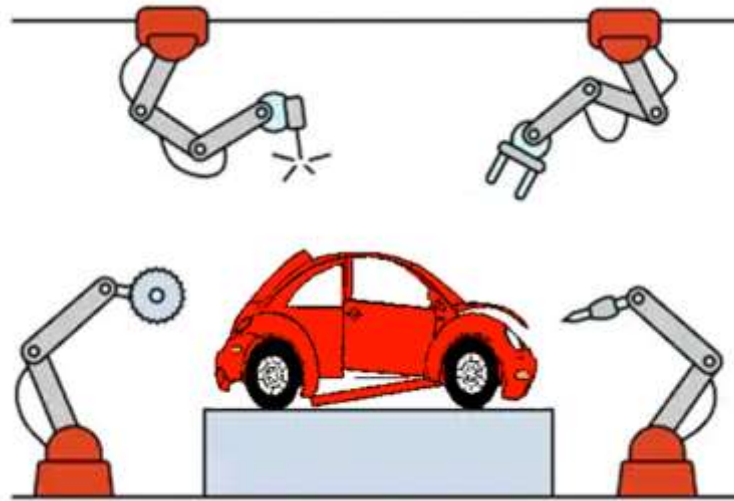


# Gestão da Precisão Dimensional para Inserção na Indústria 4.0



**André Roberto de Sousa**  
**Ademir Linhares de Oliveira (*in memorian*)**

Instituto SENAI de Inovação em Sistemas de Manufatura  
Joinville, 27 de Junho de 2019

## Idealizador



Ademir Linhares de Oliveira, Dr. Eng  
Diretor da GDTMETRO

Engenheiro Mecânico com Mestrado em Metrologia e Doutorado em GD&T aplicado em peças plásticas, com 20 anos de experiência e treinamentos especializados na Alemanha.

Engenheiro de Aplicação e Ministrante de Cursos de Metrologia e GD&T por mais de 15 anos. Um dos maiores especialistas em metrologia e GD&T no Brasil.

Pessoa humilde e com pureza d'alma, leal, honesto e extremamente dedicado à sua família, como filho e como pai.



04/10/1971 – 23/03/2019



## Ministrante

### André Roberto de Sousa

Engenheiro Mecânico com Mestrado e Doutorado em Metrologia e 27 anos de experiência em Metrologia Industrial e Medição Tridimensional.

Professor do IFSC em Florianópolis nas áreas de metrologia e engenharia de precisão. Coautor do livro de Fundamentos de Metrologia Científica e Industrial.

Coordenador de projetos de P&D cooperativos com indústrias, e de projetos de educação continuada na área de GD&T e Medição Tridimensional (programa FORMA3D).



FORMA3D

# CONTEÚDO DA APRESENTAÇÃO

1. UM POUCO SOBRE AS REVOLUÇÕES NA HISTÓRIA DA INDÚSTRIA MECÂNICA
2. INOVAÇÕES QUE CARACTERIZAM UMA INDÚSTRIA NO CENÁRIO DA 4ª REVOLUÇÃO INDUSTRIAL
3. A PRECISÃO JÁ ERA REQUISITO NO CENÁRIO DA INDÚSTRIA 2.0
4. DESAFIOS PARA A OBTENÇÃO DE PRECISÃO GEOMÉTRICA A CUSTOS RACIONAIS
5. GESTÃO DA PRECISÃO DIMENSIONAL
6. MELHORIA DA ESPECIFICAÇÃO GEOMÉTRICA DO PRODUTO
7. OTIMIZAÇÃO DA EXATIDÃO DOS PROCESSOS DE MANUFATURA
8. MELHORIA DE CONFIABILIDADE DE PROCESSOS DE MEDIÇÃO
9. RESULTADOS ESPERADOS COM GESTÃO DA PRECISÃO DIMENSIONAL



# 1. UM POUCO SOBRE AS REVOLUÇÕES NA HISTÓRIA DA INDÚSTRIA MECÂNICA



## A ERA E A VEZ DOS SISTEMAS INTELIGENTES

Cada vez mais os sistemas ditos inteligentes nos rodeiam!

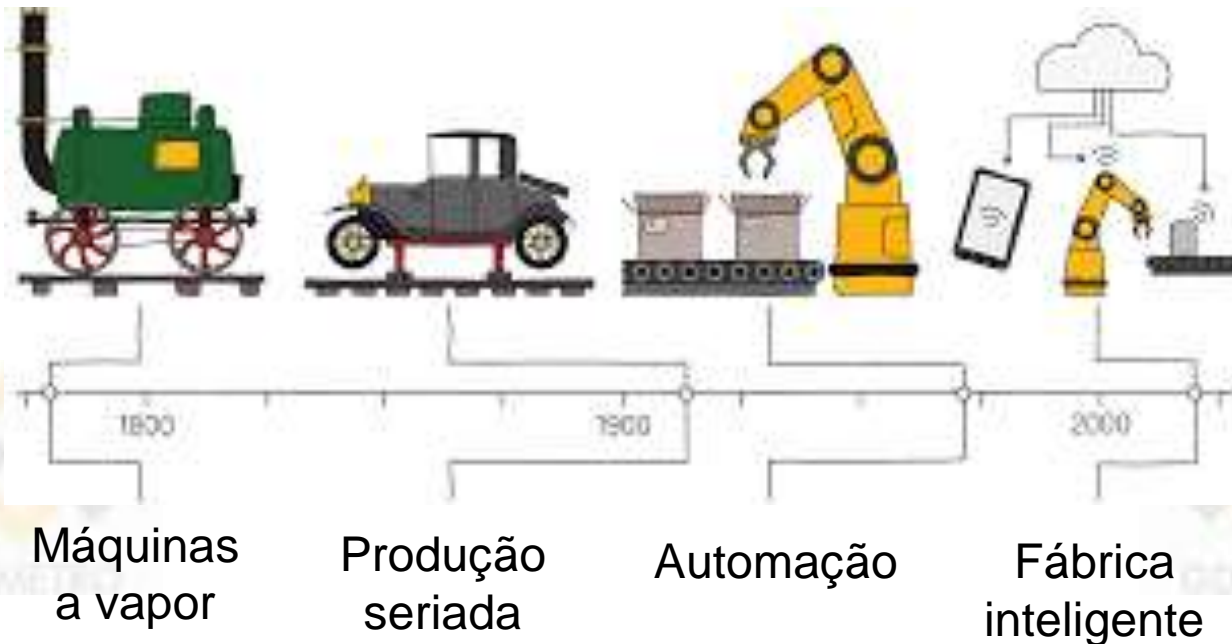
- Smart TV
- Smart Phone
- Carros Inteligentes
- Casas Inteligentes
- Estradas Inteligentes
- Sinais de trânsito inteligentes
- Geladeiras inteligentes
- Etc.



A internet e os sistemas inteligentes (Cyber Physical Systems – CPS) estão causando uma revolução nas nossas vidas, e irão causar muito mais.

Muitos dos novos conceitos e tecnologias podem e devem ser utilizados para produzir mais, melhor com menor custo e menor impacto ambiental.

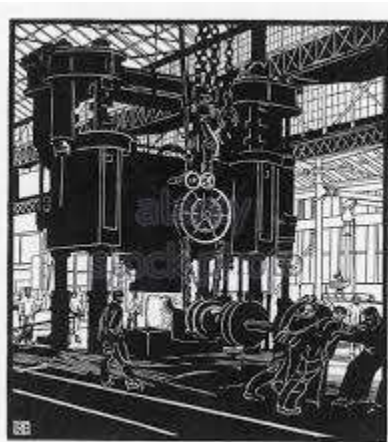
A inserção de tecnologias inovadoras no contexto industrial está causando uma nova revolução industrial, a 4ª revolução.



## Indústria 1.0 – 1780 a 1830



### Produção Artesanal



### 1ª Revolução Industrial

Transição de métodos de produção artesanais para a produção por máquinas, a fabricação de novos produtos químicos, novos processos de produção de ferro, o uso crescente da energia a vapor e o desenvolvimento das máquinas-ferramenta.



## Indústria 2.0 – 1900



### 2ª Revolução Industrial

- Produção seriada
- Divisão do trabalho
- Especialização do trabalhador
- Fordismo e Taylorismo



**Montagem intercambiável:** capacidade dos componentes serem produzidos com tamanhos padronizados de modo que possam ser montados com qualquer contra peça, sem que haja nenhum tipo de ajuste manual para que isso ocorra.

Nessa época surgiu a especialidade de ajustador mecânico, também conhecido como “Sr. Lima”, o profissional que faz as peças montarem quando não estão montando.



## Intercambiabilidade de peças

Em 1908 Henry Leland, co-fundador da Cadillac Motor Car Company e gerente geral, afirmou ter alcançado os mais altos padrões da indústria automobilística quanto à precisão e intercambiabilidade de peças.

Durante um concurso na Inglaterra, três Cadillacs Modelo K de 1907 idênticos foram desmontados, suas partes misturadas e os carros remontados sob estritas regulamentações entre 29 de fevereiro e 13 de março de 1908.

Então, cada carro correu sem falha por 500 milhas ao redor da pista de impressionando as pessoas assistindo. Junto com o prêmio a empresa recebeu uma citação dos juízes: "Standard of the World", uma frase cunhada pela Cadillac para este dia.



## Indústria 3.0 – 1970



### 3ª Revolução Industrial

- Inserção dos computadores e da eletrônica na produção industrial.
- Informatização e Automação dos meios de produção.

Depois da Segunda Guerra Mundial, iniciou-se uma fase de profundas evoluções no campo tecnológico desencadeada pela junção entre conhecimento científico e produção industrial.

O “Sr. Lima” continua ativo em muitas empresas que não utilizam as potencialidades que as modernas técnicas de projeto e produção oferecem...



1980



1985



A primeira Ferrari inteiramente projetada e construída com recursos de CAD/CAM

1985

# 156-85

-  **MOTORE**  
ENGINE  
V6-120° / 120° V6
-  **POTENZA**  
POWER  
780 cv a 11.000 giri / 780 hp at 11,000 rpm
-  **CILINDRATA**  
TOTAL DISPLACEMENT

La 156-85 è la prima monoposto progettata a Maranello interamente con il CAD/CAM ed è completamente nuova. Ben visibile è la posizione estremamente avanzata del pilota, il passo allungato, i radiatori in posizione parallela al senso di marcia, i grandi mozzì delle ruote. All'interno il motore è stato totalmente ridisegnato per raggiungere potenze prossime agli 800 CV (ed anche più in prova) con gli scarichi laterali e l'aspirazione al centro. Michele Alboreto vince in Canada e in Germania, ottenendo anche numerosi piazzamenti che gli valgono il secondo posto nel Campionato Piloti alle spalle di Alain Prost. La Ferrari ottiene il secondo posto anche nella classifica Costruttori.

The 156-85 was also the first single-seater designed at Maranello entirely using CAD/CAM and was completely new. Very obvious features included the fact that the driver's position was very far forward, a longer wheel base, radiators parallel to the direction of movement and big wheel hubs. The engine had also been completely redesigned to develop almost 800-bhp (more in tests) with side exhausts and central intakes. Michele Alboreto took second in the Drivers' Championship, losing out on the title to Alain Prost. The Italian driver won in both Canada and Germany and was placed on several occasions. Ferrari took second in the Constructors'



## Indústria 4.0 – 2010



### 4ª Revolução Industrial

- Termo originário da Alemanha (Industrie 4.0) para designar fábricas inteligentes que combinam processos digitais com máquinas conectadas e capazes de aprender.

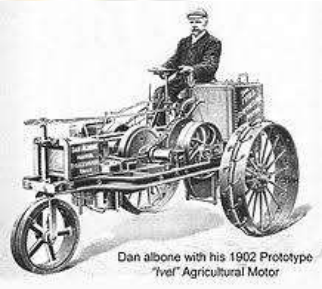
... uma revolução tecnológica que transformará fundamentalmente a forma como vivemos, trabalhamos e nos relacionamos. Em sua escala, alcance e complexidade, a transformação será diferente de qualquer coisa que o ser humano tenha experimentado antes",

Klaus Schwab, *A Quarta Revolução Industrial*.

Um tempo de grandes oportunidades e ameaças.

## Indústria 1.0

O homem se apaixona  
pela máquina



## Indústria 2.0

O homem pensa e comanda.  
A máquina o ajuda a fazer.



## Indústria 3.0

O homem pensa e programa.  
A máquina faz.



## Indústria 4.0

A máquina pensa, aprende,  
programa e faz.





## **2. INOVAÇÕES QUE CARACTERIZAM UMA INDÚSTRIA NO CENÁRIO DA 4ª REVOLUÇÃO INDUSTRIAL**





## INOVAÇÕES QUE CARACTERIZAM UMA FÁBRICA INTELIGENTE

- Fábricas mais limpas e amigáveis com o meio ambiente
- Sistemas de produção com inteligência embarcada em muitos dispositivos
- Processos extremamente flexíveis e com alta eficiência
- Capacidade de produção em massa de modo customizado
- Integração com o big data da internet e tecnologias de armazenamento e processamento em nuvens
- Conexão entre os sistemas: integração física e integração lógica
- Máquinas capazes de “enxergar” o que se passa ao seu redor, aprender e tomar decisões autônomas

# FÁBRICA INTELIGENTE DE TINTAS

Imagine uma fábrica que decide de modo autônomo o que produzir e quando produzir, a partir de análise de demanda feito a partir de **análise de dados** da **imensa massa de informações da internet** processada **computacionalmente em nuvens**, de modo a **aprender o melhor cenário** e **decidir o que se deve produzir**, com dispositivos de produção conectados ao mundo **via internet**.

**DATA MINING**

**BIG DATA**

**CLOUD COMPUTING**

**MACHINE LEARNING**

**AUTONOMOUS DECISION**

**IoT**

**Clientes**



**Decisão**



## EXEMPLO NA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA



Customização  
em Massa



3  
cilindros



4  
cilindros



V6



V8



**População conectada**



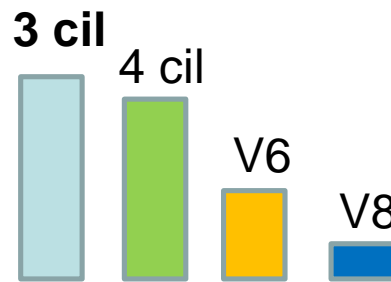
**Busca**



**DATA Mining**



**Movimento de busca Identificado**



**Demanda identificada e volume estimado**



**INFORMAÇÃO DE POSSE DA FÁBRICA...**

## INFORMAÇÃO DE POSSE DA FÁBRICA...

Planejamento da Produção  
Adequação de lay out  
Alocação de meios de produção  
Setup, Startup e Follow up

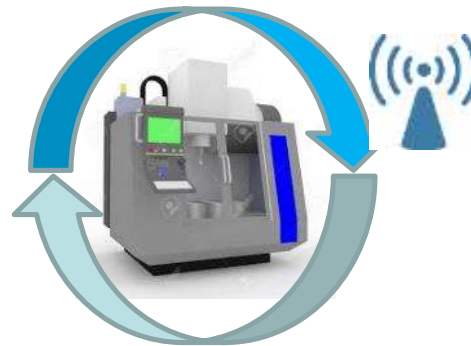


Peças  
Instrumentadas



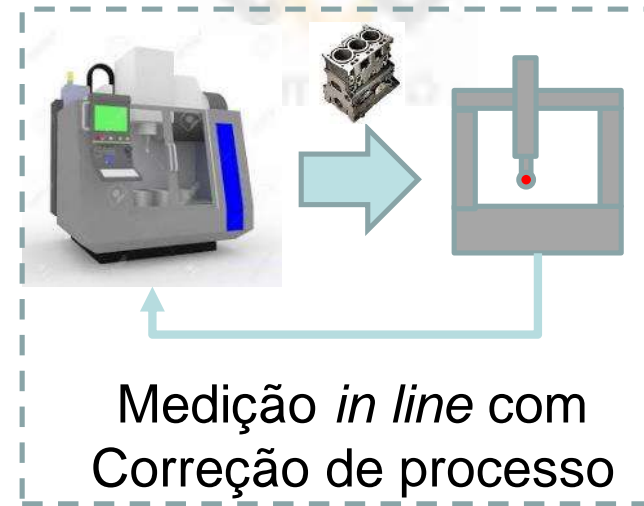
Manufatura Flexível  
Inteligência artificial

Sensores      Conectividade



Controle e  
Adaptabilidade

Fabricação  
Assistida



**Máquinas com capacidade de “sentir” o que se passa ao seu redor, tomar decisões e aprender com elas.**



### Ditado popular:

“Cuidado com o que fala, as paredes escutam...”

### Ditado popular na indústria 4.0:

“Cuidado com o que fala e faz, as máquinas escutam, enxergam, sentem calor, percebem esbarrões, vibrações, etc, se comunicam, tomam decisões e aprendem”



## Diálogo no cotidiano na indústria 4.0:

### Relógio de ponto:

- *Chegou o metrologista do 3º turno...*

### Máquina de medir:

- *Semana passada ele colidiu 5 vezes a ponta de medição com a peça...*
- *Vou limitar a velocidade de trabalho para 50%...*





**Quando as fábricas forem assim, como será uma fábrica que não seja assim?**



Um tempo de grandes oportunidades e ameaças.



## Atenção: cuidado com modismos

Indústria 4.0 não é um clube que se paga e entra, nem é uma certificação de qualidade

Indústria 3.0



Indústria 4.0



Percebe a diferença?



# 3. A PRECISÃO COMO REQUISITO NO CENÁRIO DA INDÚSTRIA 2.0



Você não está  
lendo errado!

## Indústria 2.0



### 2ª Revolução Industrial

- Produção seriada
- Divisão do trabalho
- Especialização do trabalhador



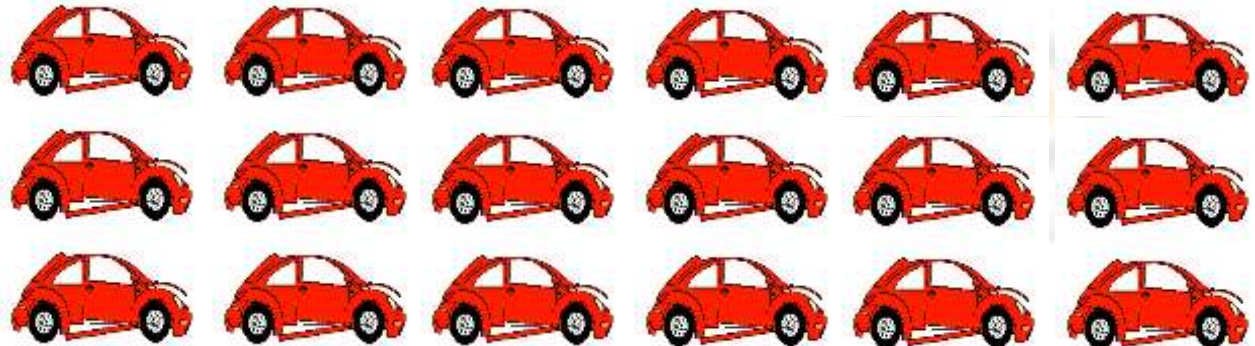
**Montagem intercambiável:** capacidade dos componentes serem produzidos com tamanhos padronizados de modo que possam ser montados com qualquer contra peça.

***“sem que haja nenhum tipo de ajuste manual para que isso ocorra”***

## Problemas de implantar soluções de automação em processos sem precisão



- Aumento da velocidade com que se gera retrabalho e refugo

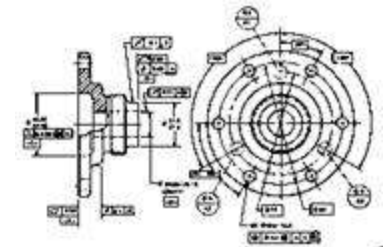
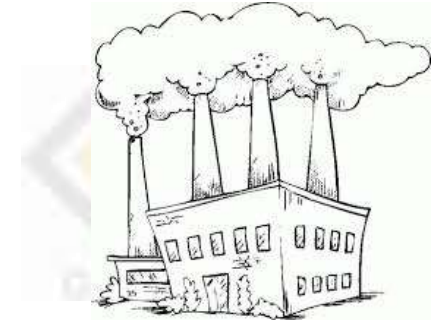


# Olhemos para um cenário comum na Indústria Mecânica



## Pense numa indústria em que:

- Projetos mecânicos são conduzidos com base no achismo e em requisitos de exatidão imaginários, com tolerâncias que não refletem as necessidades reais dos sistemas mecânicos.
- Desenhos têm especificação geométrica pobre, são confusos e com erros, em desacordo com as normas técnicas mais atuais.
- Processos de produção empregam equipamentos e/ou métodos antiquados, e são incapazes de atender as tolerâncias especificadas.
- Os clientes não confiam muito seus nos processos e obrigam a controlar 100% das peças fabricadas
- As peças não montam como deveriam para atender aos seus requisitos funcionais, necessitando de ajustes manuais que diminuem a produtividade e comprometem a qualidade.



## Pense numa indústria em que:

- Há dificuldade na interpretação das especificações de desenho, gerando erros de comunicação e procedimentos errados de manufatura e medição.
- Os planos de controle dimensional não estão focados nas características que são realmente significativas. Mede-se o que não é importante. Deixa-se de medir o que é importante.
- A infraestrutura metrológica tem deficiências em máquinas e instrumentos, procedimentos, ambiente apropriado e/ou métodos de trabalho.
- Os processos de medição geram informações erradas para análises de produto e correções de processo.
- Há problemas de qualidade que geram conflitos com clientes e perdas de produtividade de produção.

**VAMOS ROBOTIZAR TUDO E TEREMOS  
UMA FÁBRICA INTELIGENTE...**





# FÁBRICA INTELIGENTE??

## A INTELIGÊNCIA FICA NO CÉREBRO, NÃO NOS MÚSCULOS!

O investimento em modernização fabril sem a devida atenção às questões de precisão dimensional de produtos e processos pode ter como efeito apenas o aumento da velocidade com que se gera refugos, retrabalhos e perdas.

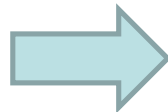
Além da nossa necessidade de modernização fabril, é urgente também a nossa necessidade de modernização de **conceitos e práticas**, em todos os níveis corporativos, para a obtenção econômica da conformidade dimensional de produtos no cenário da Indústria 4.0.



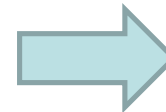
Junto com a modernização de máquinas precisamos modernizar métodos.

Para modernizarmos os métodos, precisamos modernizar as mentes.

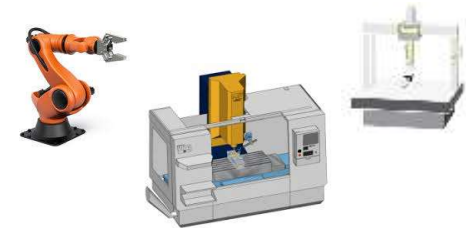
**MENTES**



**MÉTODOS**



**MÁQUINAS**



**Indústria 4.0**

Modernização de Mentes,  
Métodos e Máquinas

MONTAGEM INTERCAMBIÁVEL ERA  
REQUISITO NO CENÁRIO DA  
INDÚSTRIA **2.0**



MONTAGEM INTERCAMBIÁVEL ERA  
REQUISITO NO CENÁRIO DA  
INDÚSTRIA **3.0**



MONTAGEM INTERCAMBIÁVEL É  
REQUISITO NO CENÁRIO DA  
INDÚSTRIA **4.0**





# 4. OBTENÇÃO DA PRECISÃO GEOMÉTRICA A CUSTOS RACIONAIS



## Precisão Geométrica Importa e Impacta

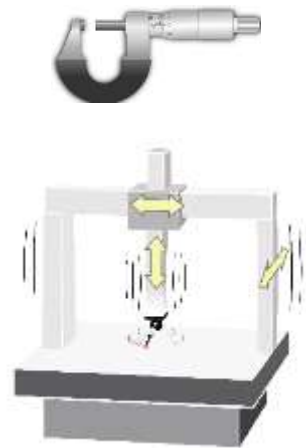
Montagem Intercambiável  
Funcionalidade e Confiabilidade  
Segurança Operacional  
Estética e Acabamento  
Produtividade  
Custos



Mas isso não pode ocorrer a qualquer custo.



Perfeição só existe no mundo espiritual.  
No mundo material, tudo é imperfeito.



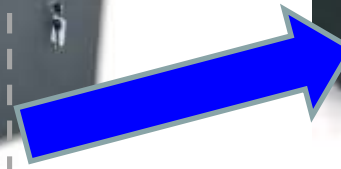
Nesse mundo imperfeito, a busca desnecessária  
pela perfeição gera muitos desperdícios.

O Imperfeito custa muito menos e pode funcionar muito bem, desde que estas imperfeições estejam consideradas na função do produto.

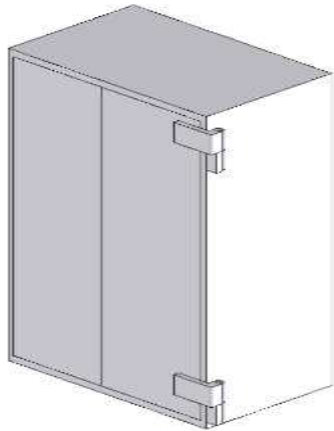


Tudo começa com a análise dos requisitos funcionais.

