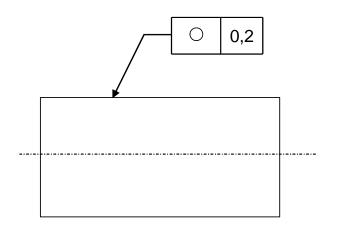


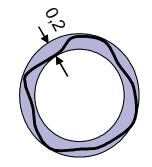




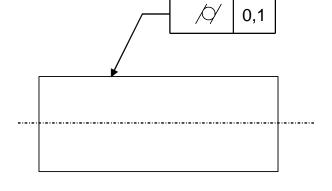


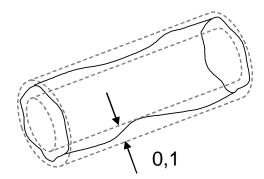






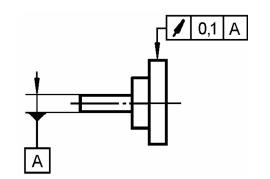
Cilindricidade

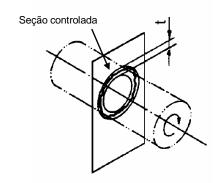




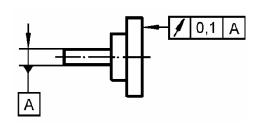


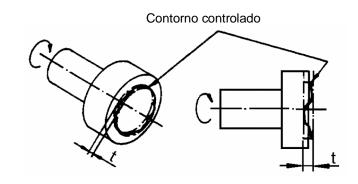
Batimento circular radial





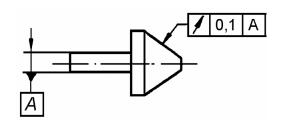
Batimento circular axial

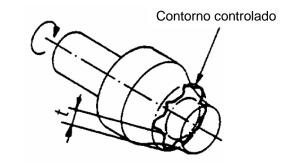




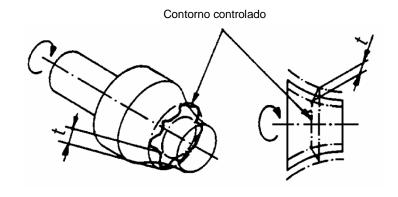


Batimento circular (Sup. Cônica)



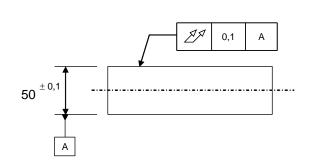


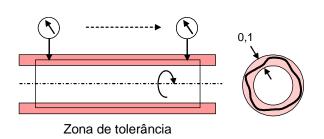
Batimento circular (Sup. Curva)

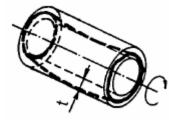




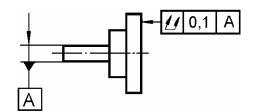
Batimento Total radial

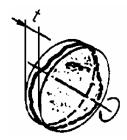




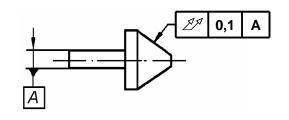


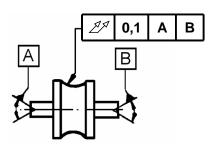
Batimento Total axial





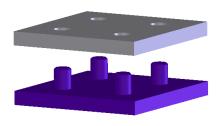
Batimento Total (sup. Qualquer)