Exemplo:  
Requisito de segurança em cofre de  
caixa eletrônico







Desenhos de produto

Cortes das chapas

Desvios

Usinagens

Desvios

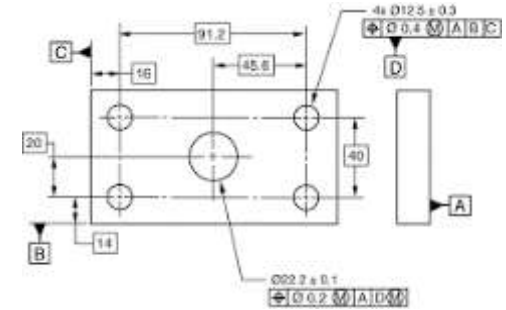
Soldagens

Desvios

Montagens

Desvios

Verificação dos vãos



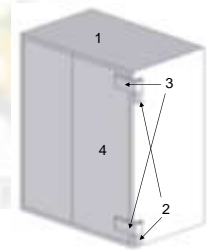
RETRABALHO

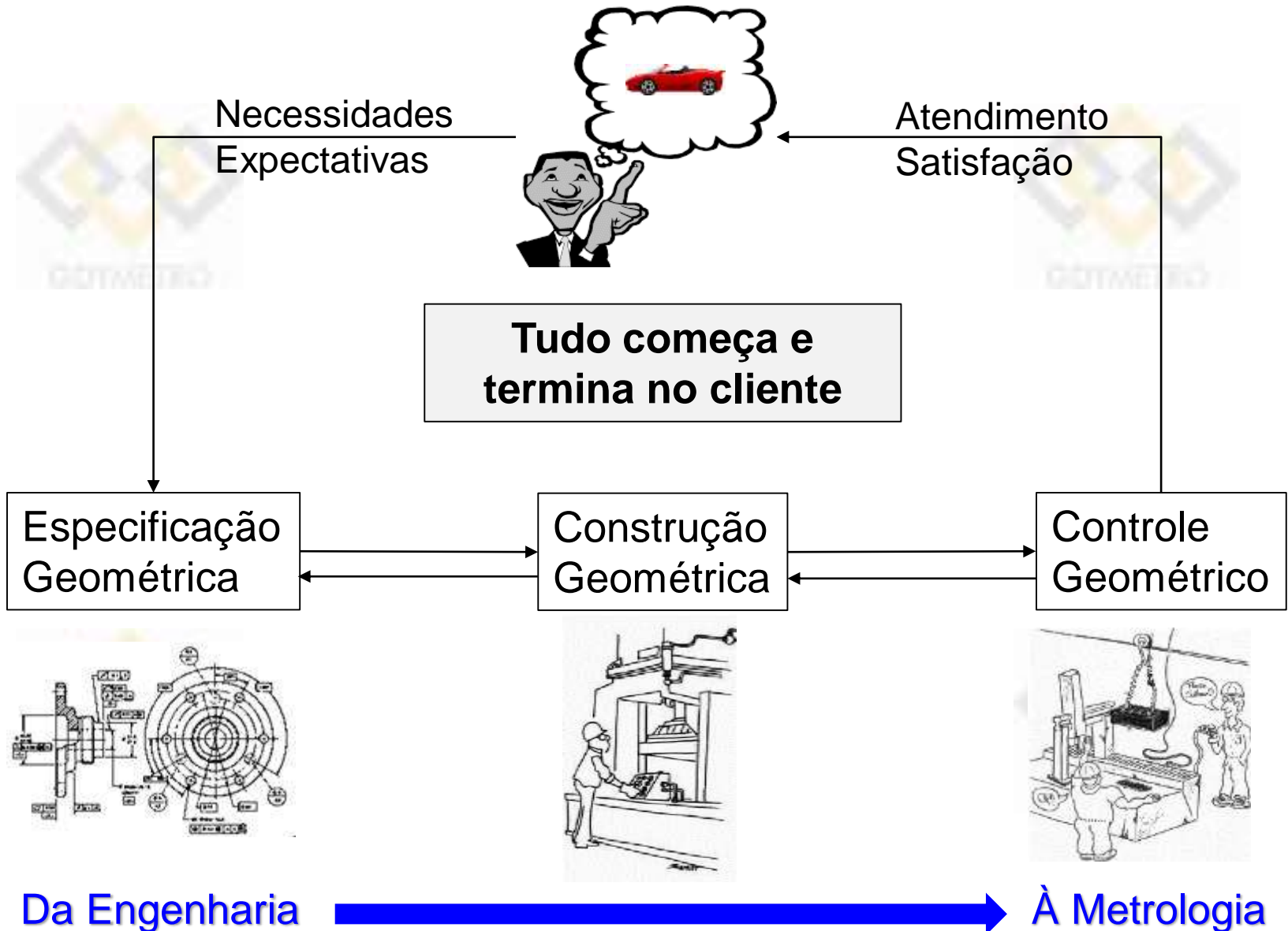




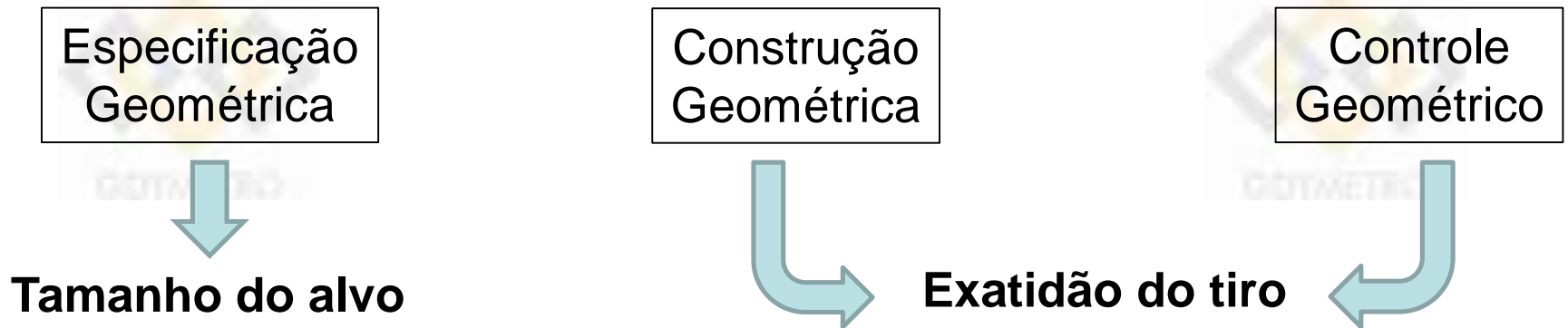
## Perguntas que precisam ser respondidas com SIM:

1. O projeto considera as variações que cada componente pode ter para que, no conjunto, o vão de 3 mm não seja ultrapassado? As tolerâncias que controlam estas variações estão definidas de modo coerente com a precisão dos processos e máquinas disponíveis?
2. Os processos e máquinas da produção são capazes de atender as tolerâncias especificadas com boa produtividade?
3. Os processos de medição empregados para ajustar os processos de produção e para qualificar os produtos possuem exatidão necessária para estas tarefas?





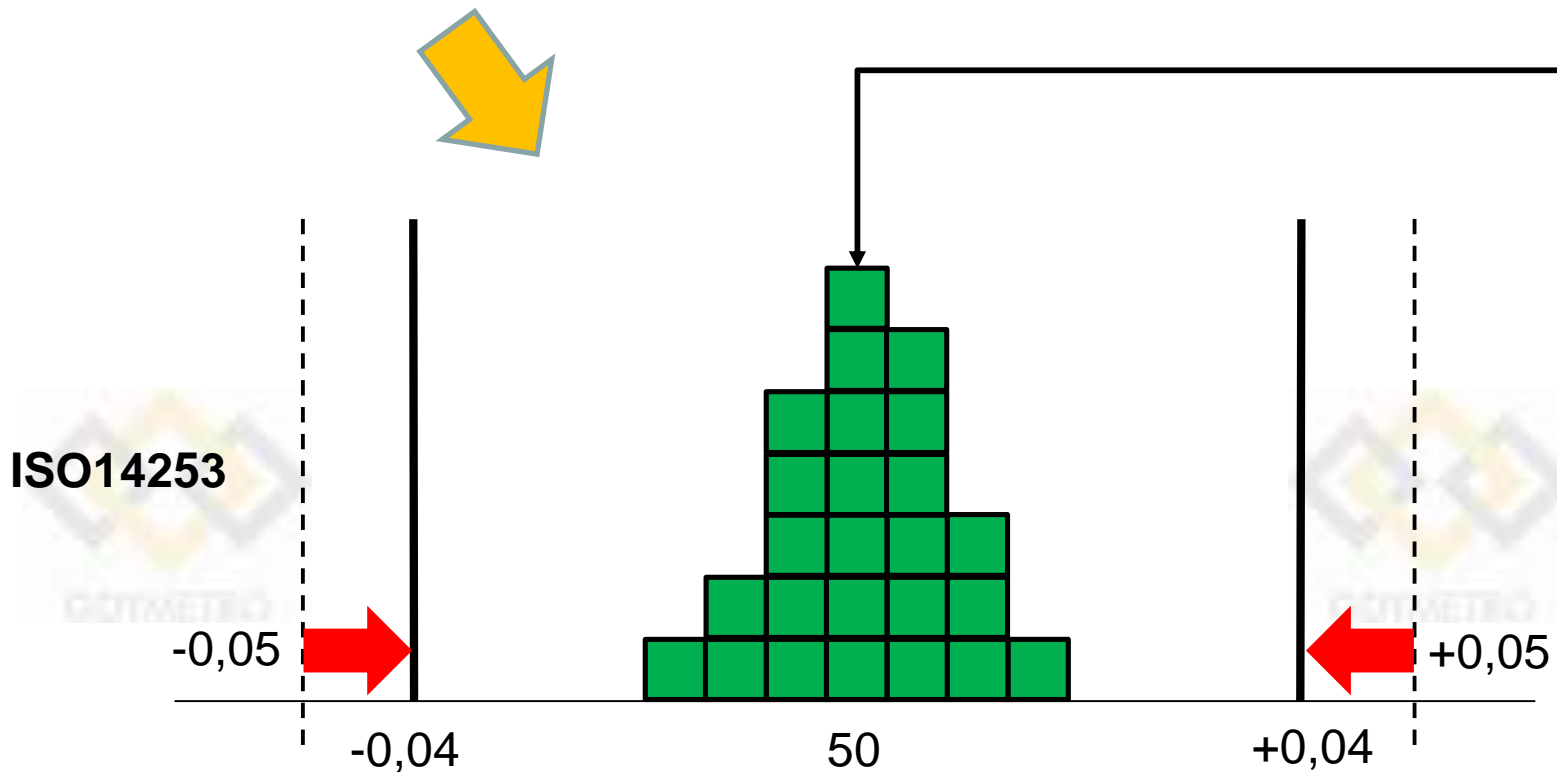
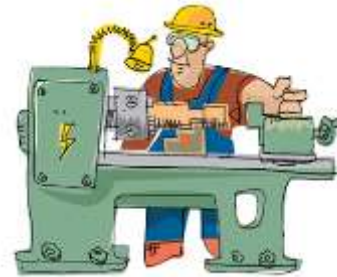
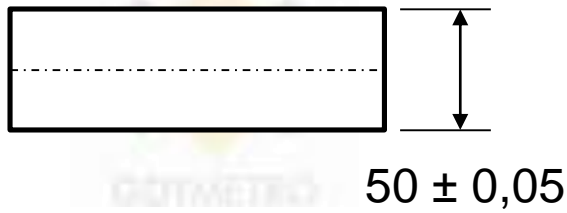
## Impacto da precisão no custo de produção



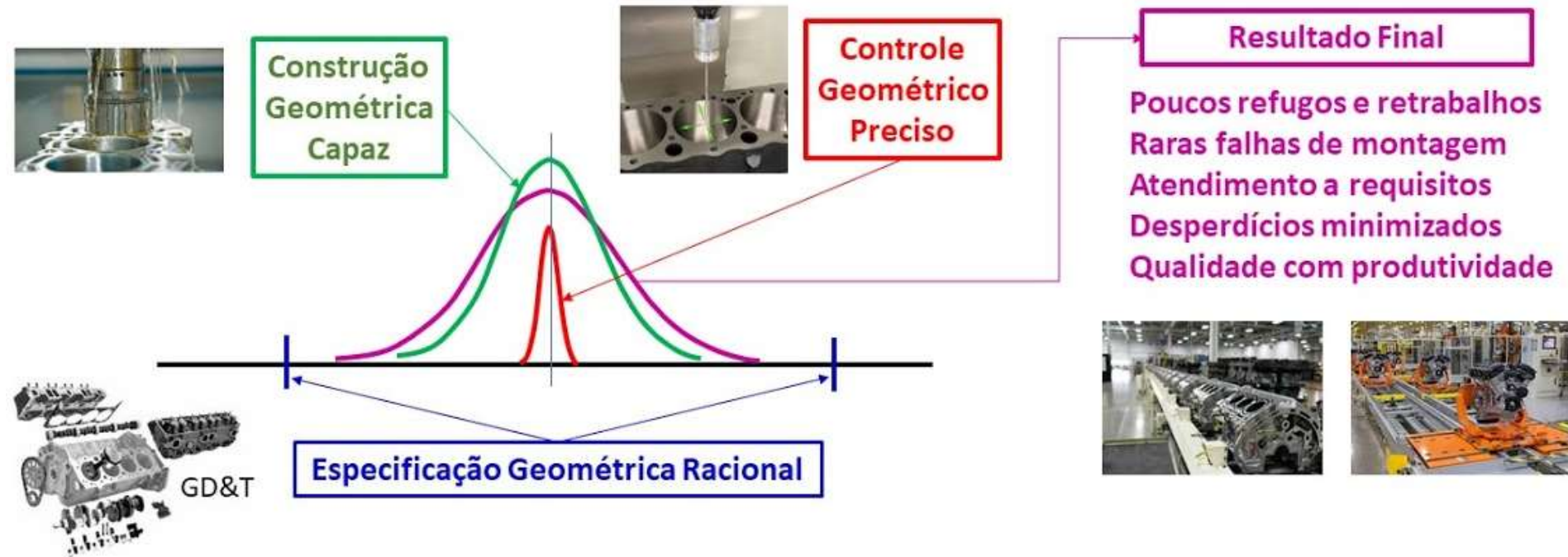
Especificação racional

Fabricação capaz

Controle preciso

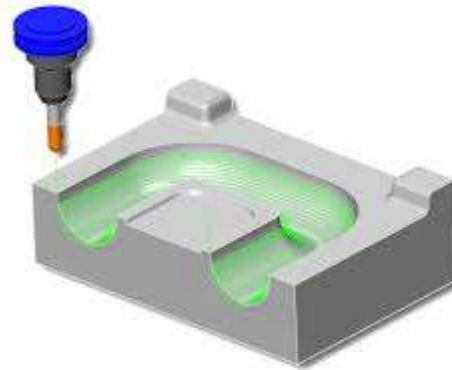


O Imperfeito pode funcionar muito bem.



## “PÉROLA DO COTIDIANO”

*Não precisa medir! Foi projetado em CAD,  
programado no CAM e usinado em CNC!*



*Cuidado! A sofisticação tecnológica cria o mito da perfeição.*



# 5. GESTÃO DIMENSIONAL DE PRODUTOS





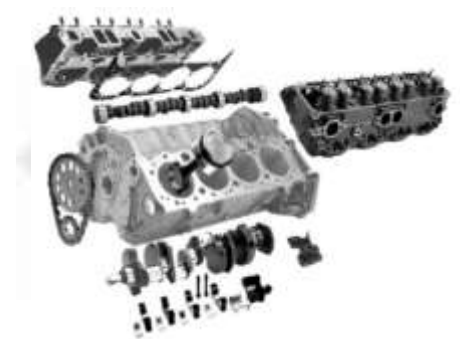
## ***Product Dimensional Management***

Conjunto de operações sistêmicas destinadas a prever, evitar e reduzir a ocorrência de variações dimensionais que causem problemas nos produtos.

**Objetivo:** assegurar o atendimento de requisitos estéticos e funcionais, permitindo a obtenção, sem retrabalhos, de alta qualidade no produto.

### **Envolve:**

- Planejamento dos requisitos do produto
- Análise de tolerâncias
- Melhoria de máquinas e dispositivos de produção
- Garantia de confiabilidade nas medições



## Pilares da Gestão Dimensional de Produtos:

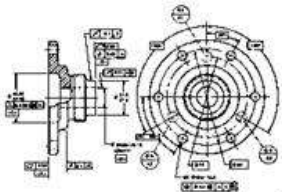
- Melhoria na especificação geométrica dos produtos com GD&T
- Otimização da Exatidão de Processos de Manufatura
- Metrologia Dimensional Confiável



**Projeto robusto a variações dimensionais**

**Processos de produção com erros controlados**

Especificação  
Geométrica



Construção  
Geométrica



Controle  
Geométrico

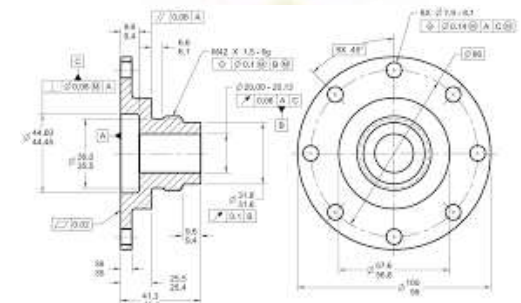


Na Gestão Dimensional de Produtos é necessário o entendimento e controle da variação do processo de fabricação, buscando:

- Controlar a variabilidade do processo de manufatura para assegurar que o cliente receba produtos o mais próximo possível do projeto
- Assegurar que os efeitos da variação comum deste processo não causem problemas no produto pois já estão previstos e considerados pela engenharia do produto na sua especificação geométrica.



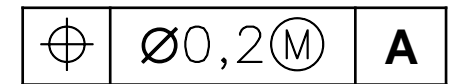
815754318 fotosearch.com



**Reduzindo a variação dos processos de fabricação**, a empresa pode reduzir os custos diretos e os efeitos indiretos de refugos e retrabalhos.



Fazendo o projeto de produto **ser mais tolerante** às variações de processo, a gestão dimensional de produtos também reduzirá custos pela redução do tempo para desenvolvimento e lançamento de novos produtos e pelo amadurecimento mais rápido de novos processos.

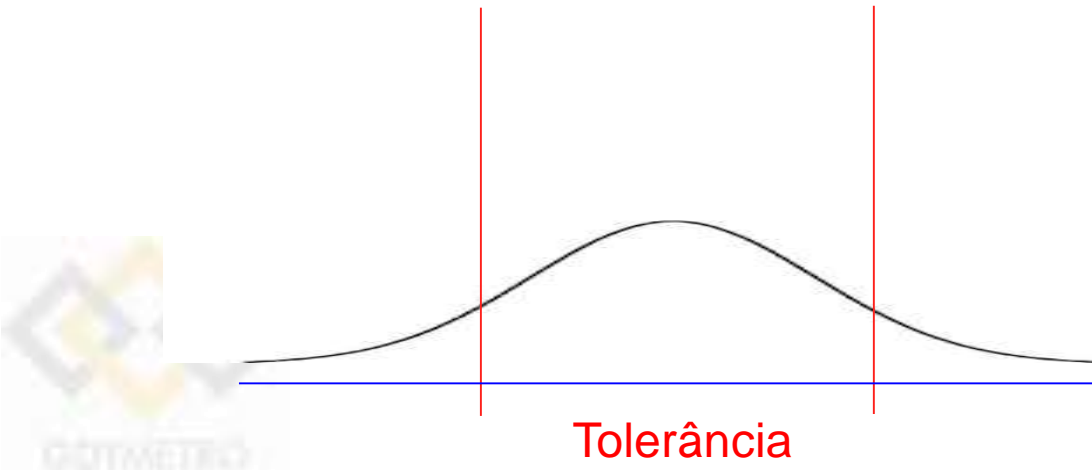


**Produtos menos sensíveis às variações dos processos** de fabricação são mais confiáveis em serviço, potencializando a aumento de satisfação dos seus consumidores.



## GESTÃO DIMENSIONAL

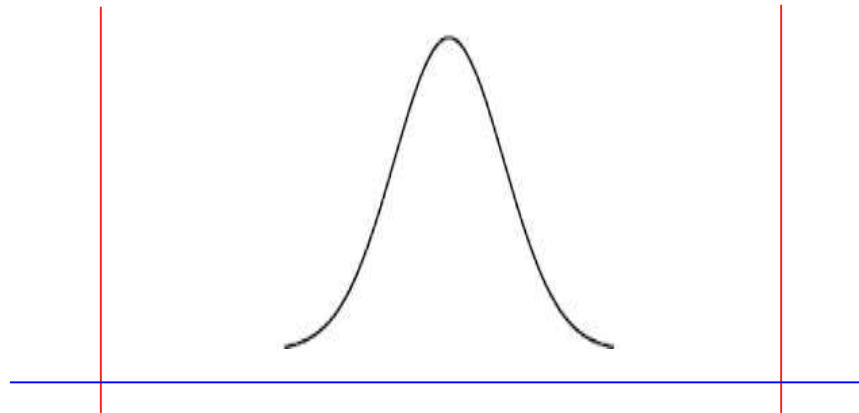
Atuar no que seja evitável  
 Proteger do que seja inevitável



$\oplus$	$\varnothing 0,02 \text{ (M)}$	<b>A</b>
----------	--------------------------------	----------

## GESTÃO DIMENSIONAL

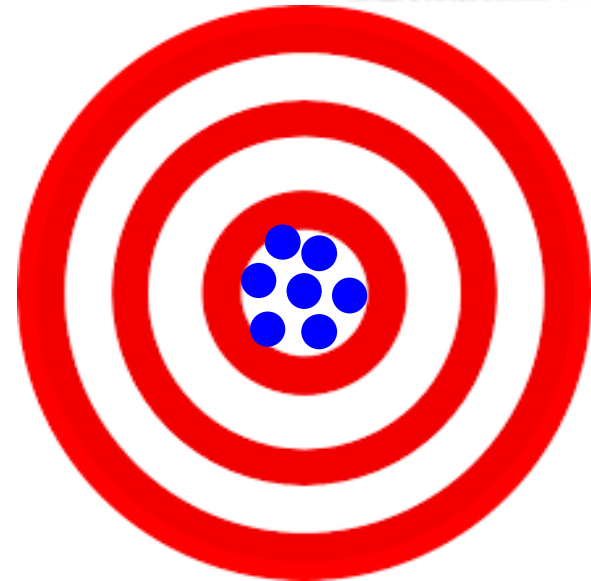
Atuar no que seja evitável  
 Proteger do que seja inevitável



Tolerância

$\oplus$	$\varnothing 0,1 \text{ (M)}$	<b>A</b>
----------	-------------------------------	----------

**Aumentar o tamanho do alvo e Melhorar a exatidão dos tiros**

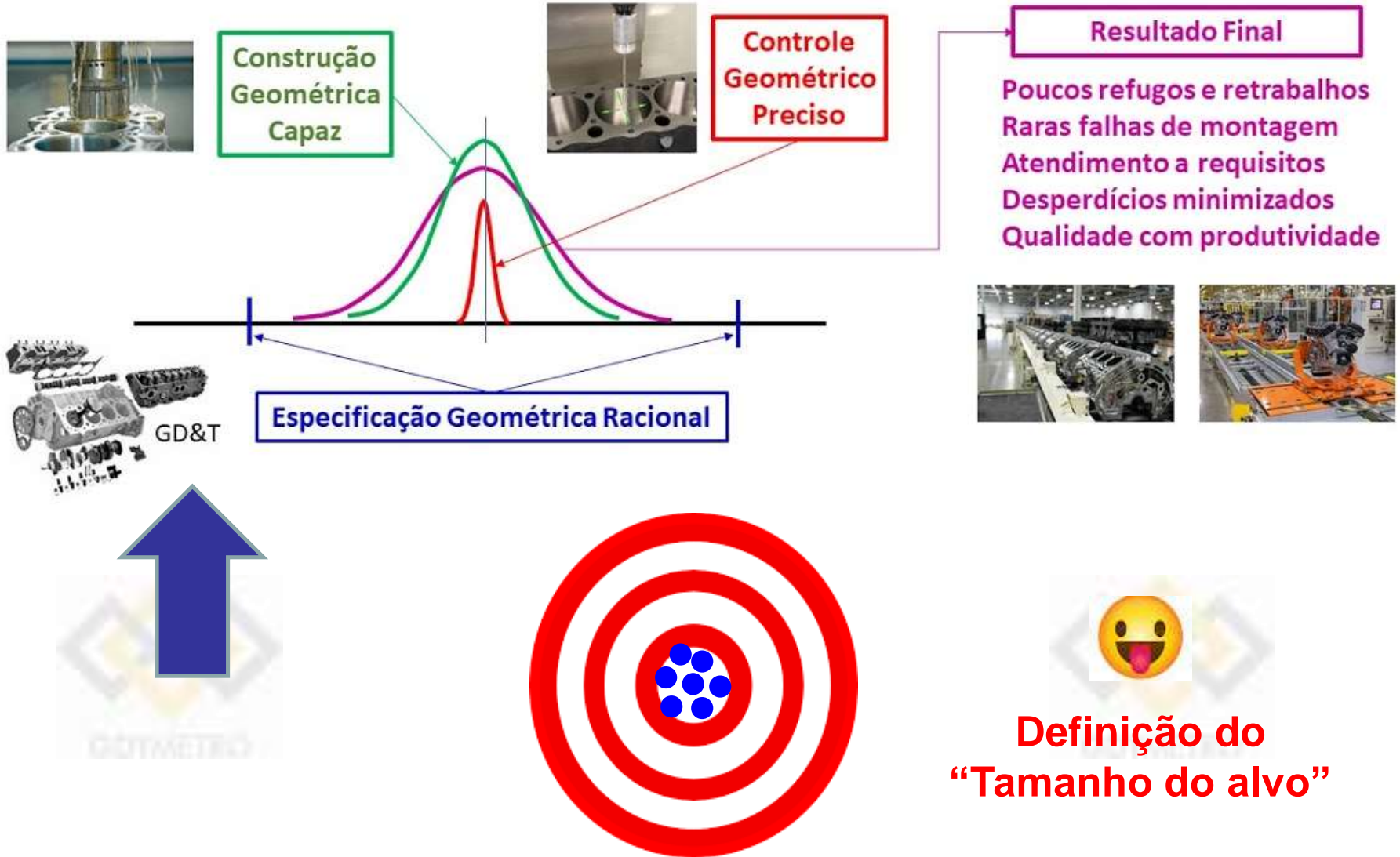




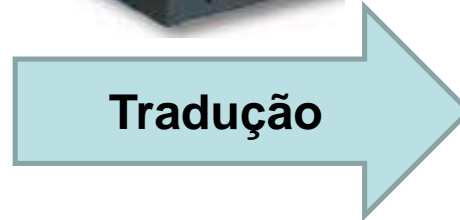
# 6. MELHORIA DA ESPECIFICAÇÃO GEOMÉTRICA DE PRODUTO



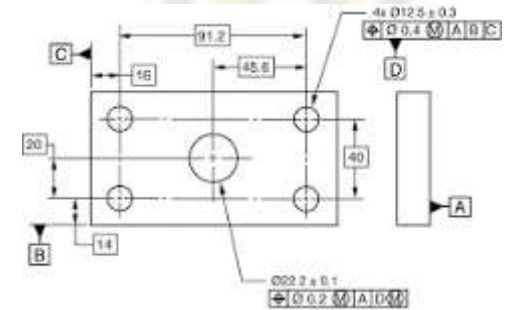




## Requisitos do Produto



## Especificações geométricas



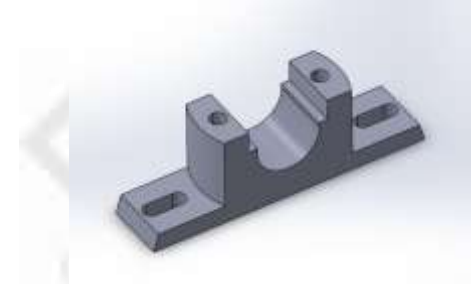
A Gestão Dimensional inicia com uma análise detalhada dos requisitos do produto, fugindo da prática tradicional de definir tolerâncias pouco antes da liberação dos desenhos, muitas vezes **tolerâncias “herdadas”** ou **tolerâncias “chutadas”**.

## “PÉROLA DO COTIDIANO”

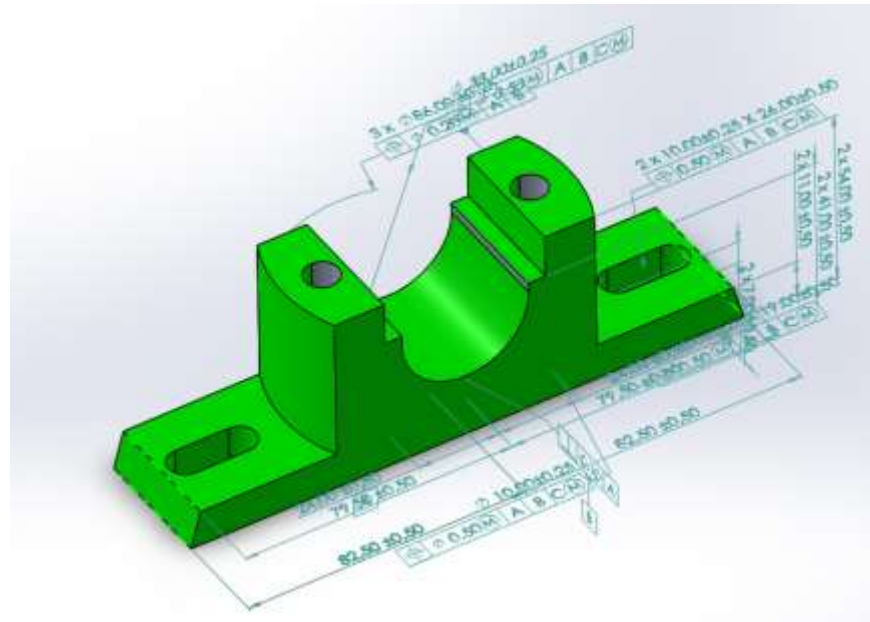


- *O desenho está pronto?*

- Está. Só falta colocar as tolerâncias.



5 minutos depois...

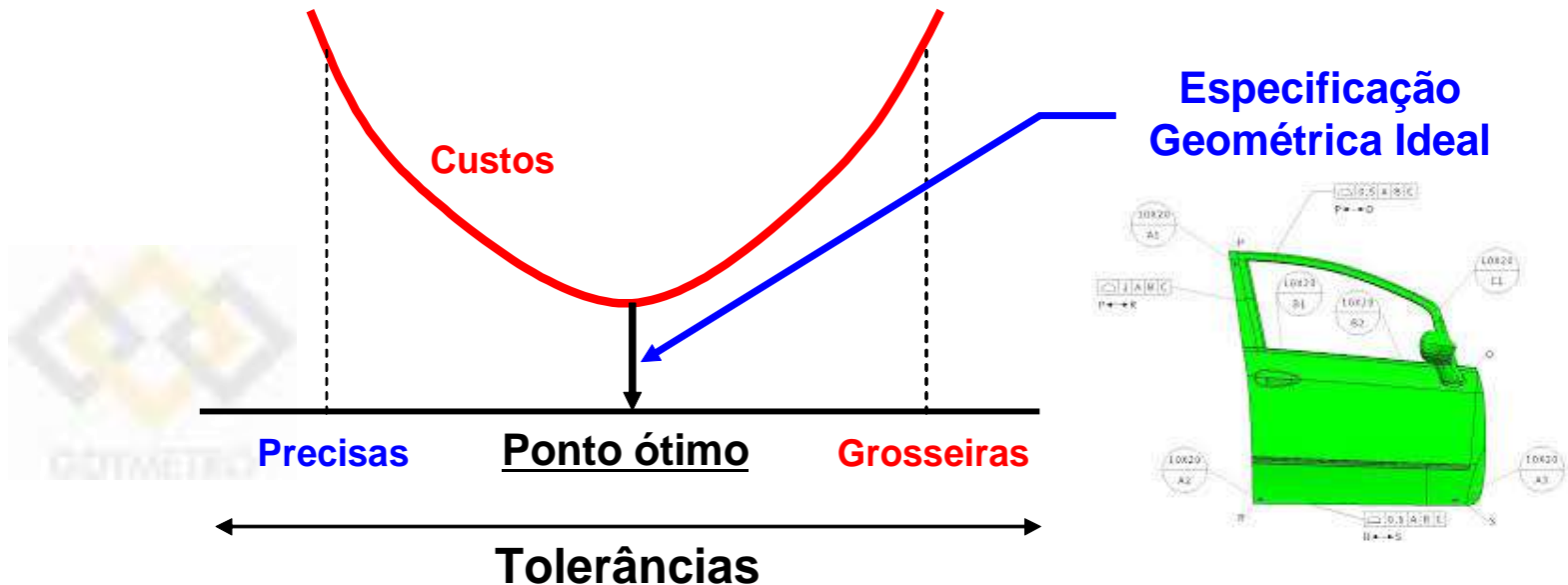


## O Problema mais frequente:

Especificação geométrica conduzida com base no “achismo” e em requisitos de exatidão imaginários, com tolerâncias que não refletem as necessidades.

Fabricação cara,  
refugo, retrabalho, ...

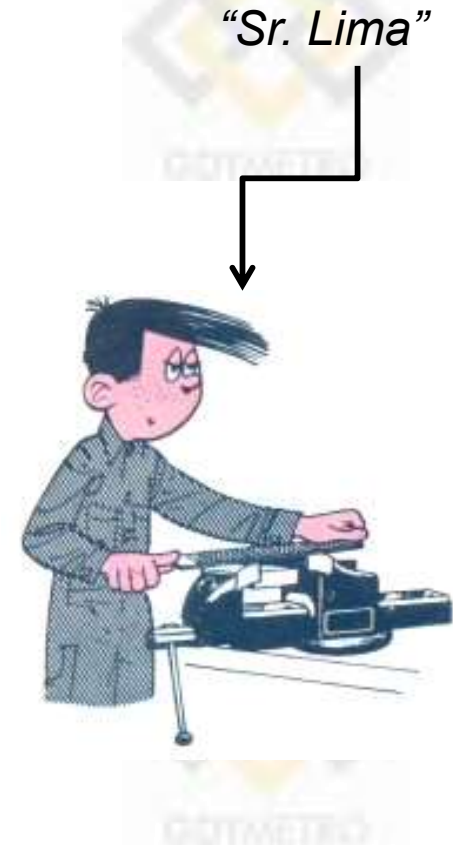
Falhas de Montagem,  
Baixa qualidade, ...



## IPMT: “IMPOSTO SOBRE PRODUTOS MAL TOLERADOS”

Produtos geometricamente mal especificados:

- São mais difíceis de produzir
- São mais difíceis de medir
- Causam mais problemas de montagem
- Requerem mais retrabalhos
- Provocam mais refugos
- São mais propensos a falhas
- Possuem desempenho inferior
- Deixam mais clientes insatisfeitos
- Sacrificam a sustentabilidade da empresa



**A variável tempo é crítica!**

## As tolerâncias protegem a função do sistema mecânico



Definir a tolerância adequada para cada peça é uma atividade crítica para o sucesso da empresa.

Se sua empresa trabalha com margem de segurança muito pequena ou muito grande, **a concorrência vai vencer sempre!!**

As empresas que **irão sobreviver no futuro** são aquelas que conseguem gerar produtos com alta qualidade e baixo custo. Em termo de precisão, isso pode ser obtido ao se definir as maiores tolerâncias possíveis que cada componente permite.

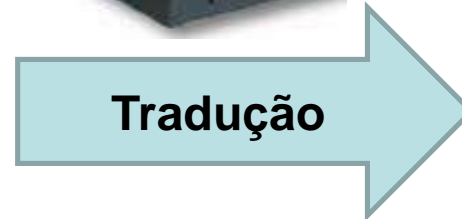
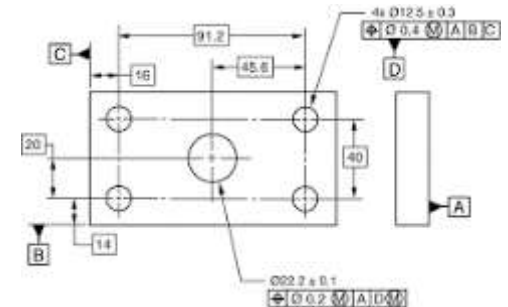
	Tolerância apertada	Tolerância aberta
Produto funcional	Cliente satisfeito mas produto de alto custo	Cliente satisfeito e produto de custo competitivo
Produto não funcional	Lixo de alto custo	Lixo de baixo custo

# Como traduzir requisitos em especificações de desenho?

Requisitos do Produto



Especificações geométricas



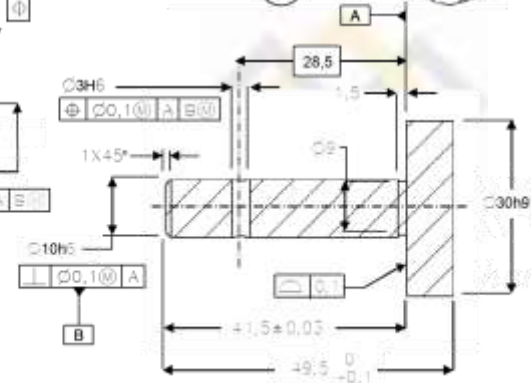
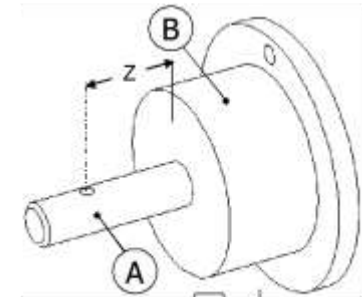
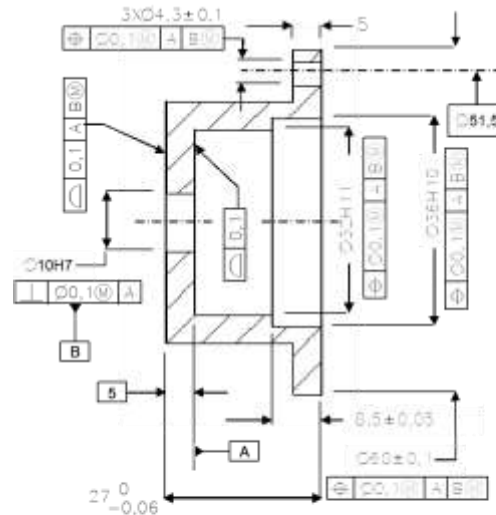
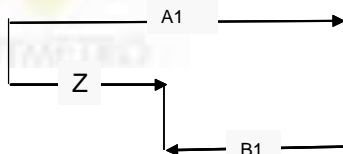
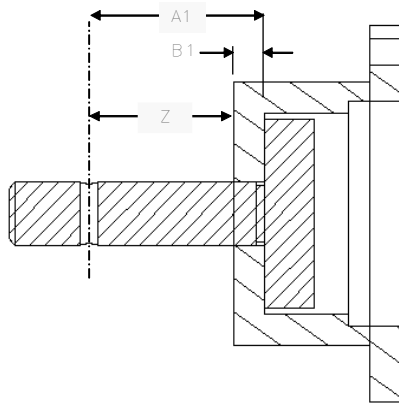
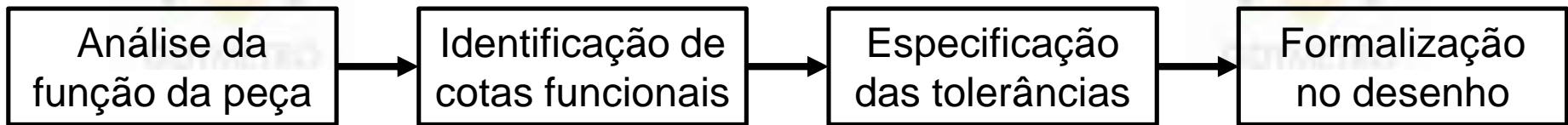
Existe algum método consagrado?

Existem normas consagradas?



# GD&T – Geometric Dimensioning and Tolerancing

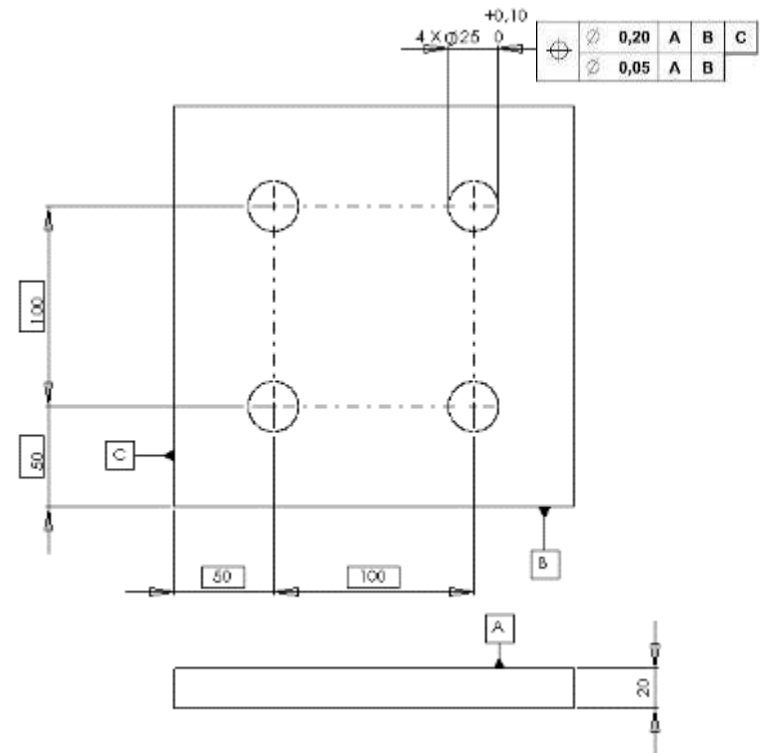
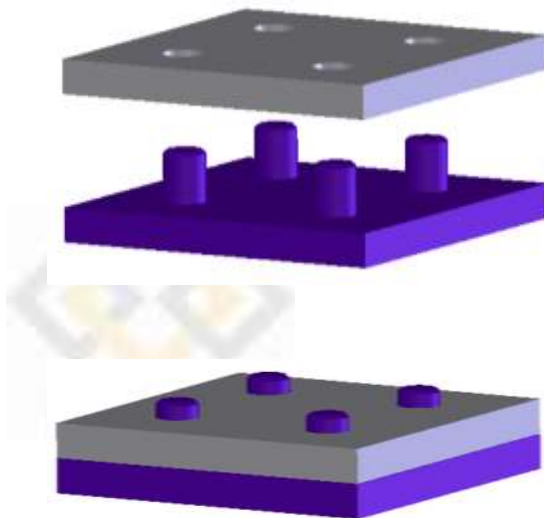
Método de dimensionamento e expressão da variação dimensional do produto.



















# GD&T – Geometric Dimensioning and Tolerancing

A linguagem GD&T é a forma mais consistente de expressar a variação dimensional do produto, ao proporcionar os recursos necessários para que o projeto possa informar os principais parâmetros geométricos, focando não somente o produto, mas também levando em consideração os processos de fabricação, o controle dimensional e a montagem.





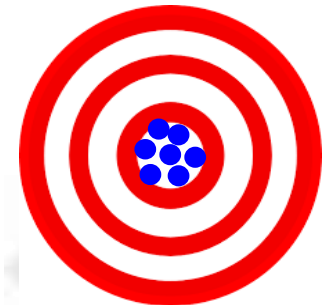
## GD&T é muito mais do que tolerâncias geométricas

Tolerância geométrica	Símbolo
Posição	
Paralelismo	
Perpendicularidade	
Angularidade	
Concentricidade / <u>Coaxialidade</u>	
Simetria	
Circularidade	
Cilindricidade	
<u>Retitude</u>	
Planeza	
Perfil de linha	
Perfil de superfície	
Batimento circular	
Batimento total	

É um idioma com mais de 200 regras e dezenas de símbolos para que se possa expressar nos desenhos a variação geométrica permitida para o produto:

$\oplus$	$\varnothing$	0,15	(M)	A	B	(M)	C	(M)
1	2	3	4	5	6	7	8	

1. Tipo de tolerância
2. Forma da zona de tolerância
3. Tamanho da zona de tolerância
4. Modificador do tamanho da zona de tolerância
- 5, 6, 7. Referências que orientam ou localizam a zona de tolerância
8. Modificador da Referência – Mobilidade



“Tipo, Forma, Tamanho e Localização do alvo”

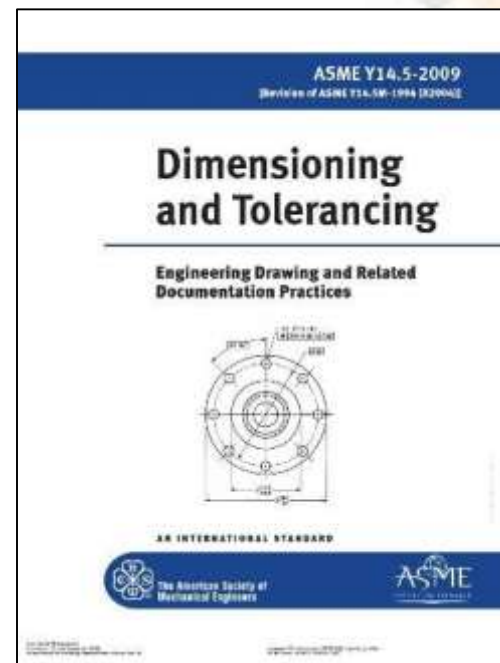
## Em que o GD&T pode ajudar?

- Promove a uniformidade na especificação e interpretação do desenho eliminando conjecturas e suposições errôneas
- Assegura que os profissionais do projeto, da produção e da qualidade estejam todos trabalhando na mesma língua
- Reduz custos decorrentes de erros de comunicação
- Aumenta a zona permissível de tolerância de fabricação
- Garante a intercambialidade entre as peças na montagem
- Não gera dupla interpretação minimizando controvérsias e falsas suposições nas intenções do projeto
- Possui consistência matemática para ser usado em aplicações computacionais
- Permite que o desenho seja uma ferramenta contratual efetiva do projeto do produto

## GD&T – As “Gramáticas”



Norma ISO1101 - 2017

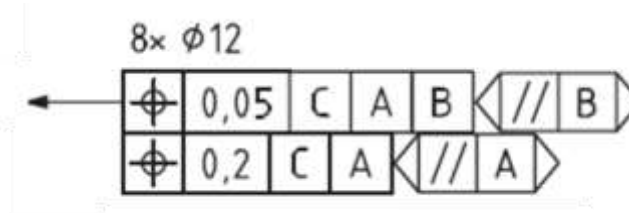
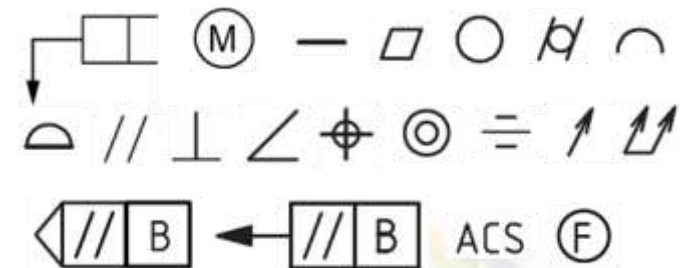


Norma ASME Y 14.5 - 2018

## Normas de GD&T são linguagens para a especificação de tolerâncias, possuindo:

- Gramática (conceitos, regras, exceções)
- Letras (símbolos)
- Frases e parágrafos (indicadores de tolerâncias)

Datum, condição virtual, zona de tolerância, feature, TED, princípio da independência, ...



## Exemplos de empresas usuárias



Norma ISO1101 - 2017



Norma ASME Y 14.5 - 2018



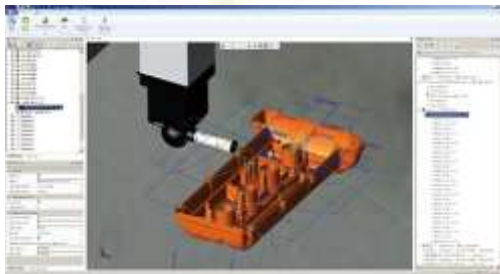
Mercedes-Benz



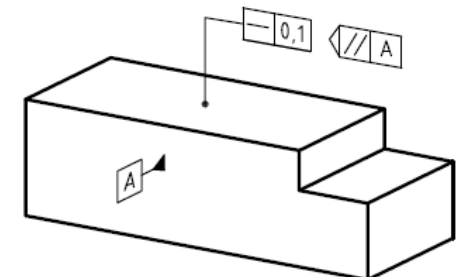
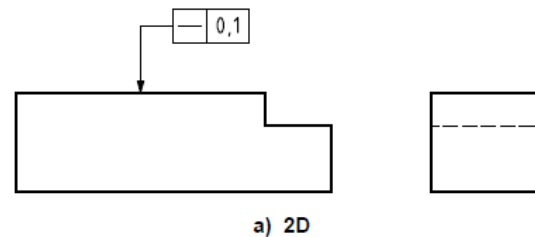
## As normas estão em constante evolução:

- Necessidade de melhoria dos produtos
- Modernização dos processos de engenharia, manufatura e qualidade
- Necessidade de sustentabilidade dos processos
- Necessidade de garantia de qualidade em fornecimento global

### Ex: Model Based Definition - A era do desenho sem papel



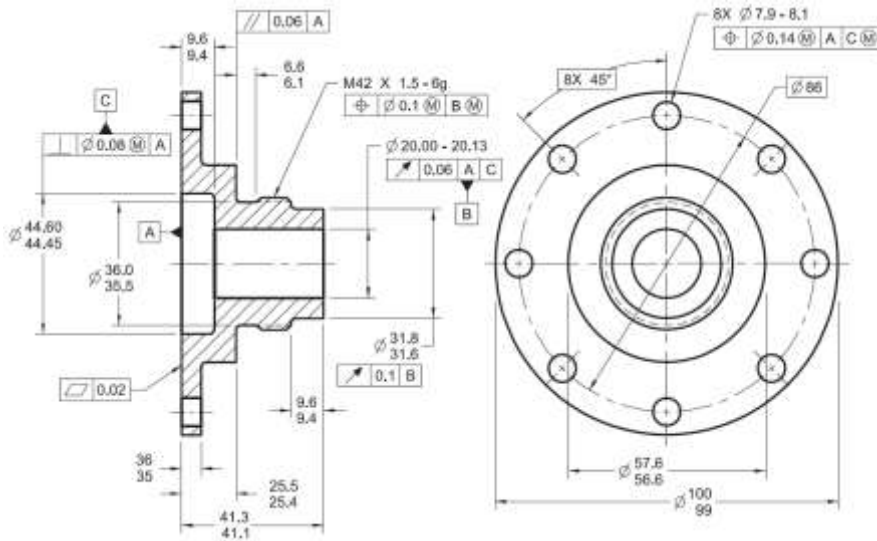
Mitutoyo







**As normas ISO e ASME são diferentes em aspectos muito importantes!!**



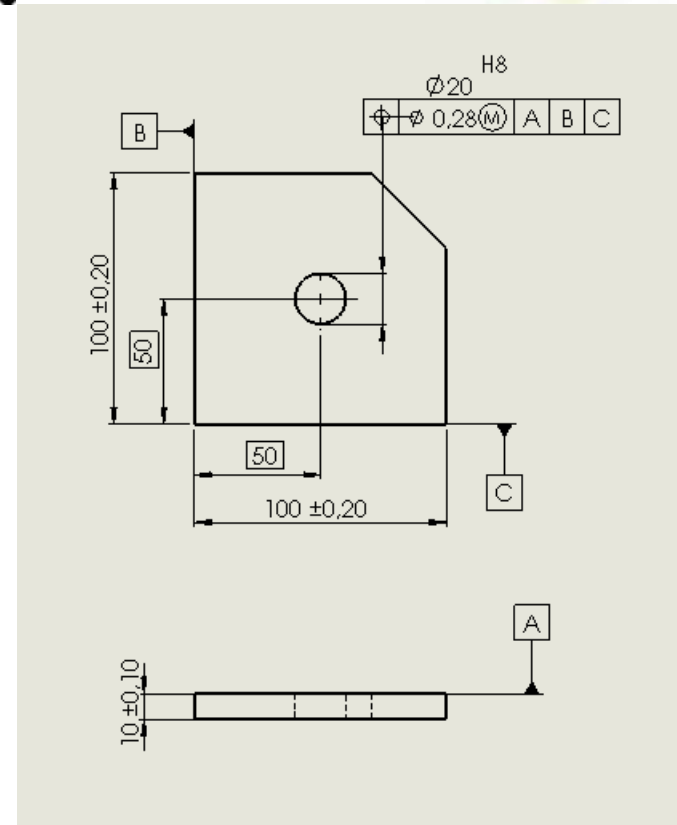
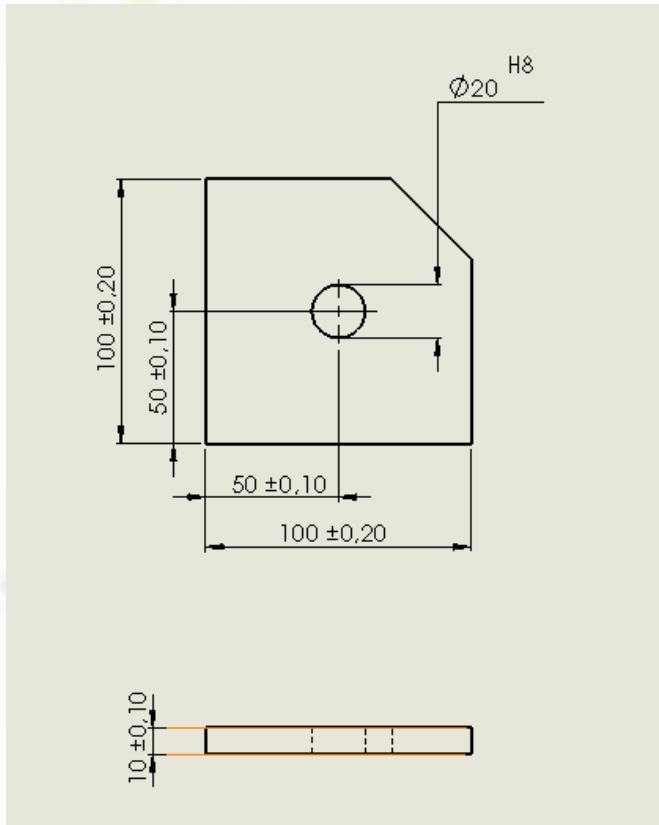
**Antes de analisar um desenho temos que saber que norma este segue!!**