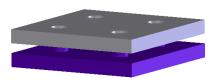


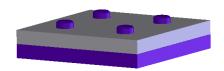


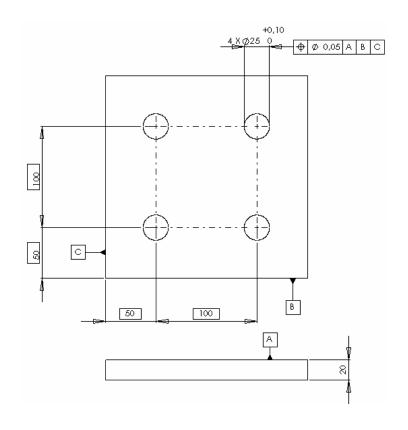


Modificadores de independência



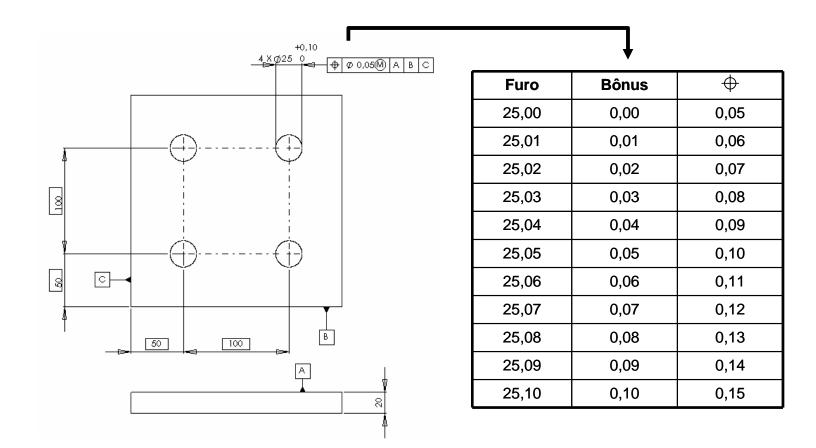




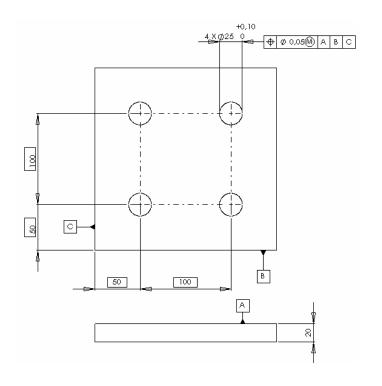


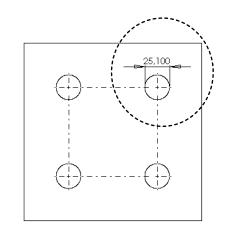


Modificador de Máximo Material (M)