- Exemplo simples de algumas das vantagens do GD&T

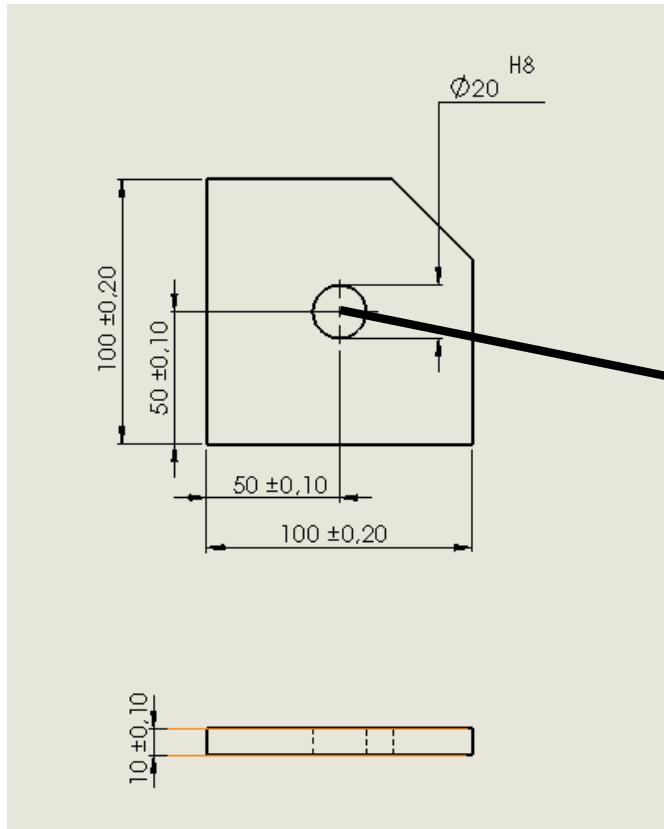
**Cartesiano**



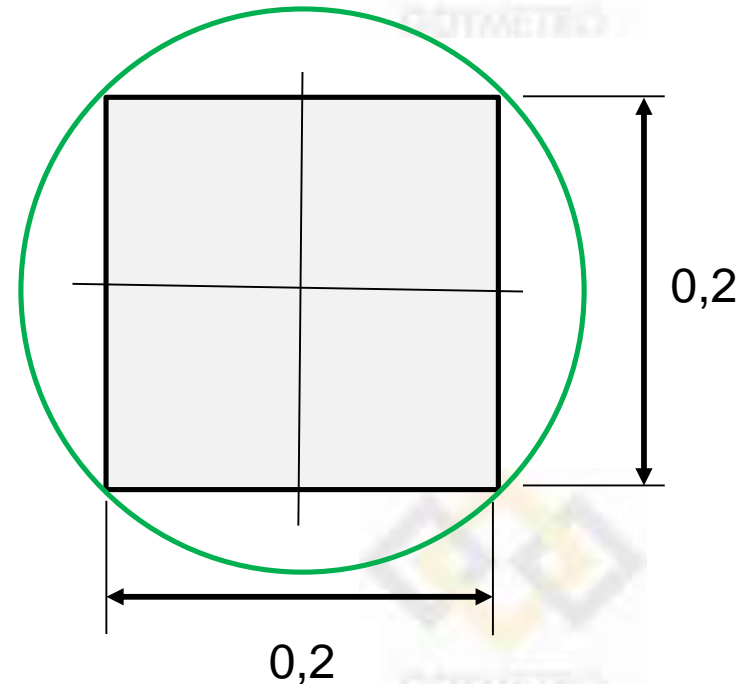
**GD&T**



## Cartesiano

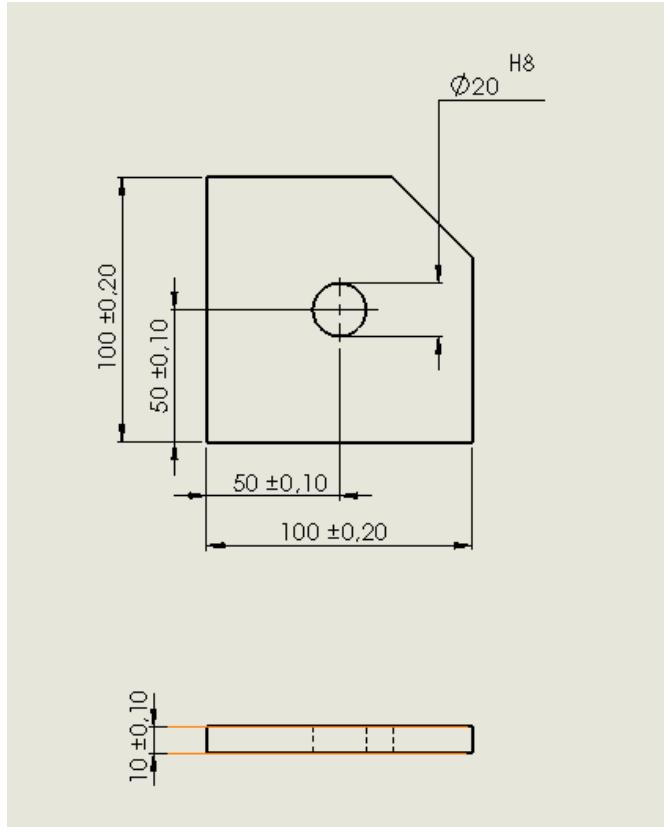


- Zona de tolerância mais apertada do que o **necessário**



**Tolerância de posição** é 57% maior do que a tolerância cartesiana bidirecional.

## Cartesiano



- Não permite aumentar a tolerância em função do tamanho do furo

20H8: 20,033  
20H8: 20,000

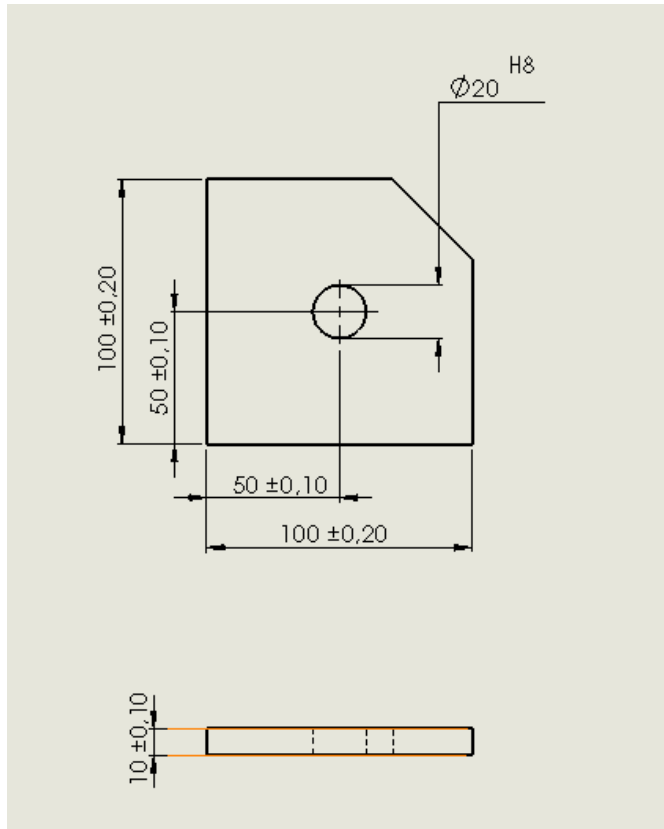
Dimensão de máximo material = 20,000 mm

Dimensão de mínimo material = 20,033 mm

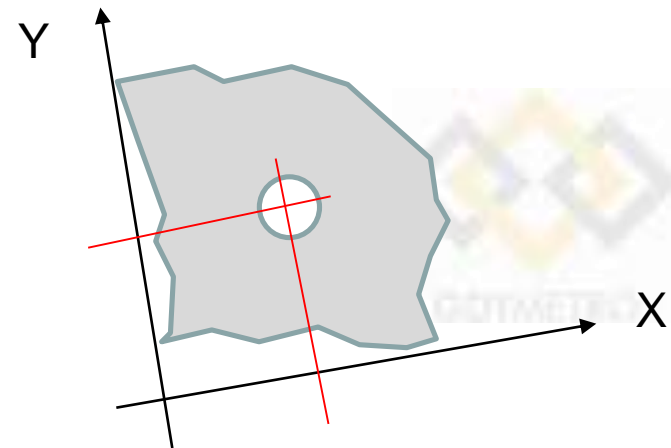
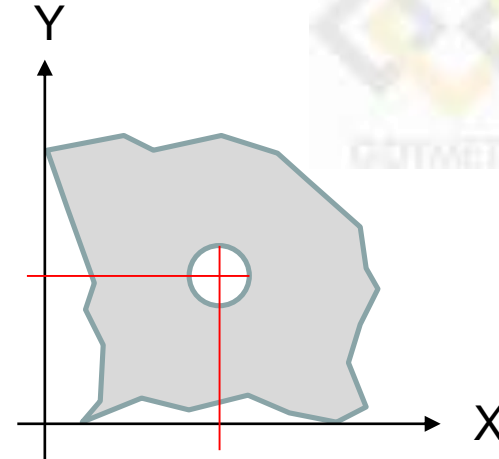
Posição linear:  $\pm 0,10$  mm

**INVARIÁVEL**

## Cartesiano

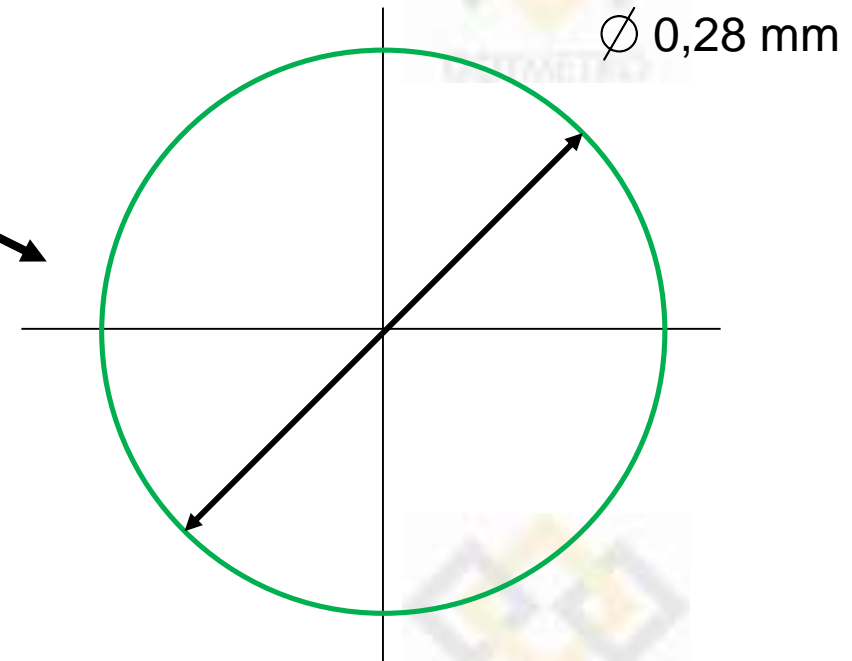
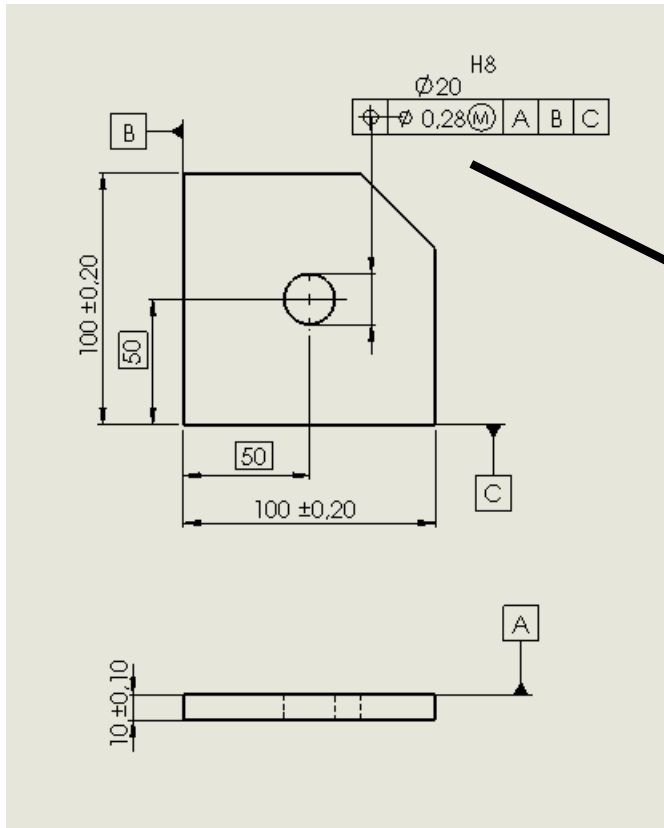


- Não define de modo claro as referências para fabricação e medição



## GD&T

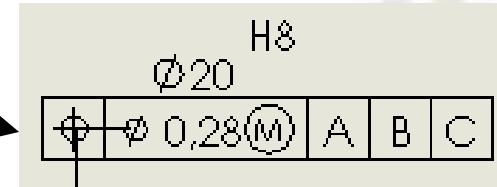
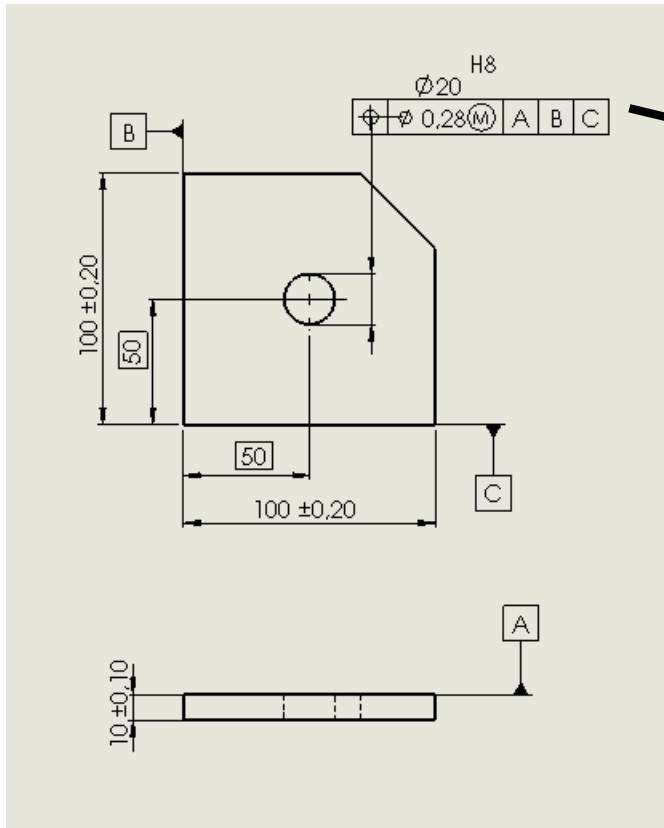
- Zona de tolerância dimensionada para o **necessário**



**Tolerância de posição** é 57% maior do que a tolerância cartesiana bidirecional.

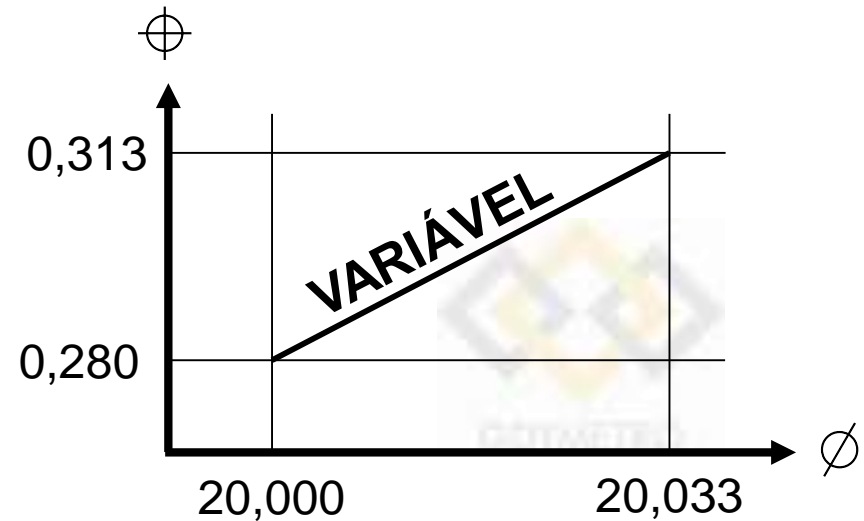
## GD&T

- Recursos para aumentar a tolerância de posição em função do tamanho do furo



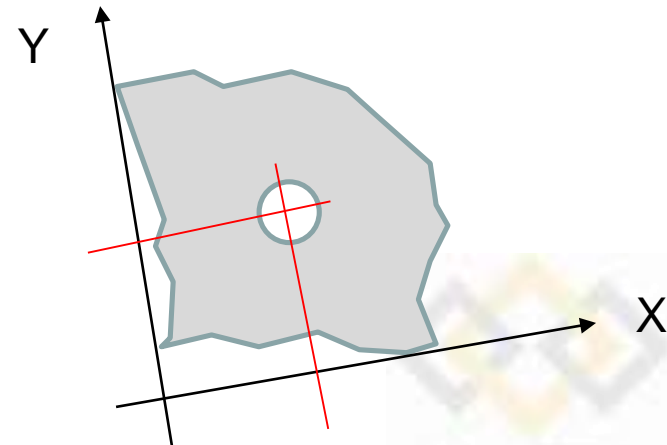
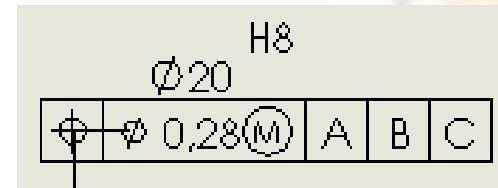
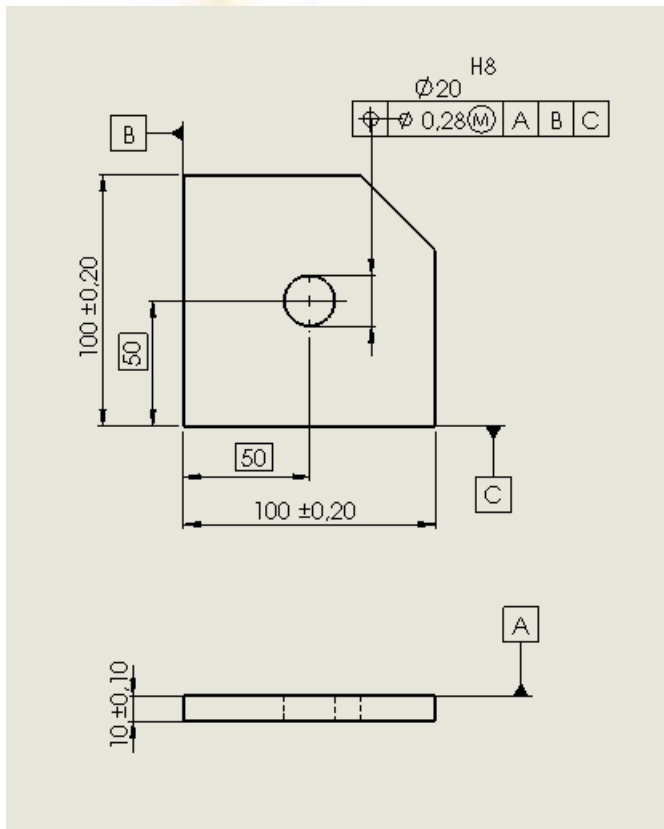
Dimensão de máximo material = 20,000 mm

Dimensão de mínimo material = 20,033 mm



## GD&T

- Define de modo claro as referências para fabricação e medição





## Mitos do emprego de GD&T

- O GD&T aumenta o custo do produto
- Desenhos com GD&T demoram mais a serem elaborados
- O GD&T e suas normas são complexos e confusos
- O GD&T deve ser usado somente em casos críticos
- Dimensionamento e especificação de tolerâncias são etapas separadas
- É possível aprender GD&T em 2 dias



## Há no Brasil muita deficiência na especificação geométrica

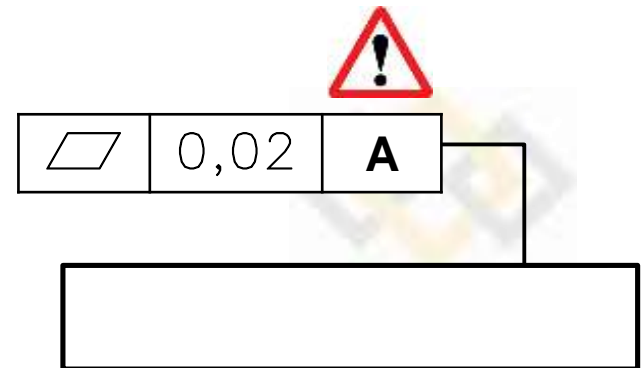
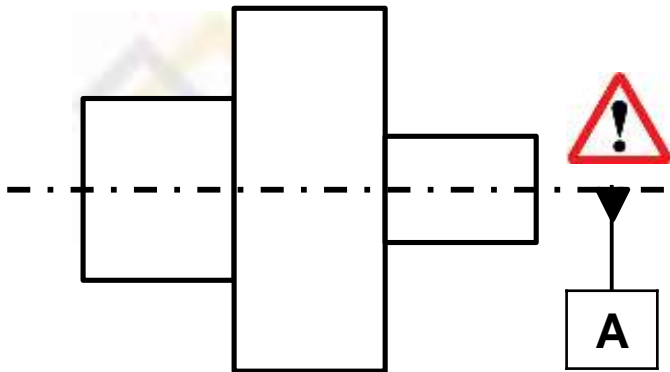
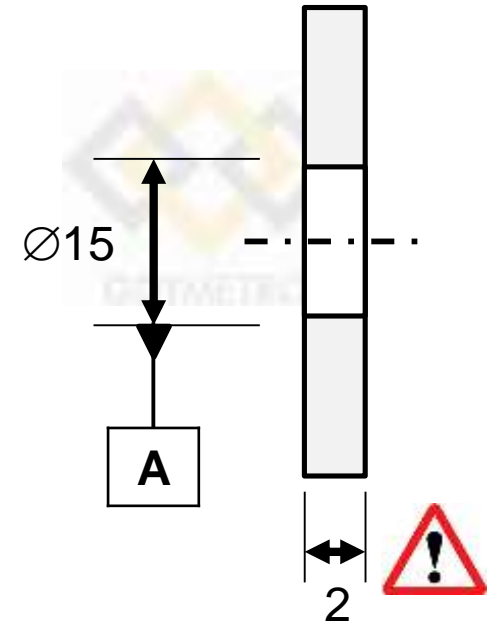
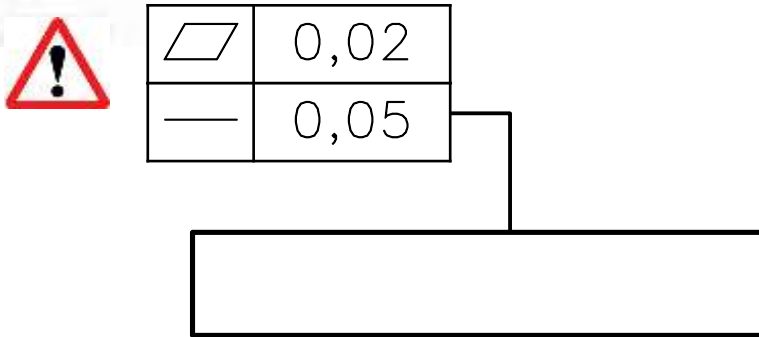
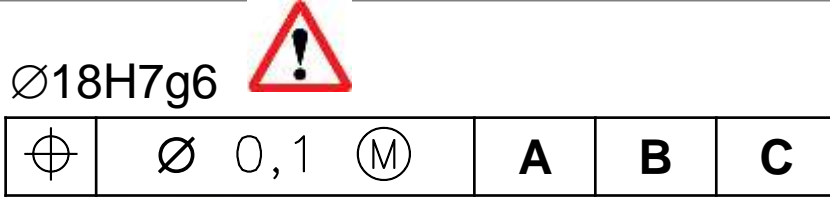
- Desenhos incompletos quanto a referências e tolerâncias
- Desenhos com excesso de informação geométrica
- Desenhos com erros de cotagem
- Desenhos com especificação de tolerâncias muito complexa
- Desenhos com características geométricas inviáveis de medir
- Falta de comunicação entre engenharia, produção e qualidade
- Conceitos falhos de GD&T






*80% dos desenhos de engenharia gerada nos EUA apresenta algum tipo de falha. Geralmente a geometria nominal é bem definida. Os problemas normalmente residem nas tolerâncias.*

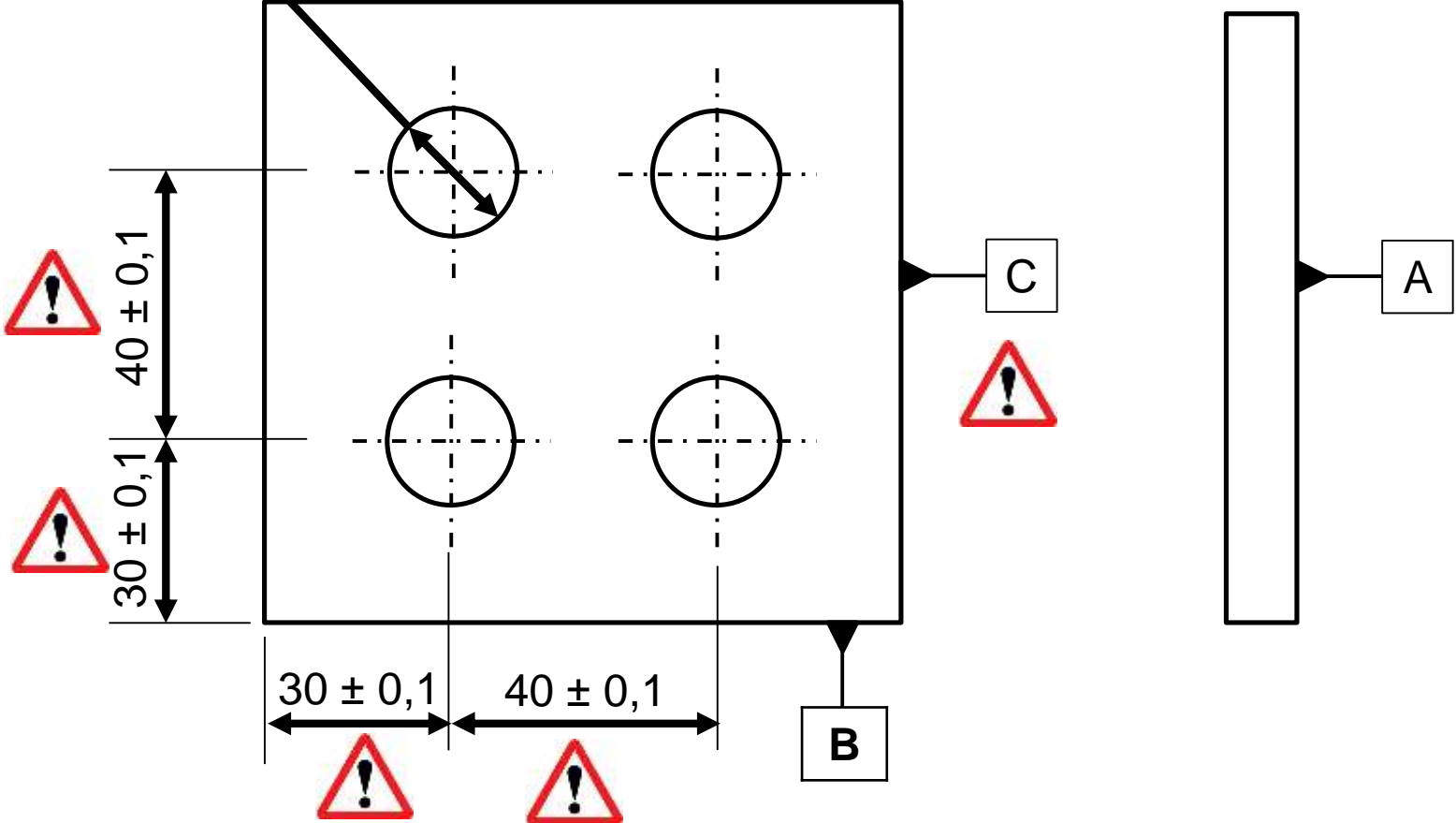
Donald Day.

Centro de Tecnologia Mecânica e da Qualidade. Rochester, NY.



4X  $\varnothing 18$  <sup>+0,027</sup>/<sub>0,000</sub>  

$\oplus$	$\varnothing 0,02$ (M)	<b>A</b>	<b>B</b> (M)	<b>C</b>
$\bigcirc$	$\varnothing 0,1$ 			



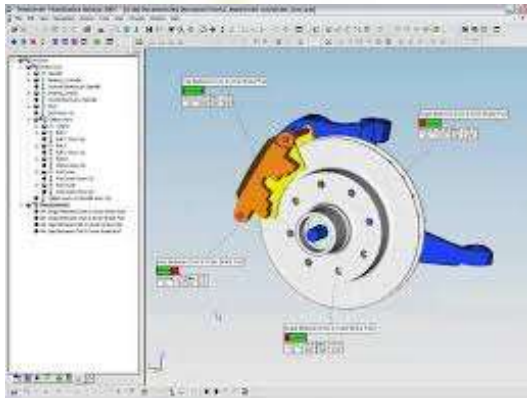
## Cuidado!

- Documentação de engenharia tem valor legal.
- No caso de um problema grave que vá para a justiça, o desenho pode ser prova do processo.

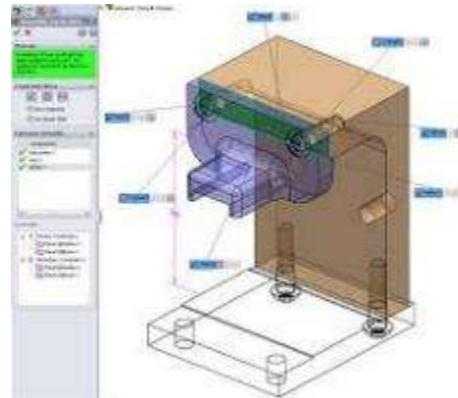


## Simulação de Tolerâncias: CAT – Computer Aided Tolerancing

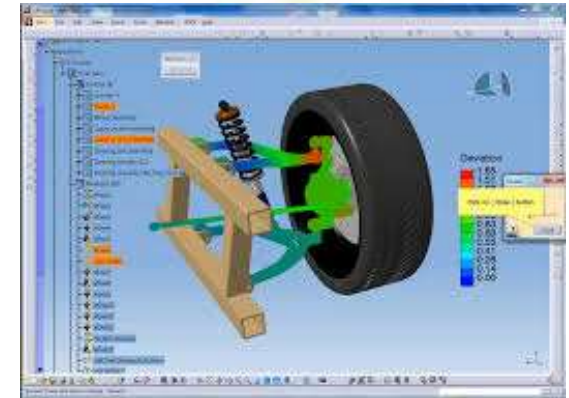
Ferramentas computacionais de simulação para auxílio à definição de tolerâncias.



VisVSA



Solidworks



3DCS

Análises por simulação tridimensional do efeito que a variação dos componentes provoca na montagem e funcionalidade do produto.

Um grande facilitador na definição adequada das tolerâncias dos componentes em função do requisito do produto, dos processos e do custo.

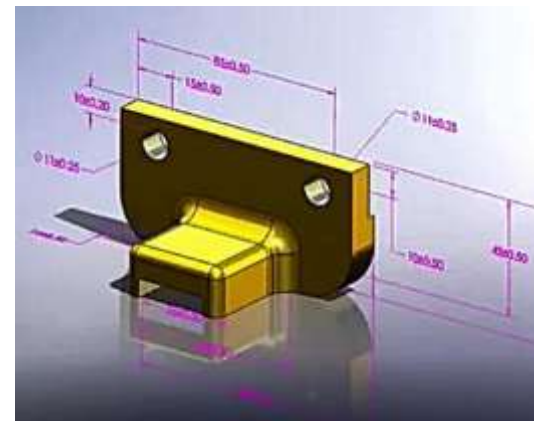
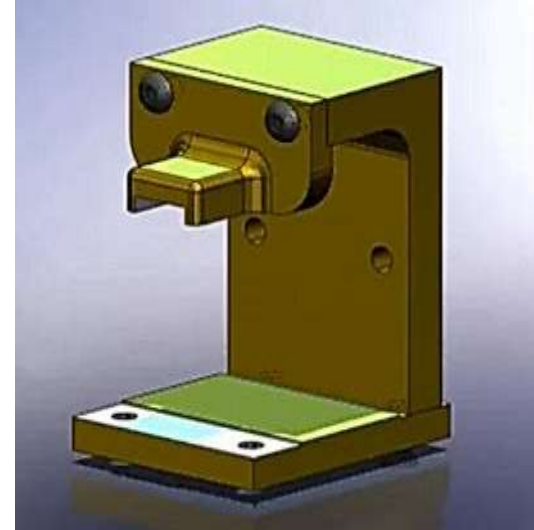
## Como funciona o CAT:

1

Componentes modelados em CAD são analisados quanto aos requisitos de exatidão

2

Com base nestas necessidades, tolerâncias iniciais são atribuídas a cada um dos componentes



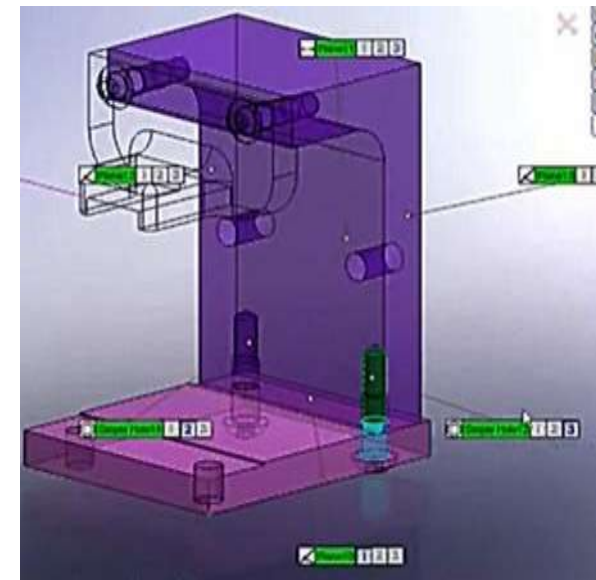
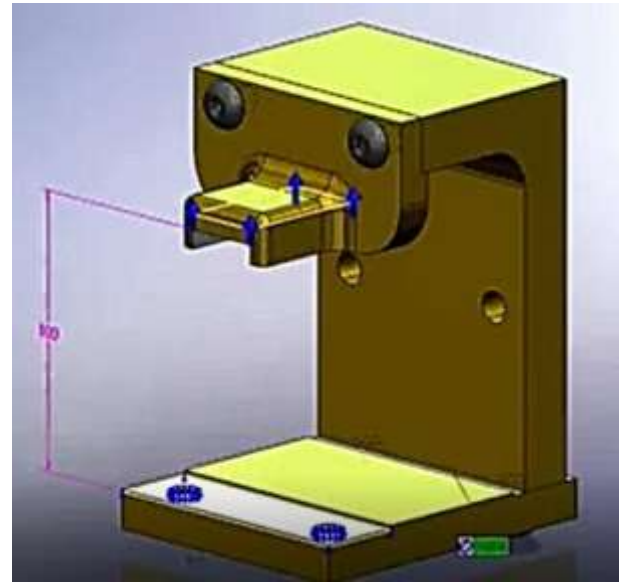
## Como funciona o CAT:

3

No ambiente de montagem CAD se define um requisito geométrico a avaliar, como uma distância.

4

A sequência e as restrições de montagem dos componentes são definidas





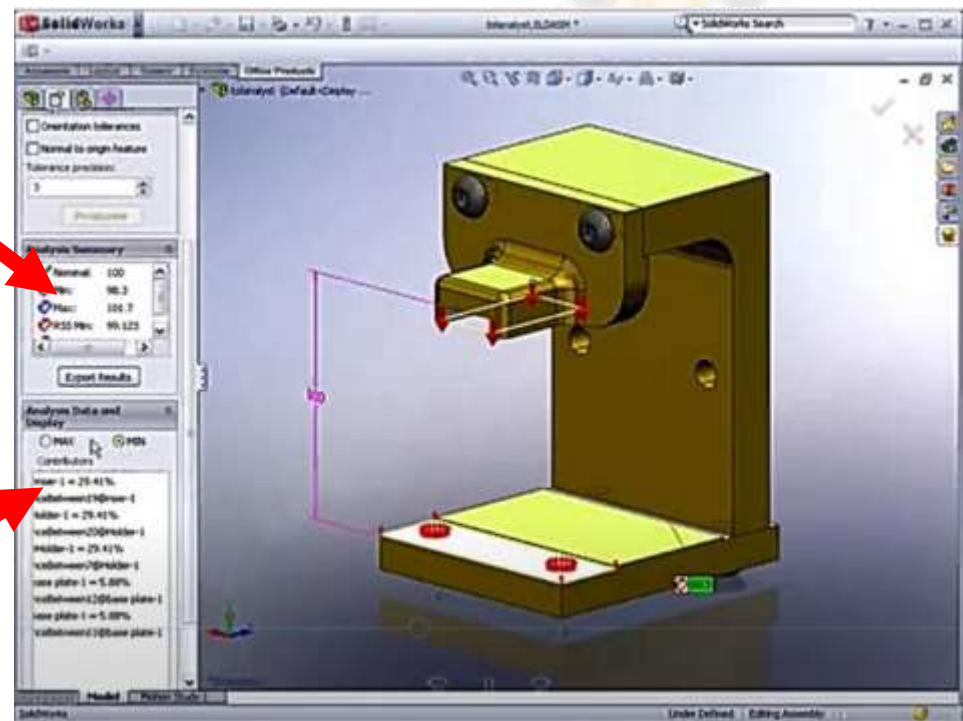
## Como funciona o CAT:

5

As tolerâncias individuais de cada componente são combinadas e avalia-se o efeito destas sobre o requisito geométrico a avaliar

6

A contribuição de cada componente na variação do requisito é calculada, estabelecendo-se uma lista de sensibilidade da montagem



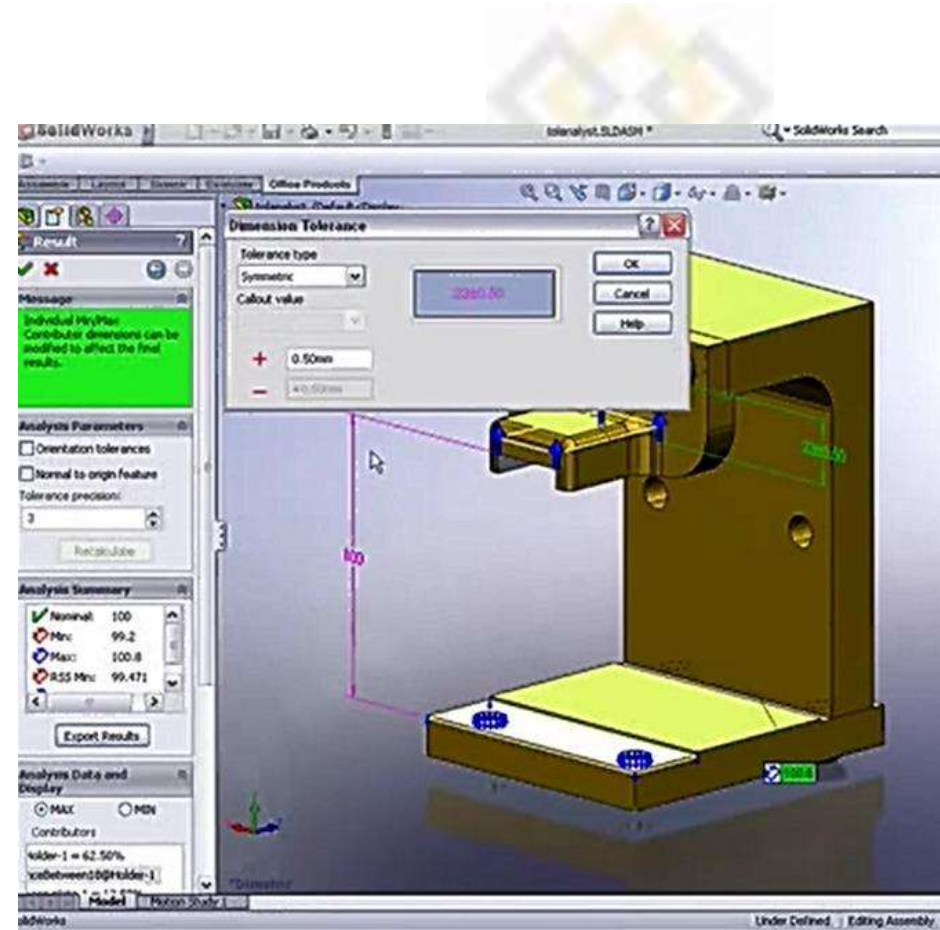
## Como funciona o CAT:

7

As tolerâncias são alteradas e novas simulações são realizadas até se chegar na definição que atenda o requisito geométrico ao menor custo.

8

Operações de fabricação mais precisas recebem menor tolerância para que maior tolerância seja destinada a operações menos precisas

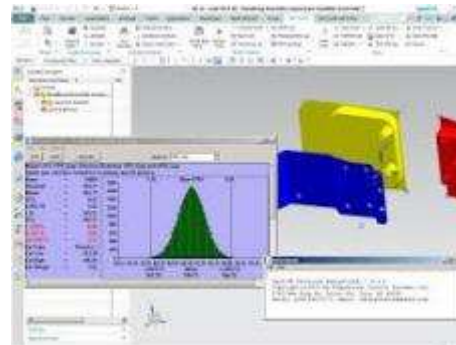


Com o emprego da **cotação funcional com o GD&T** e da **simulação computacional de tolerâncias** é possível definir de forma consistente as variações dimensionais dos componentes e simular computacionalmente essas variações, garantindo uma condição ótima que permita atingir o nível de qualidade pré-determinado ao menor custo.

Tolerâncias dos componentes

Requisitos de qualidade do produto

“Capabilidade” dos processos de manufatura



Número de falhas de montagem por milhão

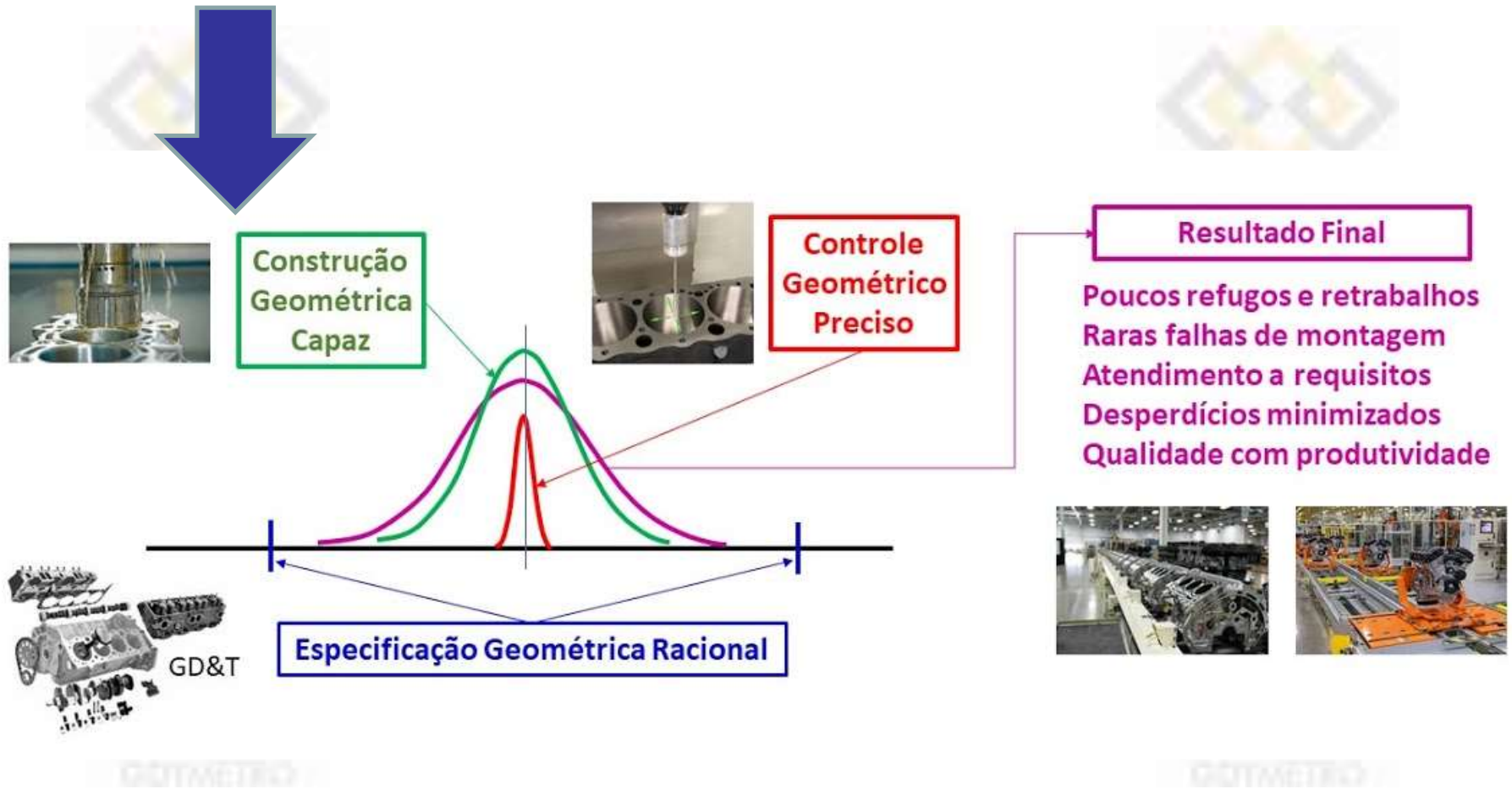
“Ranking” das tolerâncias mais influentes

Análise de sensibilidade do produto às variações dos processos



# 7. OTIMIZAÇÃO DA EXATIDÃO DOS PROCESSOS DE MANUFATURA





## OS PROCESSOS DE PRODUÇÃO PRECISAM:

- ter boa produtividade e baixo desperdício
- apresentar alta disponibilidade operacional
- ter boa flexibilidade operacional
- ser sustentáveis econômica e ambientalmente



## NO QUE SE REFERE À PRECISÃO, ISSO DEMANDA QUE OS PROCESSOS:

- estejam sob controle
- sejam capazes de produzir peças dentro das tolerâncias especificadas



Illustration by Chris Gash



## GESTÃO DIMENSIONAL DE PRODUTOS NA MANUFATURA

Reduzir a variabilidade de processos de produção

Reduzir os erros em relação às dimensões especificadas



Fora de controle



Sob controle



Sob controle e capaz

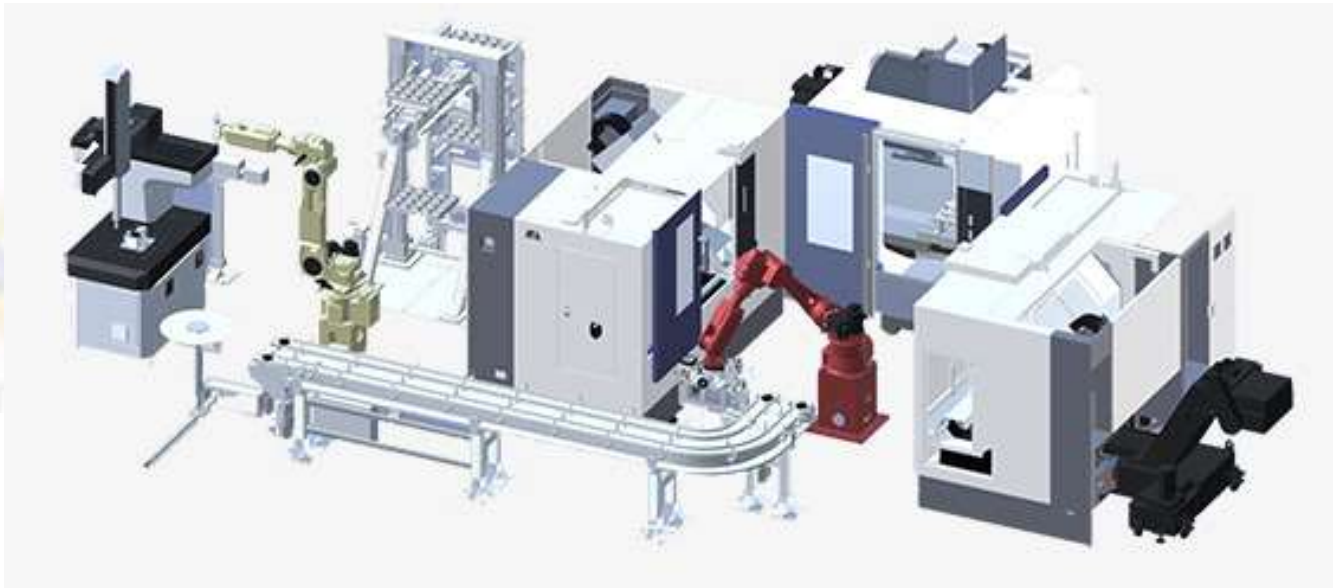
### Planejamento e Implementação de Melhorias

1. Pré Processo
2. Em Processo
3. Pós Processo

# 1. Pré-Processo

AVALIAR → DIAGNOSTICAR → MELHORAR

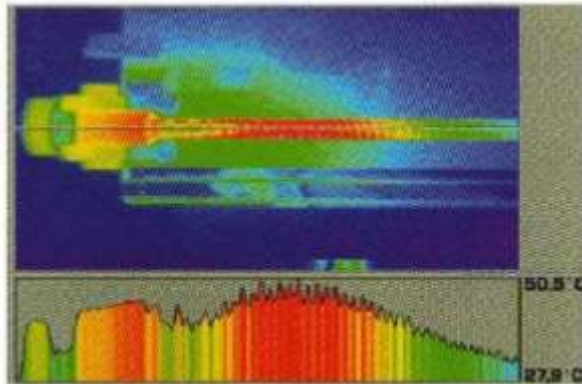
Máquina	Método
Mão de Obra	Meio ambiente
Matéria-prima	Medição



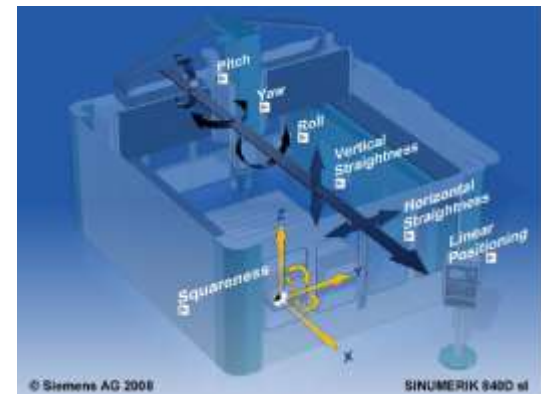
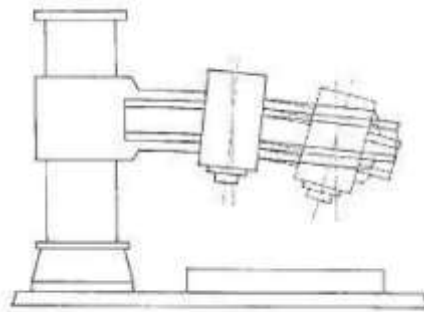
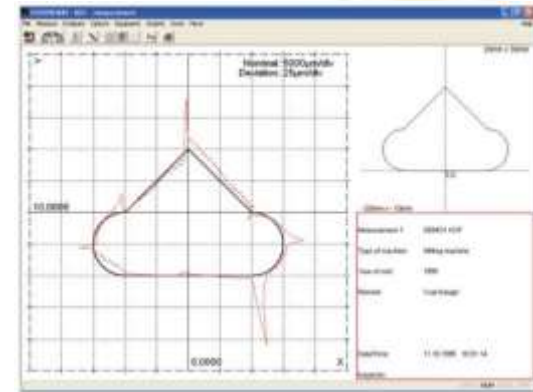


## Máquinas e ferramentais

- Efeitos térmicos
- Rigidez Finita



- Erros de controle
- Erros geométricos



- **Ensaaios normalizados: Normas ISO230**



**ISO 230**

ISO230-1: Exatidão geométrica de máquinas operando sem carga

ISO230-2: Determinação de exatidão e repetibilidade de posicionamento de eixos controlados numericamente

ISO230-3: Determinação de efeitos térmicos

ISO230-4: Testes circulares para máquinas-ferramenta controladas numericamente

ISO230-5: Determinação da emissão de ruído

ISO230-6: Determinação de exatidão de posicionamento em ensaios diagonais

ISO230-7: Exatidão geométrica de eixos de rotação

ISO238-8: Vibrações

ISO230-9: Estimativa de incerteza dos ensaios geométricos

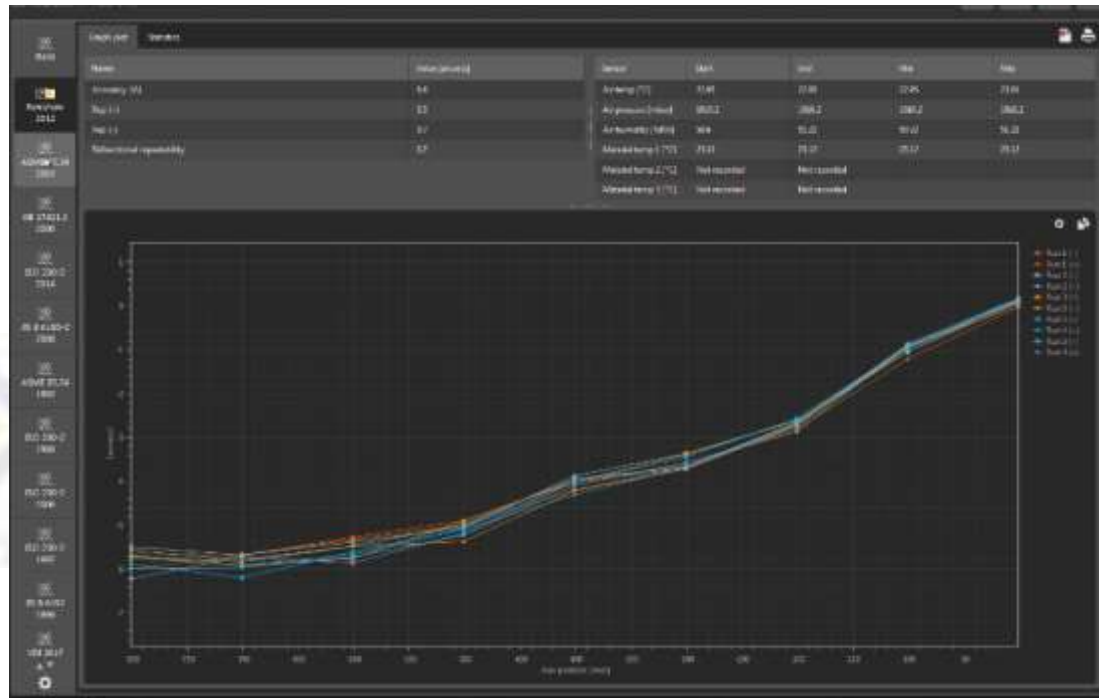
ISO230-10: Determinação da exatidão de medição de apalpadores usados em máquinas CNC

ISO230-11: Instrumentos de medição adequados para testes geométricos em máquinas-ferramenta