Furo fabricado: \emptyset = 25,100

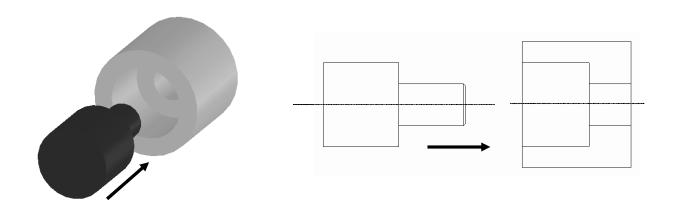
Máximo material: \emptyset = 25,000

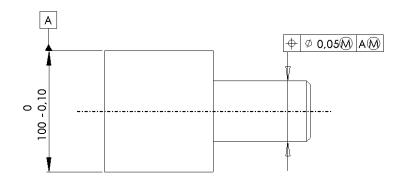


Bônus de 0,1 mm para a tolerância de posição

$$\oplus$$
 = 0,05 + 0,1 = 0,15 mm

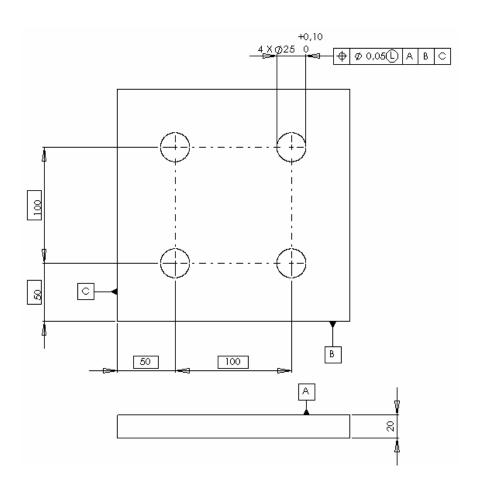






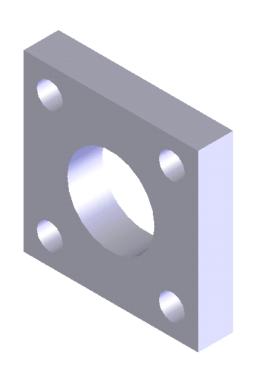


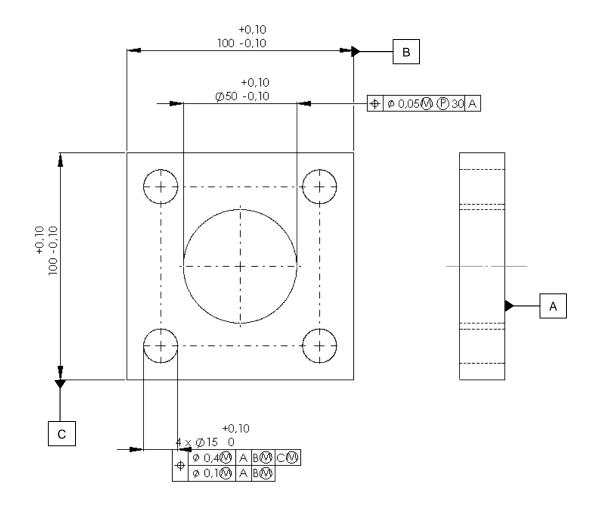
Modificador de Mínimo Material



Furo	Bônus	+
25,00	0,10	0,15
25,01	0,09	0,14
25,02	0,08	0,13
25,03	0,07	0,12
25,04	0,06	0,11
25,05	0,05	0,10
25,06	0,04	0,09
25,07	0,03	0,08
25,08	0,02	0,07
25,09	0,01	0,06
25,10	0,00	0,05

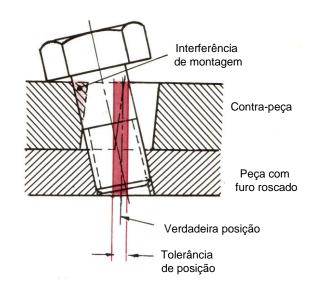


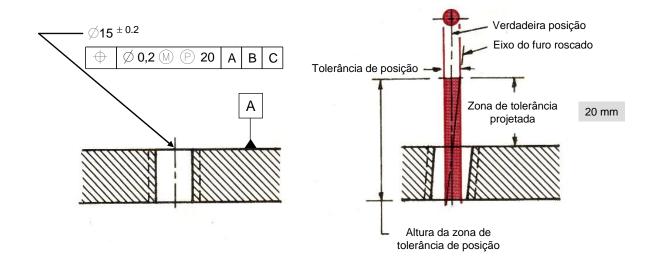




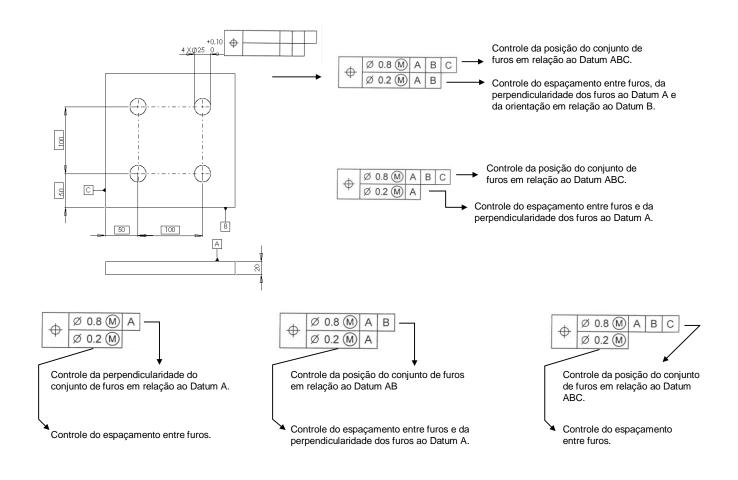


Zona de Tolerância Projetada P



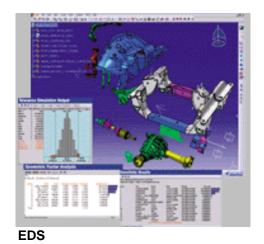


E muitas outras regras para o dimensionamento das peças...





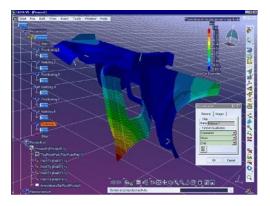
Software de simulação e análise de tolerâncias (Computer Aided Tolerancing)



Amadurecimento digital da especificação geométrica do produto

- Menores custos
- Menores tempos de desenvolvimento
- Maior confiabilidade
- Especificação mais eficiente
- Qualidade gerada desde o início
- Integração com CAD e Processos
- Identificação de tolerâncias críticas
- Auxílio na elaboração de planos de controle







Bons produtos começam por bons projetos. Desenvolver produtos melhores e mais baratos do que os concorrentes é vital. Se os novos produtos não forem competitivos as empresas quebram.

A rapidez também é importante. No passado admitia-se que alguns erros dimensionais só fossem descobertos quando o produto entrava em produção. Em conseqüência era necessário fazer modificações no ferramental que provocavam atrasos e despesas.

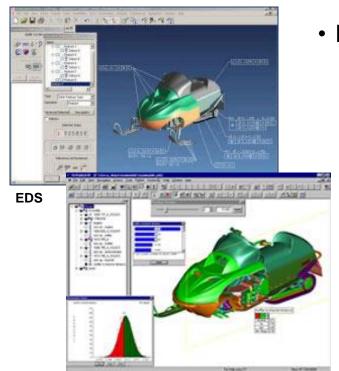
Isso mudou. O lote piloto agora é virtual. Os erros são identificados e resolvidos por intermédio de simulações computacionais enquanto o projeto está na engenharia, antes da fabricação do ferramental.

Bons projetos reduzem o custo e garantem qualidade. Não se deve esperar o produto entrar em produção para pensar em qualidade. Deve-se garantir ZERO defeito no desenvolvimento dos novos produtos. A probabilidade de sucesso das características funcionais deve ser maior que 99.99 %, em resumo, o projeto deve ser "seis sigma".

O resultado é compensador. Os problemas dimensionais são identificados e resolvidos enquanto o projeto se encontra na engenharia, antes da fabricação do ferramental. O produto nasce certo e sem problemas. O controle dimensional se faz sem problema. A atividade de manutenção dos desenhos praticamente desaparece, porque as alterações dimensionais acabam. As solicitações de desvio de produção e as falhas internas também desaparecem, porque os conflitos dimensionais foram resolvidos no momento mais oportuno, antes do produto entrar em produção.



Dimensões, Tolerâncias e Referências adequadas



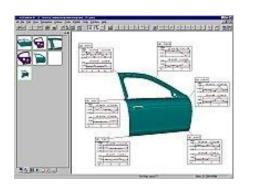
- Especificação Geométrica Consistente
 - Análise e simulação da variação dimensional
 - Considerando a capabilidade dos processos
 - Considerando a deformação de montagem e uso
 - Utilizando GD&T e simulação de Monte-Carlo
 - Projeto 6-Sigma
 - Calcula a capabilidade de cada cota
 - Ajuste da cadeia de tolerância para reduzir custos
 - Identificação de cotas críticas
 - Orienta a definição do plano de controle

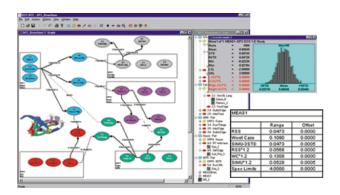
Não se deve esperar o produto entrar em produção para pensar em qualidade.

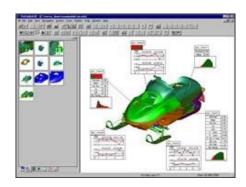
Deve-se garantir ZERO defeito no desenvolvimento dos novos produtos.



Planos de controle consistentes





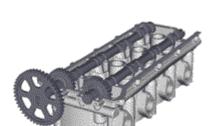


- Dimensões e tolerâncias críticas são identificadas
- As medições são priorizadas para as dimensões que realmente interessam
- Redução de custos com medições desnecessárias
- Melhor controle do produto e melhoria de qualidade
- A metrologia agrega valor

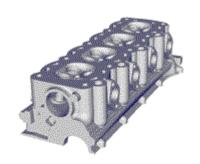
Aliado do uso da metrologia geométrica de modo racional e integrado