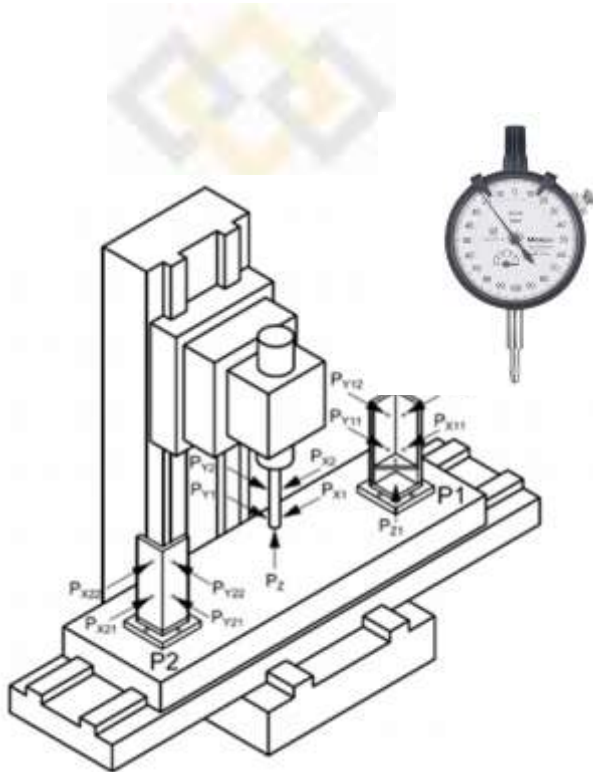
## ISO230-2



Renishaw



## ISO230-3



Deslocamento  
(mm)



Eixo Z

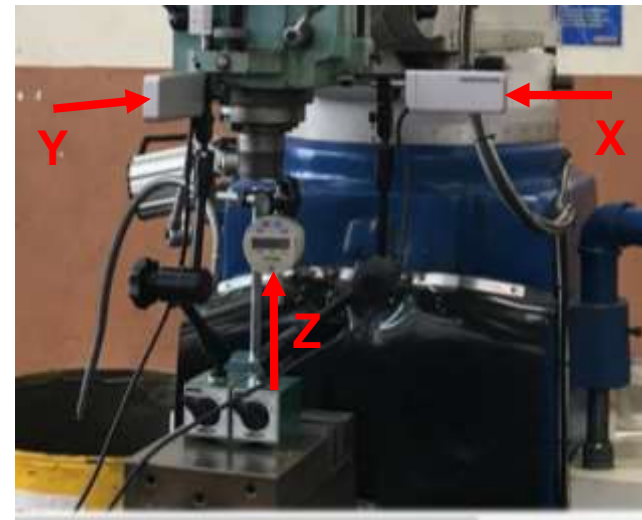
Eixo Y

Eixo X

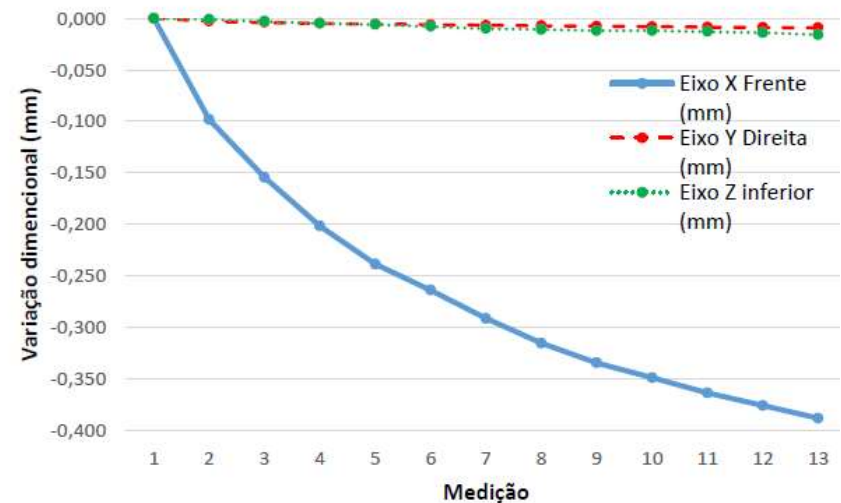
Tempo

Máquina  
quente

Máquina  
fria



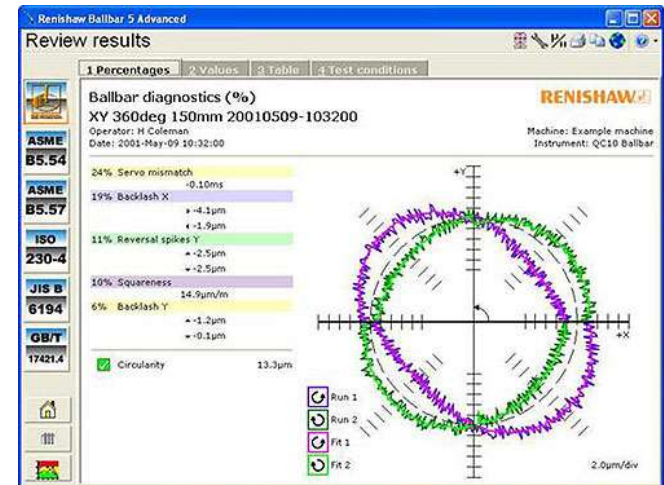
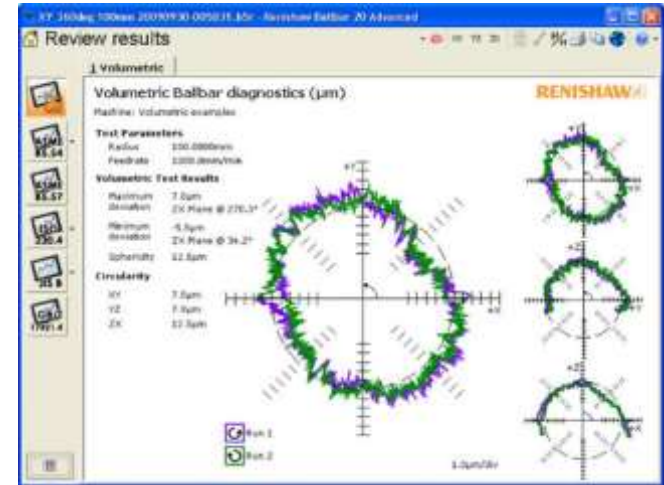
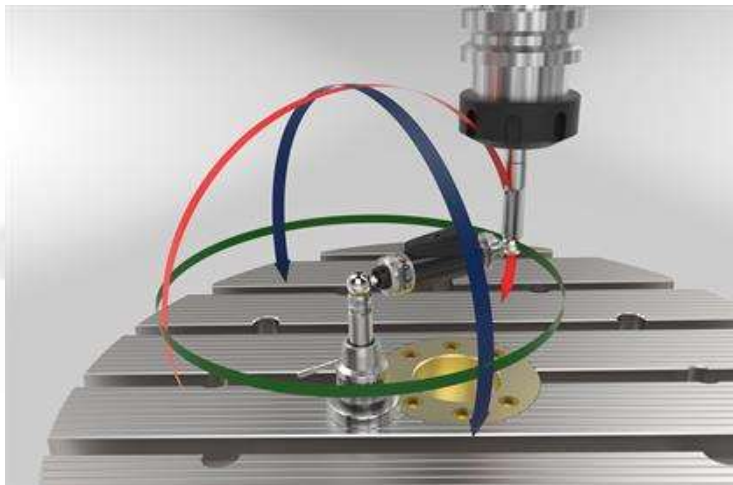
Variação Dimensional nos Eixo X, Y e Z



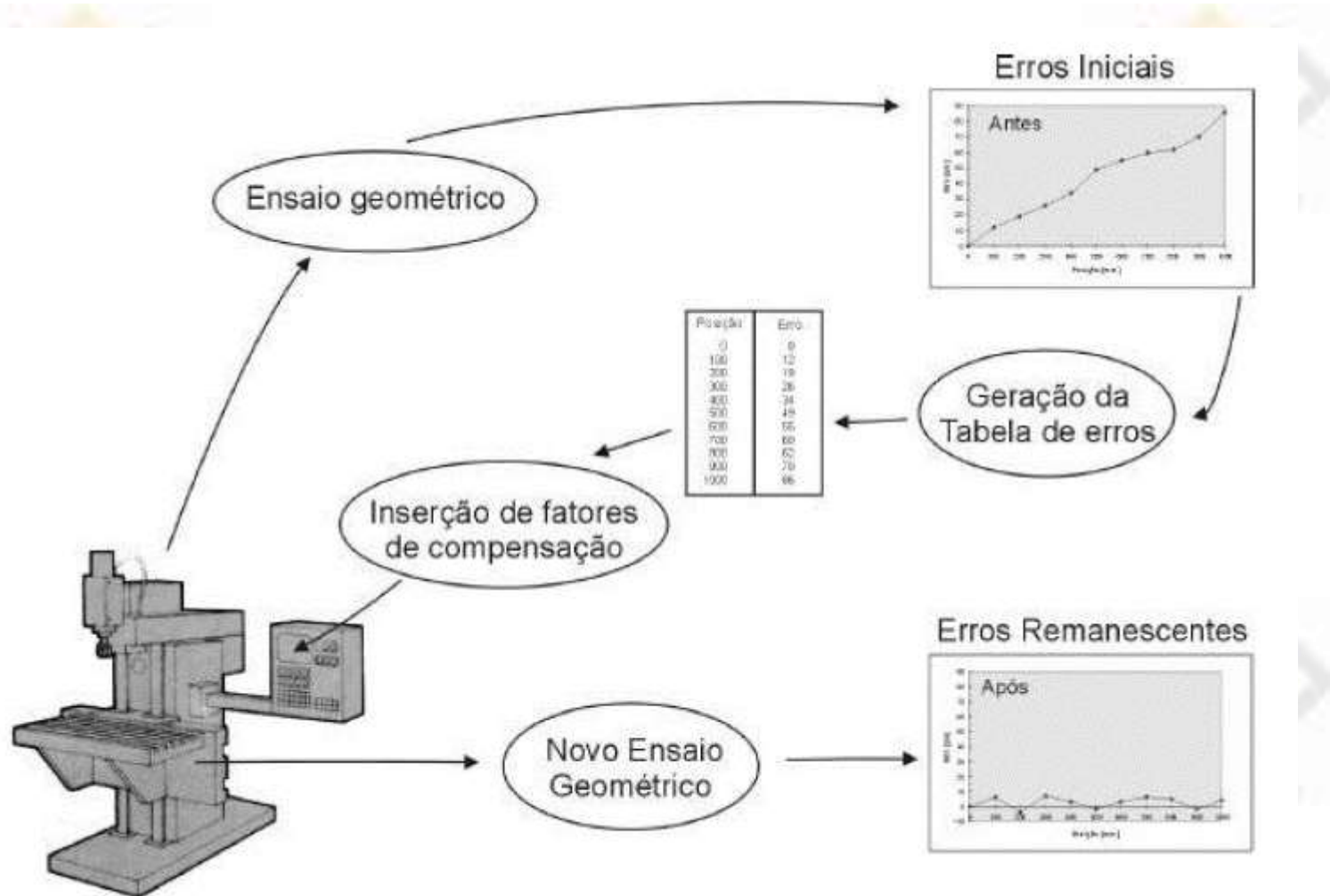
## ISO230-4



Renishaw



## Correção de erros pelo controlador



## Ensaio realizado em 1997 no CMPJ em Joinville – SC

Usinagem de peça antes e após a correção de erros no Centro de Usinagem



Centro de Usinagem Vertical



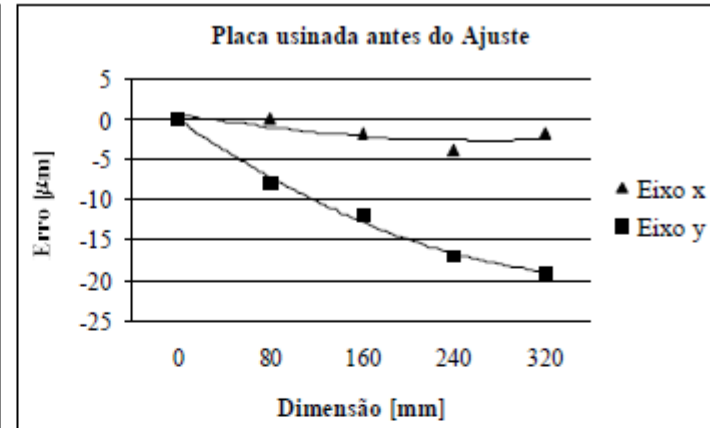
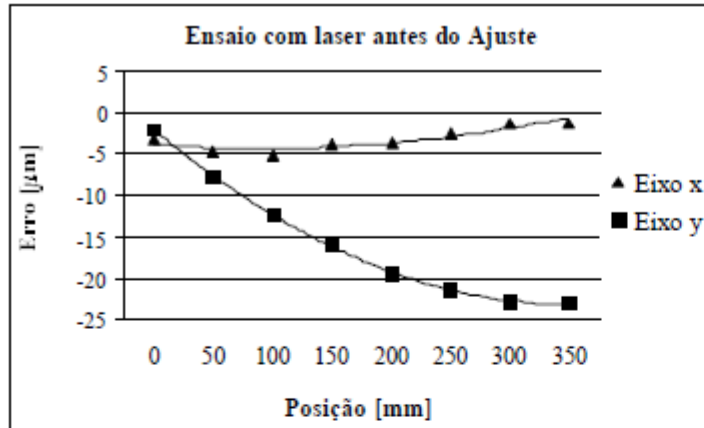
Máquina de Medir por Coordenadas

**Sousa, A, Schneider, C. A. and Scavone, R.**

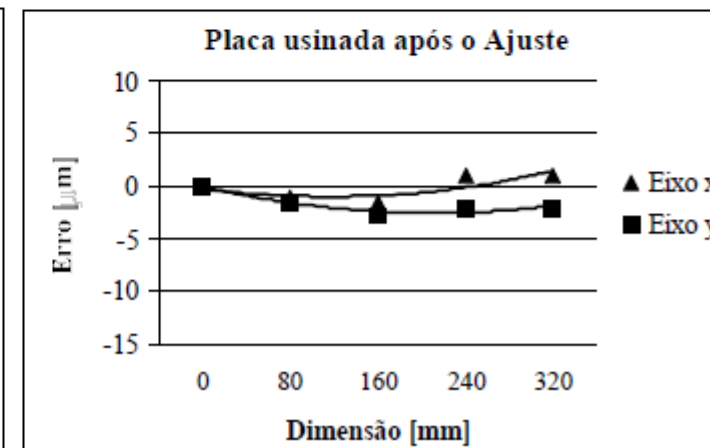
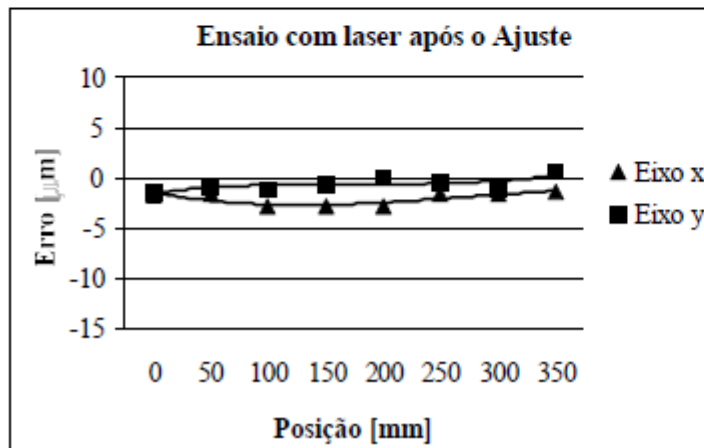
A compensação de erros geométricos via CNC é rápida e eficiente, mas pouco praticada.  
Revista Máquinas e Metais, Maio, 1997.



## ANTES DO AJUSTE



## APÓS O AJUSTE





Para fabricantes de ferramental a confiança na exatidão da máquina é crítica!!

- Complexidade e alta precisão
- Peça com enorme valor agregado
- Não pode errar



## O Ambiente

Temperatura  
Vibrações  
Umidade do ar  
Contaminação  
Luminosidade  
Ergonomia  
...



# O Ambiente

## Temperatura

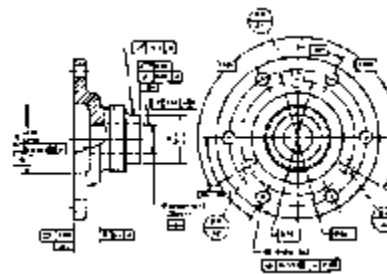
“20°C é a regra do jogo”

A norma ISO-1 estabelece:

*A temperatura de referência padronizada para a especificação e verificação geométrica de produtos está definida em 20° C.*

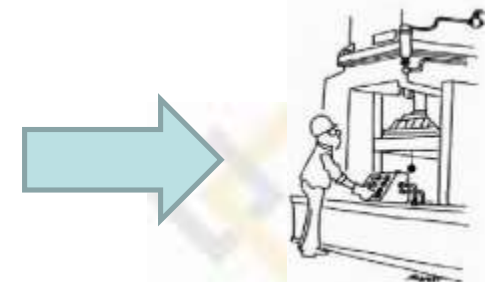


Especificação geométrica



20° C

Verificação geométrica



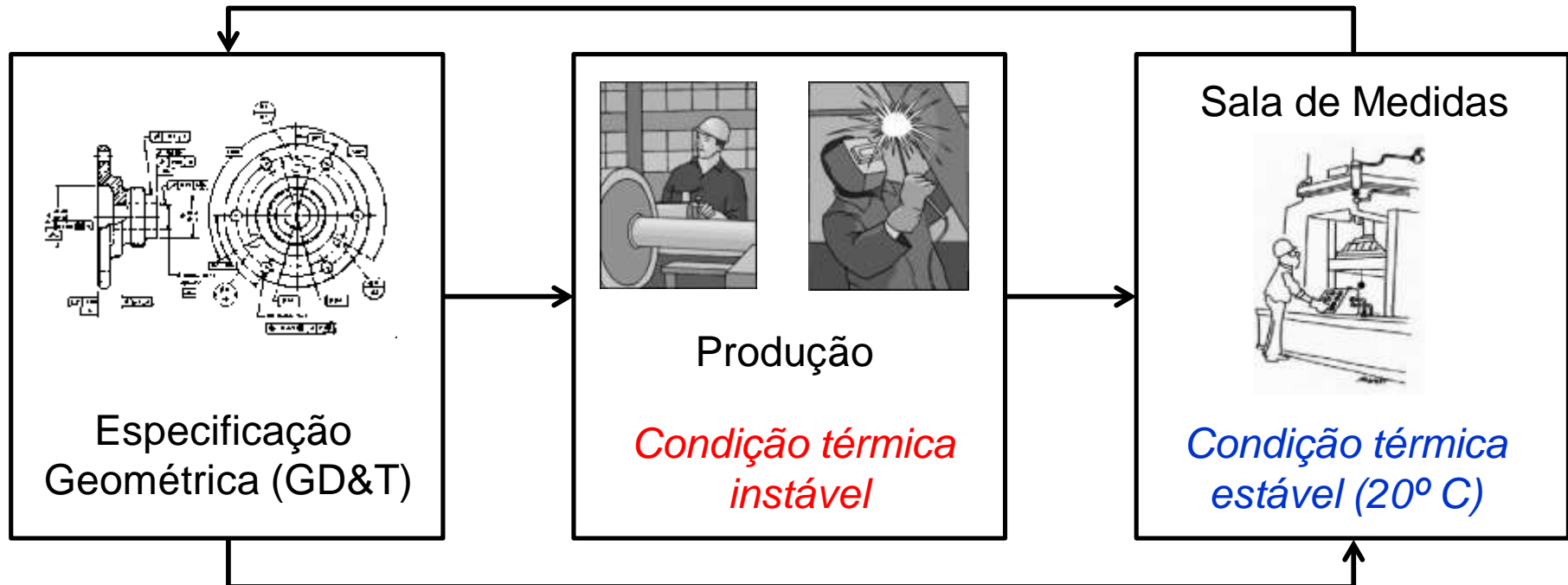
20° C

# O Ambiente

## Temperatura

1000 mm de aço: aumento de temperatura de 1°C → dilatação de 0,012 mm

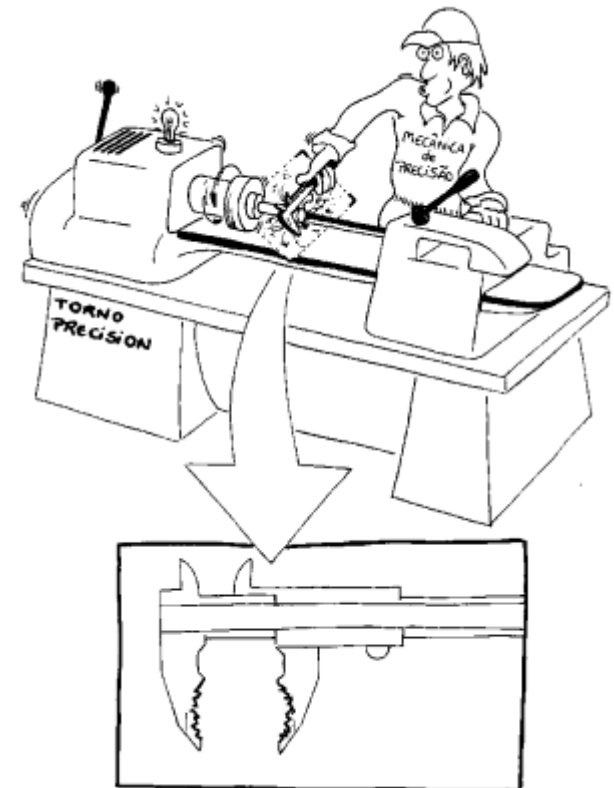
1000 mm de Al: aumento de temperatura de 1°C → dilatação de 0,024 mm



## O Profissional

Profissionais qualificados, que entendem os princípios e fenômenos que ocorrem na produção, não só fabricam com maior exatidão como também são mais motivados para empreender ações que levem à melhoria de qualidade de produtos e processos.

***A qualificação técnica tem efeito também sobre o lado motivacional.***



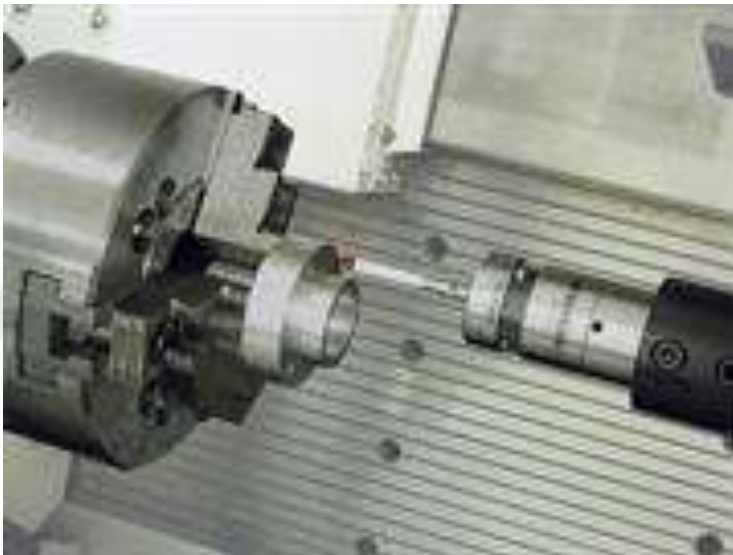
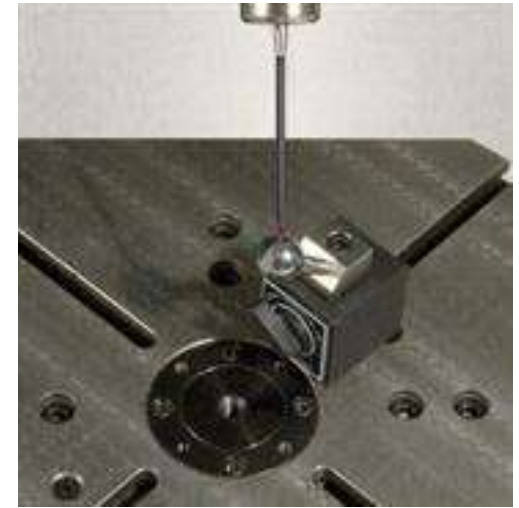
## 2. Em Processo

Emprego de dispositivos e métodos para:

Setup de máquina

Setup de peça e correção de desvios

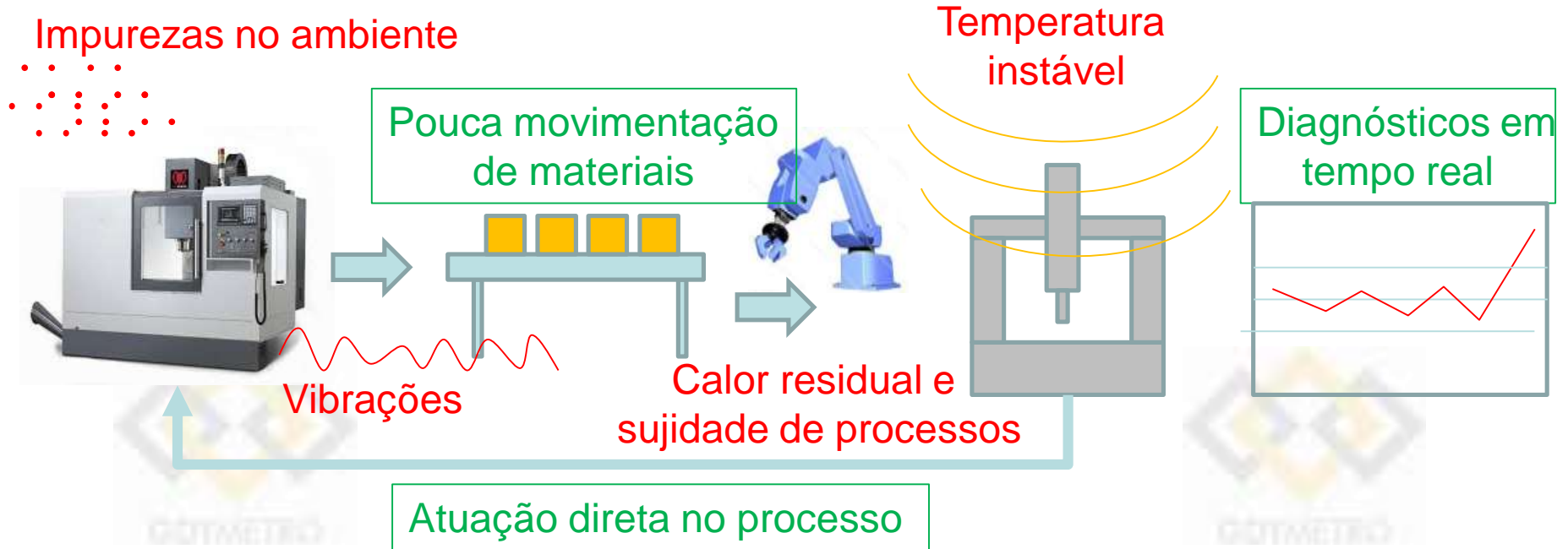
Setup de ferramenta e correção de desgastes



Renishaw



## Medição *in line*





## Medição *in line*

Medição diferencial



Renishaw

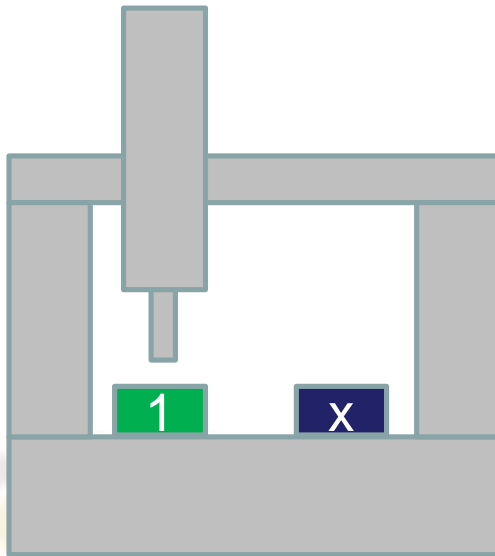
Medição absoluta





Mitutoyo

## Medição *in line* em modo diferencial

Correção do efeito da temperatura em medição por coordenadas operando em modo diferencial.



-  Peça a medir
-  Peça calibrada

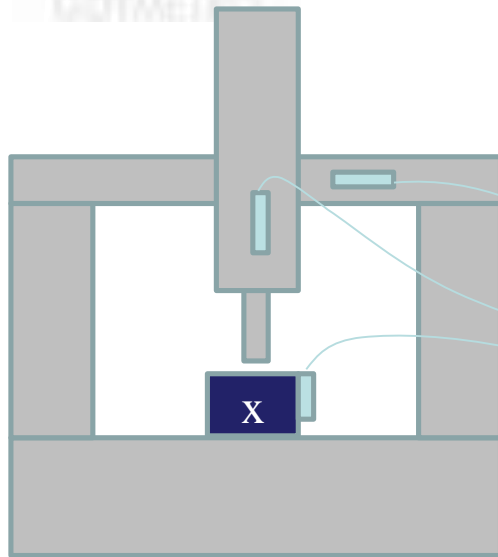
$$\text{Resultado} = R_x - (R_1 - \text{Valor Calibrado})$$

**Compensação de erros**

- Compensa erros causados pela temperatura ambiente
- Compensa erros de medição da máquina de medir
- Não considera o calor residual da peça

## Medição *in line* em modo absoluto

Correção do efeito da temperatura em medição por coordenadas operando em modo absoluto.



- Temp. e material das escalas
- Temp. e material da Peça



Cálculo  
do **Erro**

Resultado =  $R_x - \text{Erro}$

Referenciado  
para 20°C (ISO1)

- Compensa erros causados pela temperatura ambiente
- Considera o calor residual de erros na peça
- Assume que o gradiente espacial é pequeno
- Assume que a temperatura da peça é homogênea

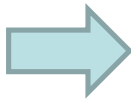
## 3. Pós Processo

### CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSOS

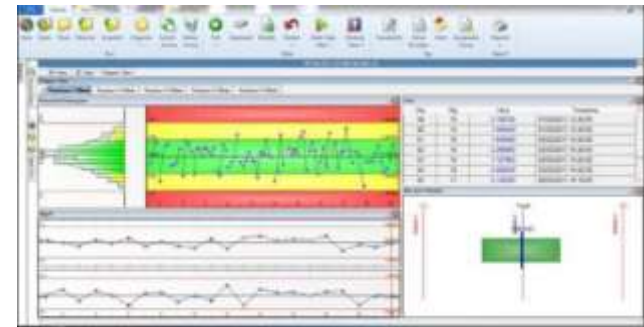
- Um dos Pilares da Gestão Dimensional de Produtos
- Ferramenta de grande utilidade no contexto da Indústria 4.0



Processo



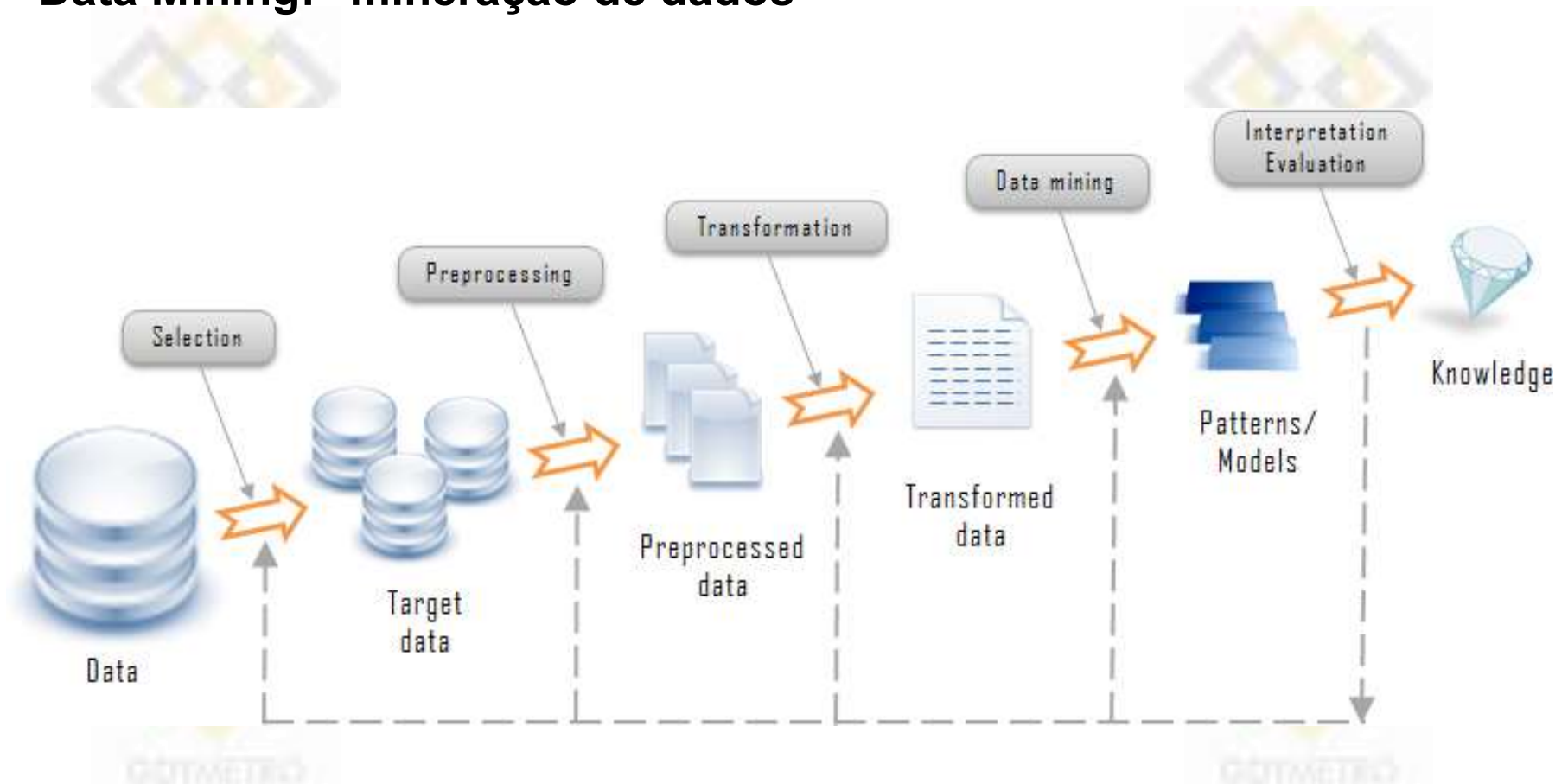
Medições



Análises, determinação de causas e ajustes

- Ensaio de *capabilidade* de máquina são recomendados para atestar sobre a capacidade dos equipamentos em atender os requisitos de precisão esperados

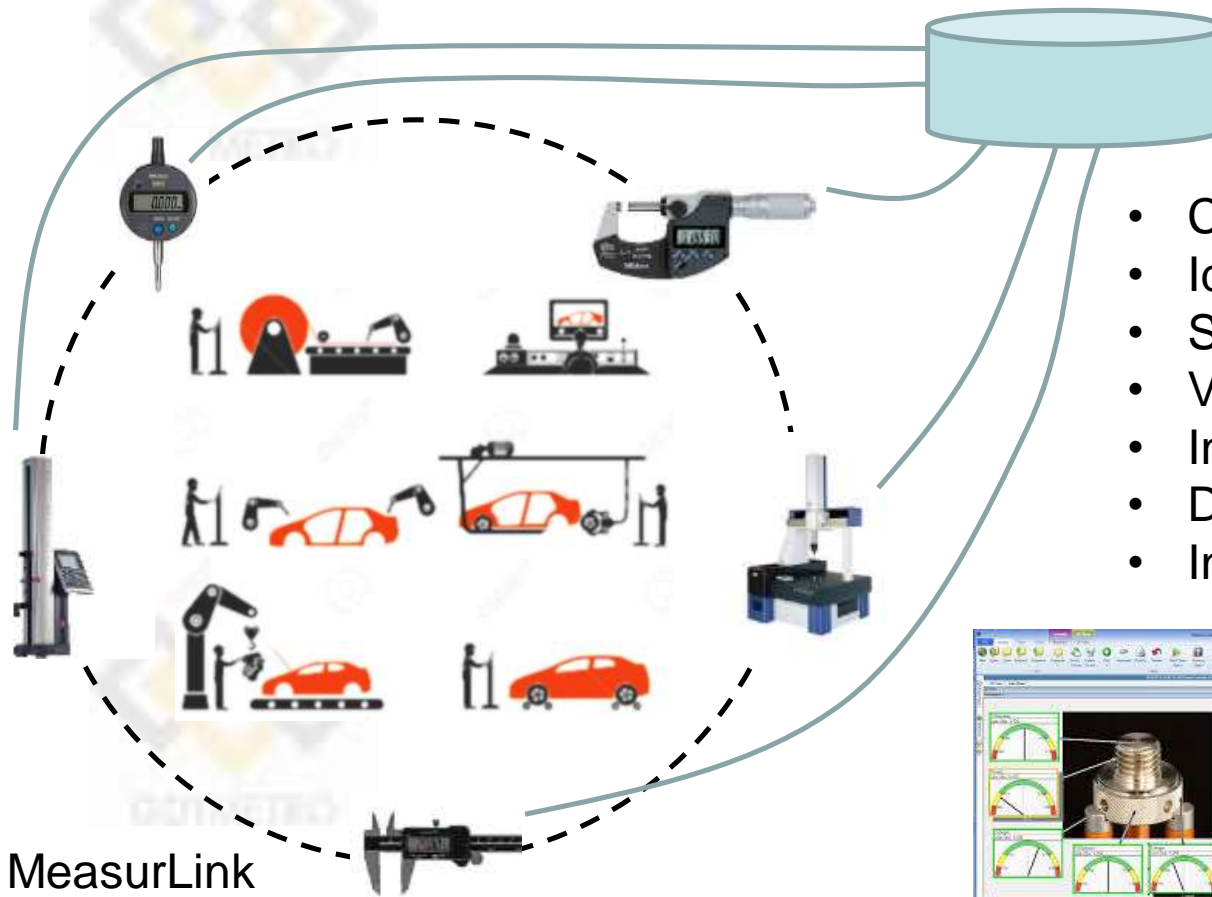
## Data Mining: “mineração de dados”



## MEDIÇÃO INTEGRADA NA PRODUÇÃO

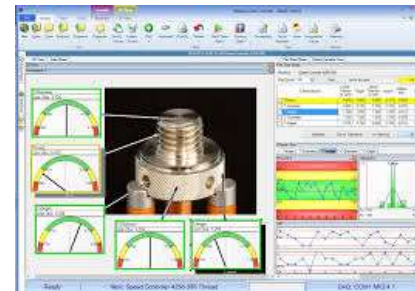
## SERVIDOR DE BASE DE DADOS

## PROCESSAMENTOS ESTATÍSTICOS (CEP)

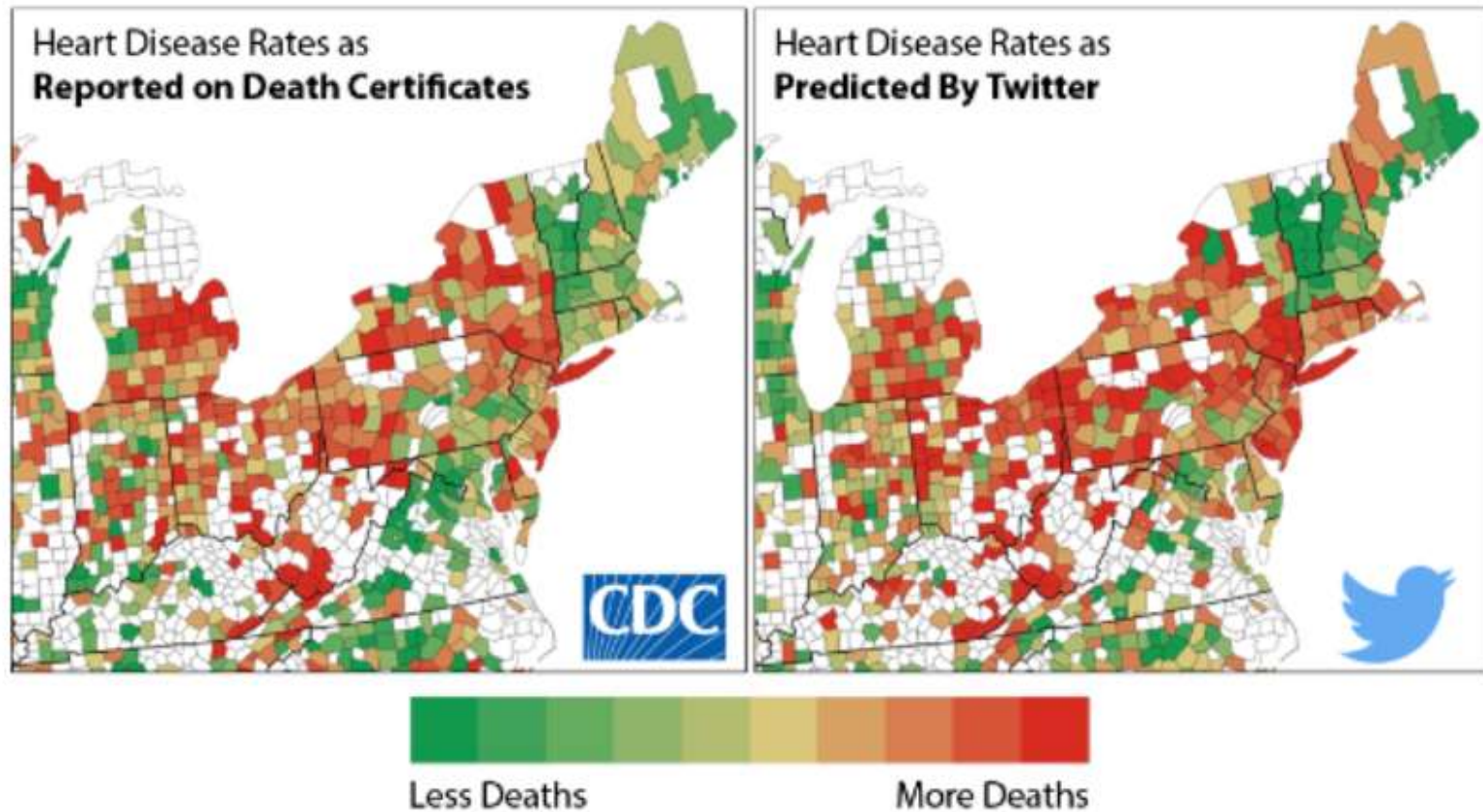


- Caracterização dos processos
- Identificação de variações
- Sinalização de problemas
- Visualização remota
- Indicação de causas
- Determinação de correções
- Indicadores de capacidade

MeasurLink  
Mitutoyo

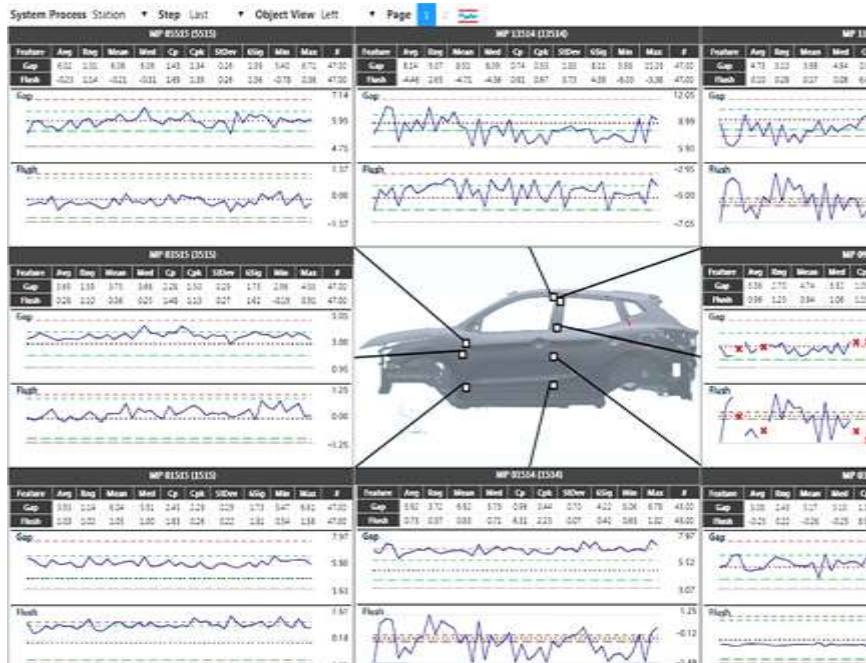


## Data Mining para previsão de ataque cardíaco pelo twitter



## Data Mining para melhoria da precisão de processos

Os profissionais e sistemas computacionais capazes de analisar dados e obter informações valiosas para diagnóstico e ajuste de processos terão um papel de destaque cada vez maior na nova indústria.

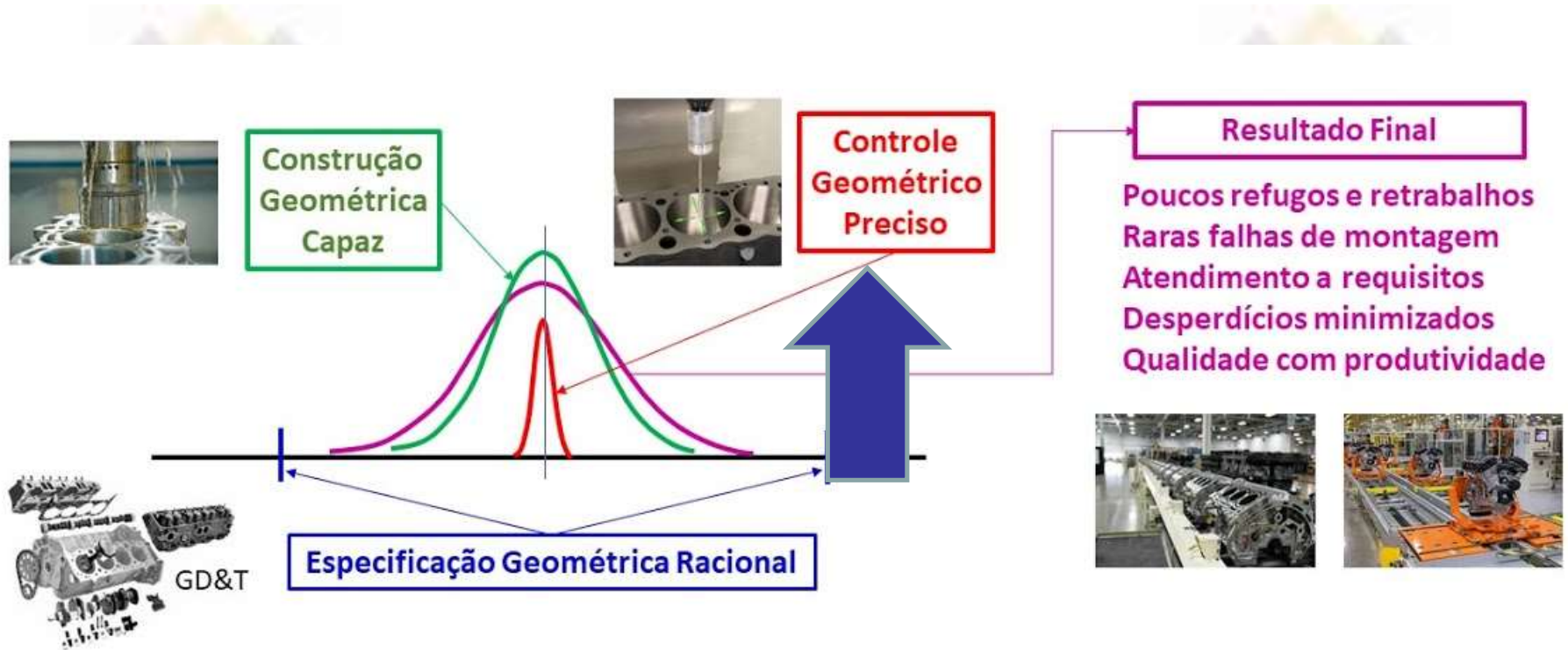






## **8. MELHORIA DE CONFIABILIDADE DE PROCESSOS DE MEDIÇÃO**

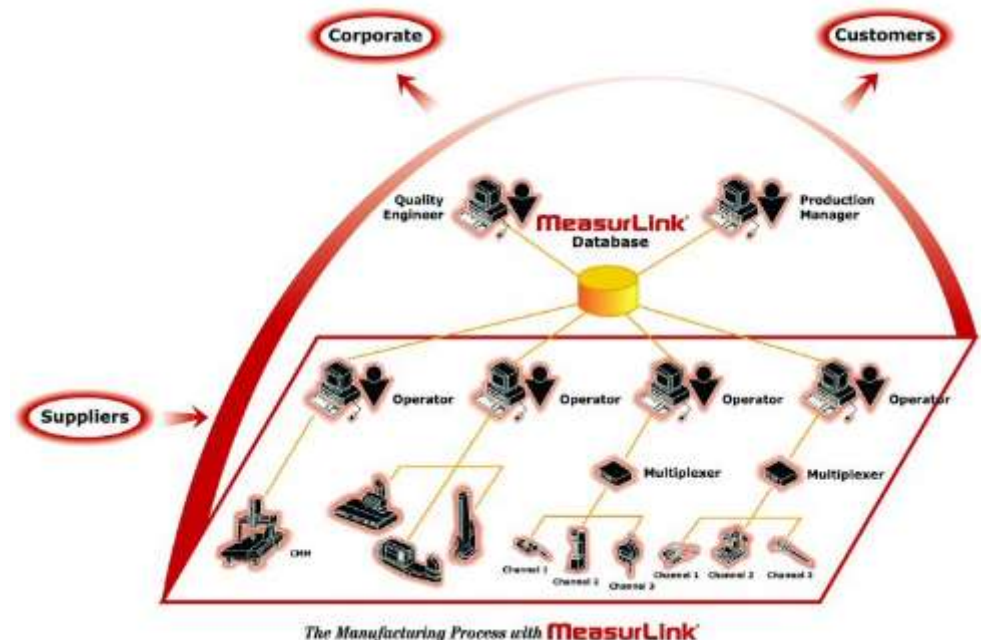
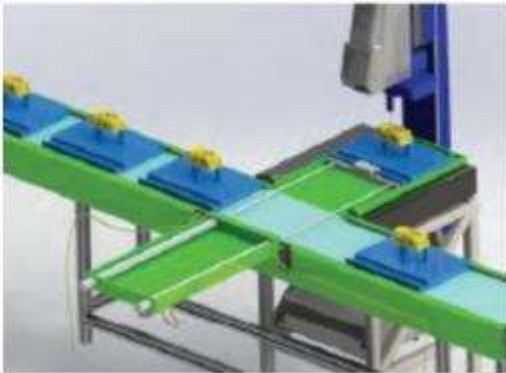




## Bons Processos de Produção só são possíveis com bons Processos de Medição.

Processos de medição confiáveis, focados e integrados com a produção

- Percepção dos desvios
- Quantificação dos desvios
- Comunicação dos desvios



## Requisitos básicos da Metrologia na Indústria 4.0

- Proximidade com a produção e conectividade
- Robustez operacional e alta disponibilidade
- Capacidade de gerar informações **certas**.



**Confiabilidade Metrológica aumenta de importância na Indústria 4.0 !**

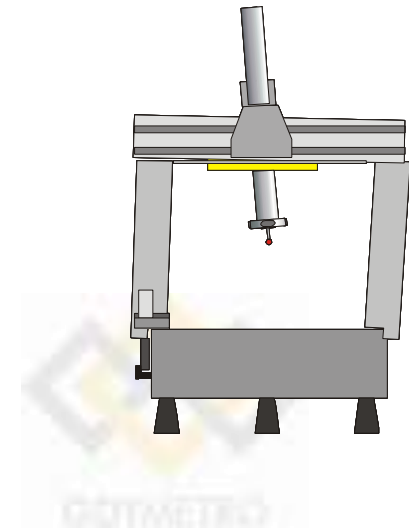
## **Não existem medições perfeitas.**

Apesar de todo o avanço tecnológico, os sistemas de medição não são perfeitos, o ambiente onde eles operam interfere no resultado, assim como o operador.



Este é o lado difícil e desafiador da medição:

**Conviver com as incertezas trazidas pelas imperfeições dos instrumentos, ambiente, operadores, etc. e, ainda assim, obter informações confiáveis que levem à tomada de decisões responsáveis e acertadas.**



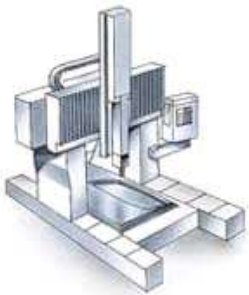
**Albertazzi, A.; Sousa, A.**

Fundamentos de Metrologia Científica e Industrial. Ed. Manole, 2018.