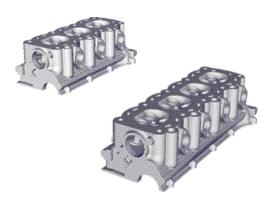
Análise de montagem e variação dimensional



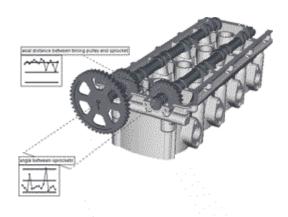
Identificação de características críticas



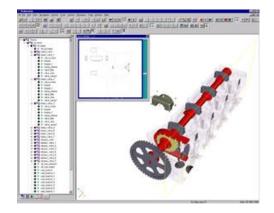
Modelamento paramétrico



Tipos de relatório



Visualização



Software VisVSA – www.gdt.eng.br



EXEMPLO



Bucha auto-lubrificante de motor elétrico

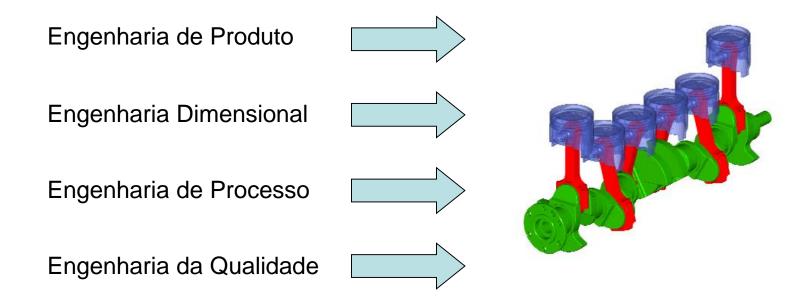
Os motores elétricos dos aparelhos de ar condicionado devem ser extremamente silenciosos. Por esta razão os seus mancais são do tipo "bucha", não utilizando rolamentos porque eles fazem muito ruído. Esta solução resolve o problema do barulho, mas cria uma grande dificuldade no alinhamento dos mancais.

Como a folga eixo/bucha é muito apertada (8 μ m), 92% dos motores montados. apresentavam o defeito de "rotor preso". Para manter a velocidade da linha de montagem em 200 motores/hora, executava-se uma operação adicional de alinhamento dos mancais, que ocupava quatro funcionários.

Os problemas foram identificados e resolvidos com a aplicação da tecnologia de Gerenciamento Dimensional, de forma tal que o retrabalho caiu de 92% para apenas 1,5%, melhorando a qualidade, *aumentando a produtividade* e reduzindo o custo.

Maurício Wandek – www.mw.eng.br





Em todas essas etapas, a Engenharia de Precisão estará presente, nos conceitos, nos procedimentos e na execução das atividades que resultem, no menor tempo e custo, na obtenção de produtos com qualidade e custo competitivo.

- Referências Bibliográficas:

- [1] **Jensen, Cecil**. Geometric Dimensioning and Tolerancing for Engineering and Manufacturing Technology. Delmar Publisher Inc., 1993.
- [2] **ASME** American Society for Mechanical Engineers. *Dimensioning and Tolerancing* ASME Y14.5M-1994. New York, 1994.
- [3] **Weckenmann A. et ali**. *Geometrical Product Specifications Course for Technical Universities*. Warsaw University of Tehcnology printing house, 2001.
- [4] **Silva, Daniel C, Pasin. A et al**. Análise crítica de software de medição aplicado a máquinas de medição por coordenadas com relação ao uso do GD&T segundo à norma ASME Y14.5M-1994. Congresso Brasileiro de Metrologia, Recife, 2003.
- [5] **Wandek, Maurício**. *Engenharia & metrologia virtuais de produtos mecânicos.* Congresso Brasileiro de Metrologia, Recife, 2003.
- [6] **Pasin, Alexandre**. Análise crítica de software para controle dimensional aplicado a máquinas de medir por coordenadas com relação ao uso da linguagem GD&T segundo a norma Y14.5M-1994. Monografia de final de curso, UNESP Guaratinguetá SP, 2003.
- [7] **Krulikowski, Alex**. Advanced concepts of GD&T: Based on ASME Y14.5M-1994. Wayne: Effective Training Inc, 1999