## Consequências de erros de medição

- Ações de correção indevidas em processos
- Erros em aprovação e reprovação de peças e ferramentais
- Atrasos nos processos de produção
- Atrasos nos processos de desenvolvimento de produtos
- Refugos e retrabalhos
- Perda de qualidade e competitividade

Erros na  
ferramentaria



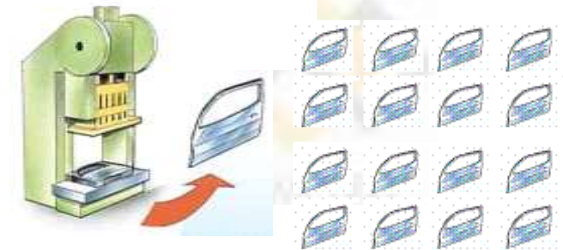
Ferramental  
mal fabricado

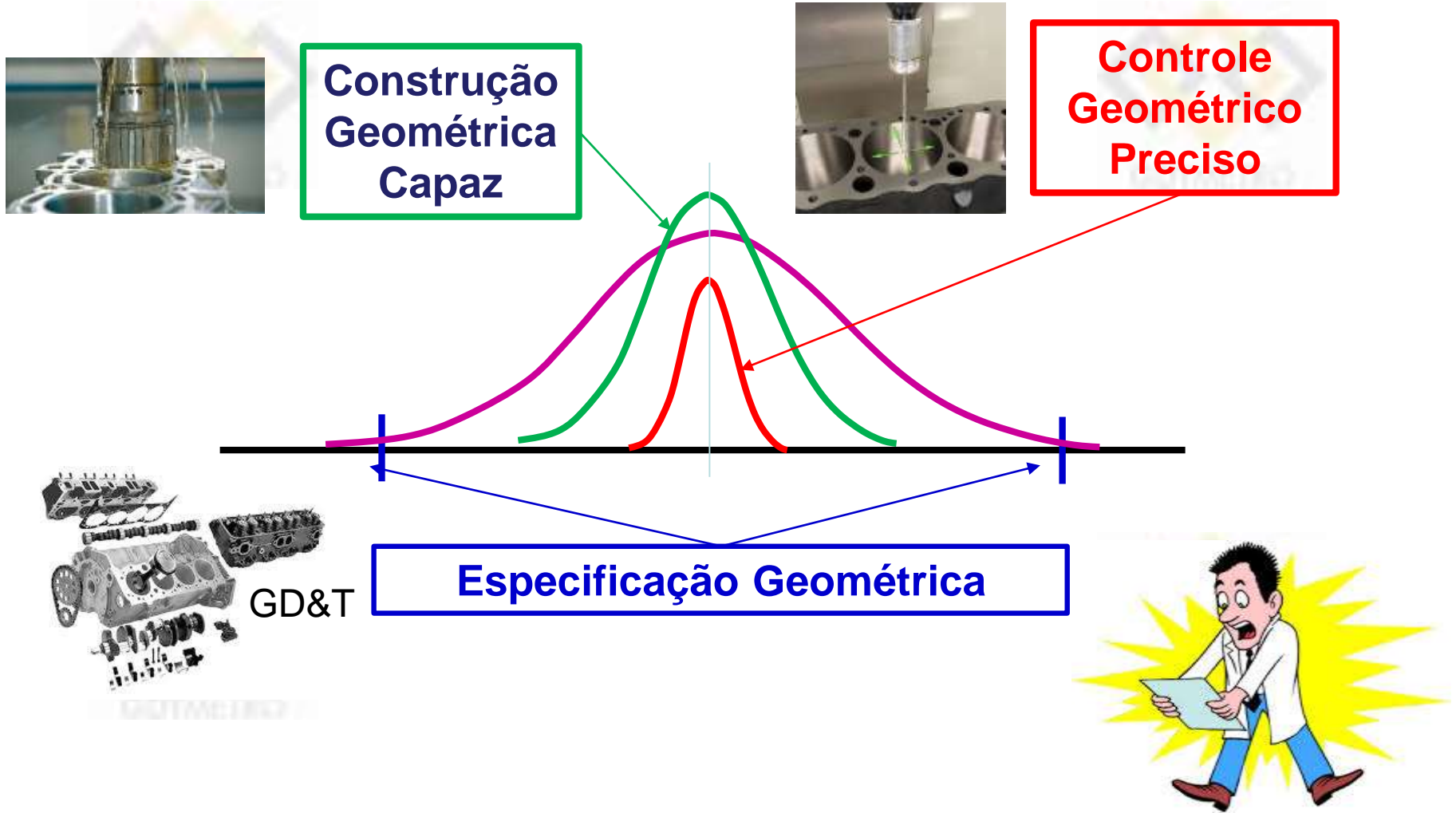


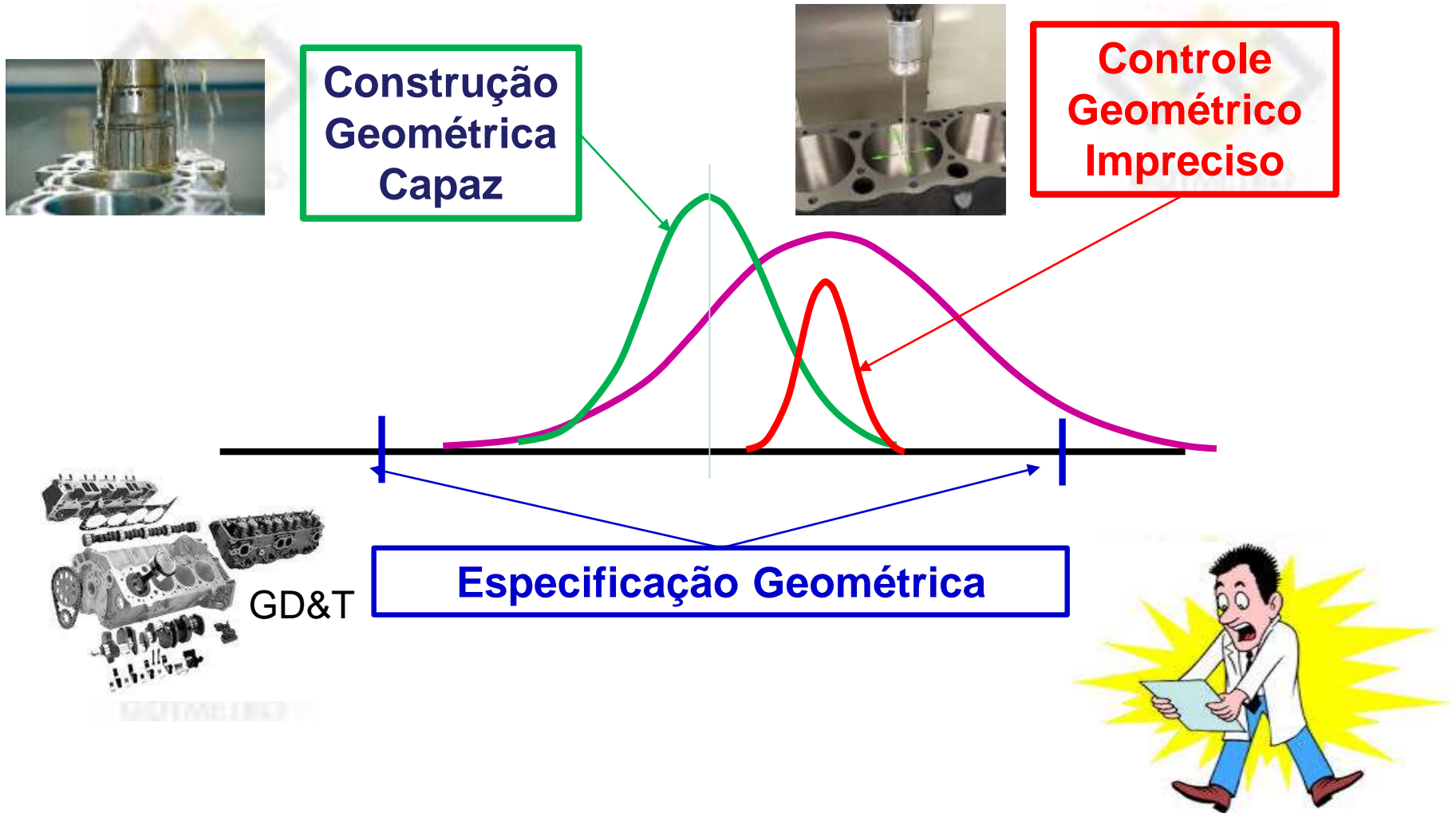
Medição errada  
aprova o estampo



Problemas para o  
processo seriado









## Processo



Paisagem

## Medição



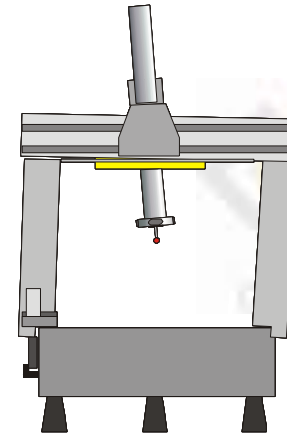
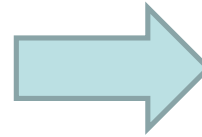
Máquina fotográfica

## Relatório



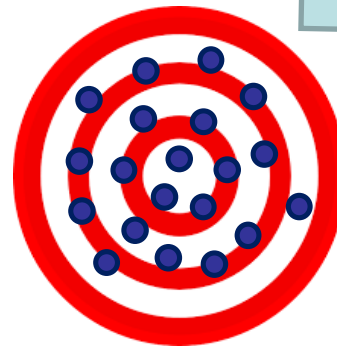
Fotografia





Paisagem

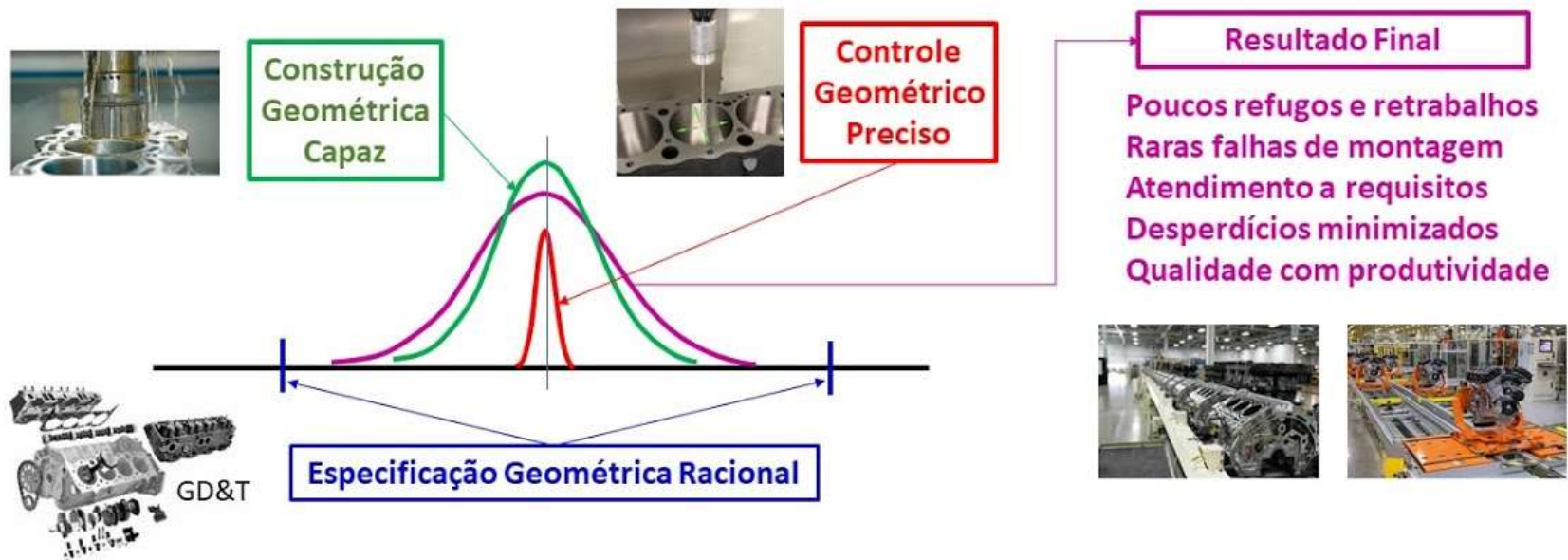
Máquina fotográfica



Fotografia

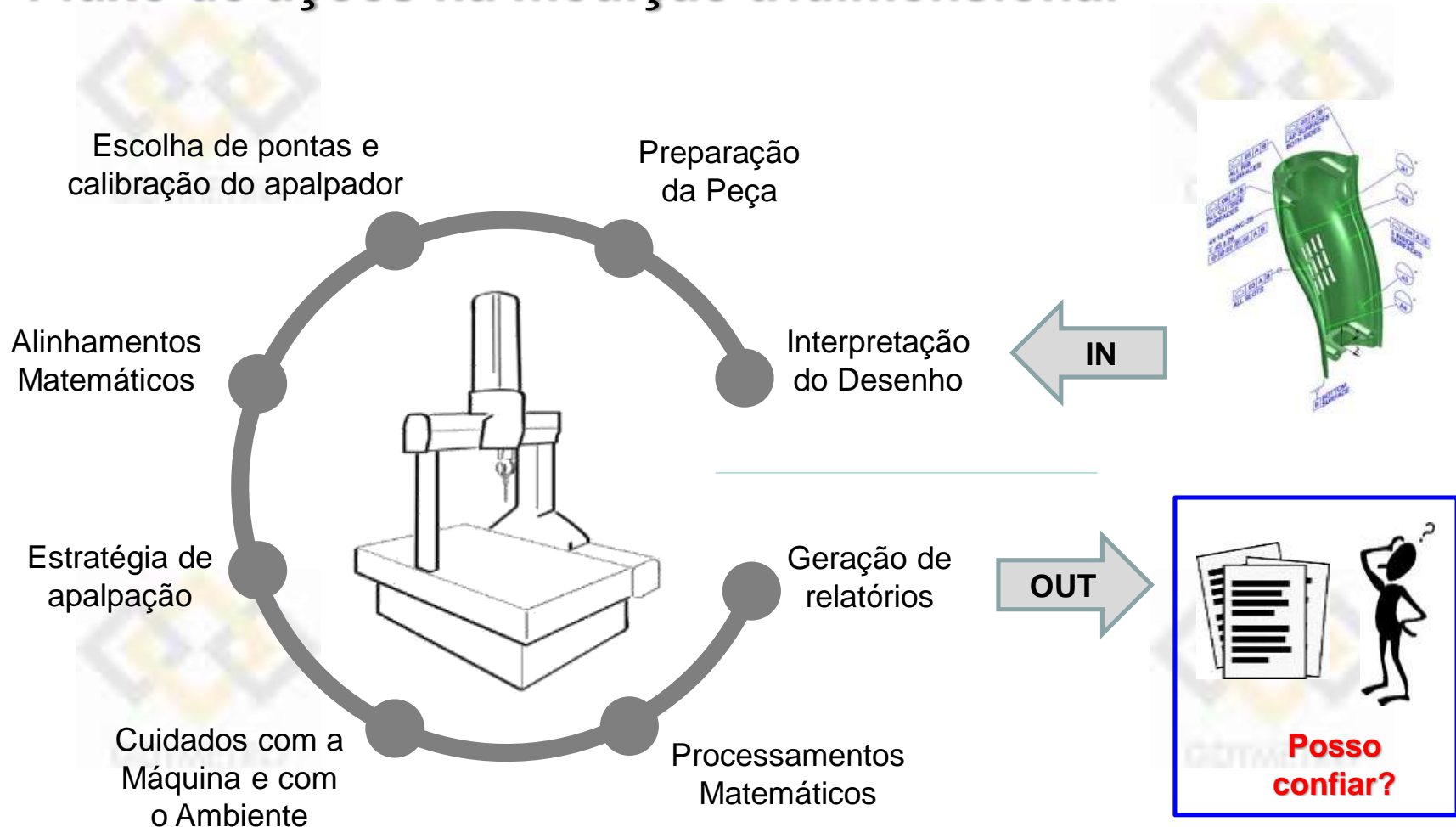
# A Conquista da Confiabilidade Metrológica nunca sai de moda

Na Gestão Dimensional de Produtos os processos de medição devem ser aperfeiçoados para atingir o nível de precisão demandado pelos requisitos de projeto e processo.

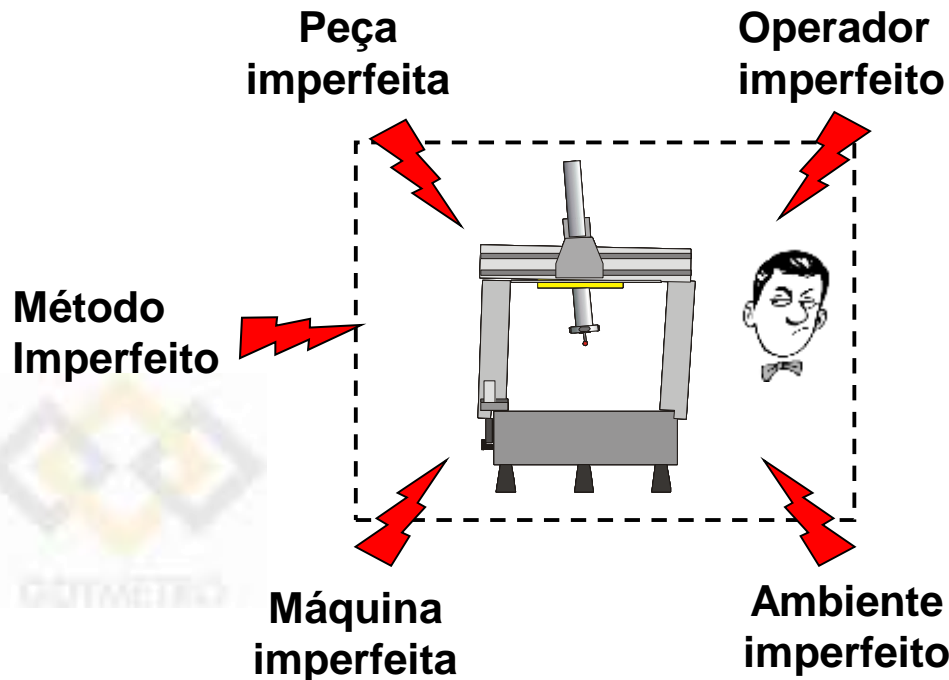


**Deve-se medir tão bem quanto necessário, não tão bem quanto possível.**

## Fluxo de ações na medição tridimensional



# COMO OBTER RESULTADOS CONFIÁVEIS DE MEDIÇÕES IMPERFEITAS?

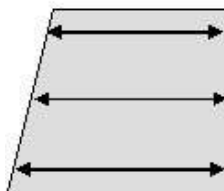


**Com Conhecimentos  
Com Habilidades  
Com Atitudes**

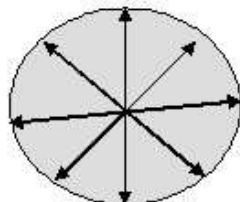
## Peça a medir: erros de forma e baixa rigidez

Mesmo tendo-se operador, instrumento e ambiente bem controlados, ainda podem ser cometidos erros de medição se a peça a ser medida possui dimensões variáveis. Essa variação nas dimensões da peça pode ocorrer por causa de **erros de forma** e/ou por causa de **pouca rigidez da peça**.

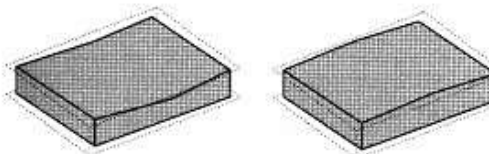
Paralelismo



Circularidade



Planeza



Cilindricidade



## Metrologista

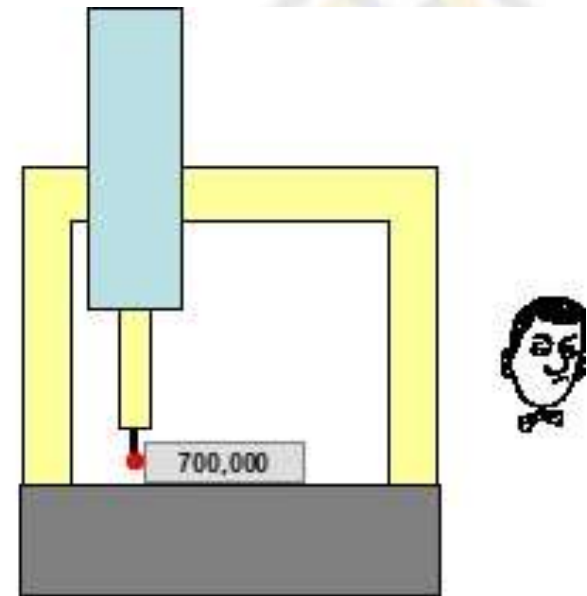
O operador pode ser um grande fator de influência nas medições, sejam elas com instrumentos manuais ou automatizados. Em muitas situações, o operador é o principal responsável por uma medição sem confiabilidade..

O pessoal empregado nas operações de medição deve ser competente, adequadamente qualificado e bem informado sobre todo o processo em que a medição está inserida.

**Qualificação Operacional: Habilidades**

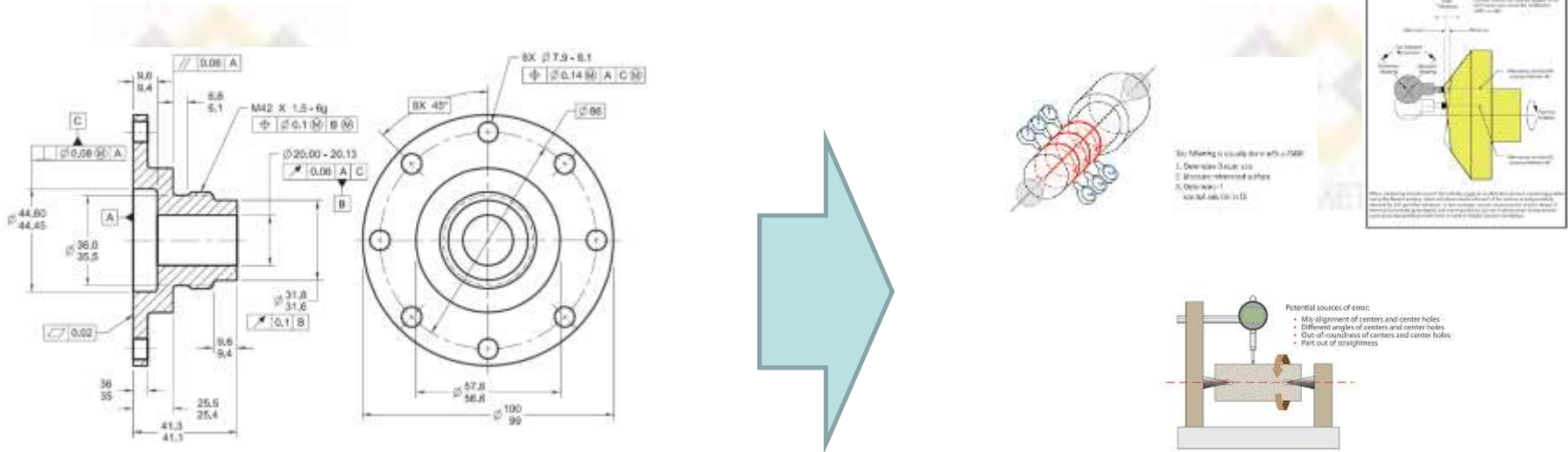
**Qualificação Metrológica: Conhecimentos**

**Qualificação Comportamental: Atitudes**



FORMA **3D**

## Método de Medição



Peça e Desenho

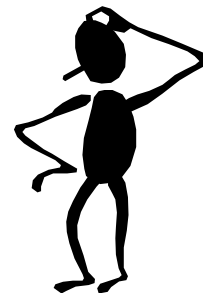
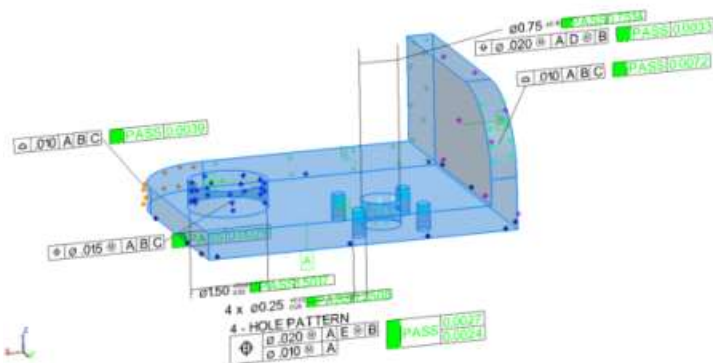
Procedimento de Medição

Os Procedimento de Medição têm que ser definidos de modo consistente com a necessidade da peça e validados metrologicamente para verificar se os resultados possuem confiabilidade metrológica.



## Conflitos do GD&T de projeto para as atividades de medição

- Desenhos incompletos quanto a referências e tolerâncias
- Desenhos com excesso de informação geométrica
- Desenhos com erros de cotagem
- Desenhos com especificação de tolerâncias muito complexa
- Desenhos com características geométricas inviáveis de medir
- Falta de comunicação entre engenharia e metrologia
- Conceitos falhos de GD&T na engenharia e/ou metrologia

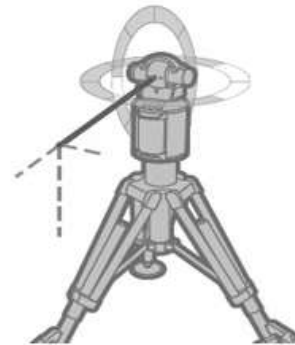
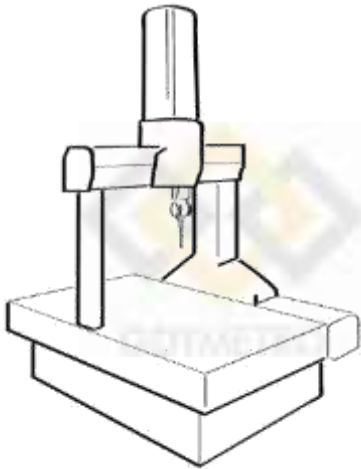


Antes de medir a peça  
“meça o desenho”!!!

## Máquina de Medir / Instrumento de Medição

Requisitos necessários aos sistemas de medição empregados na medição de peças e ferramentais.

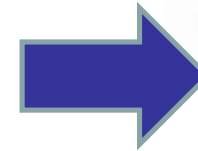
- Capacidade de extrair a informação geométrica de interesse
- Exatidão para conferir confiabilidade necessária a esta informação geométrica
- Robustez operacional para operar no ambiente de medição
- Rapidez e praticidade para tornar o processo de medição produtivo
- Capacidade de comunicar os resultados para as ações corretivas nos processos



- **Necessidade de verificação frequente!!**



Renishaw



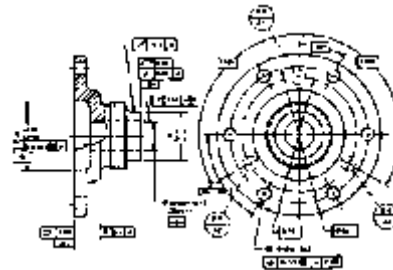
Mitutoyo

## Meio Ambiente



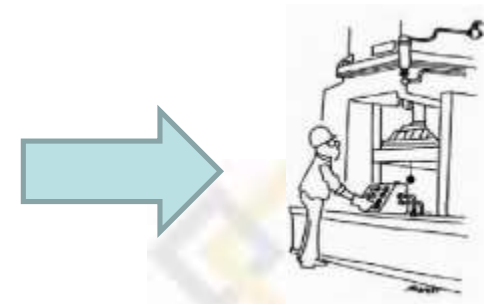
*A temperatura de referência padronizada para a especificação e verificação geométrica de produtos está definida em 20° C.*

Especificação geométrica



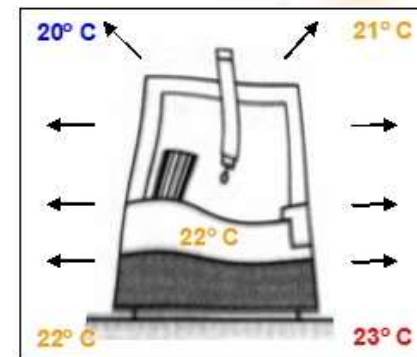
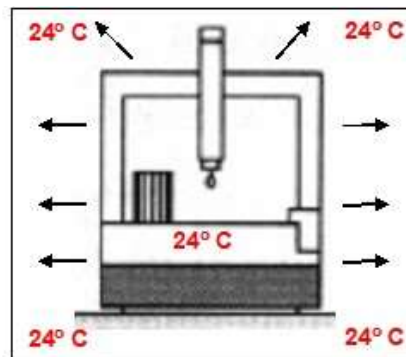
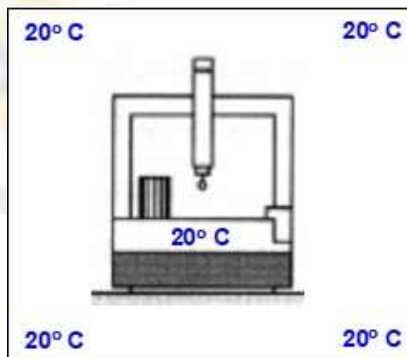
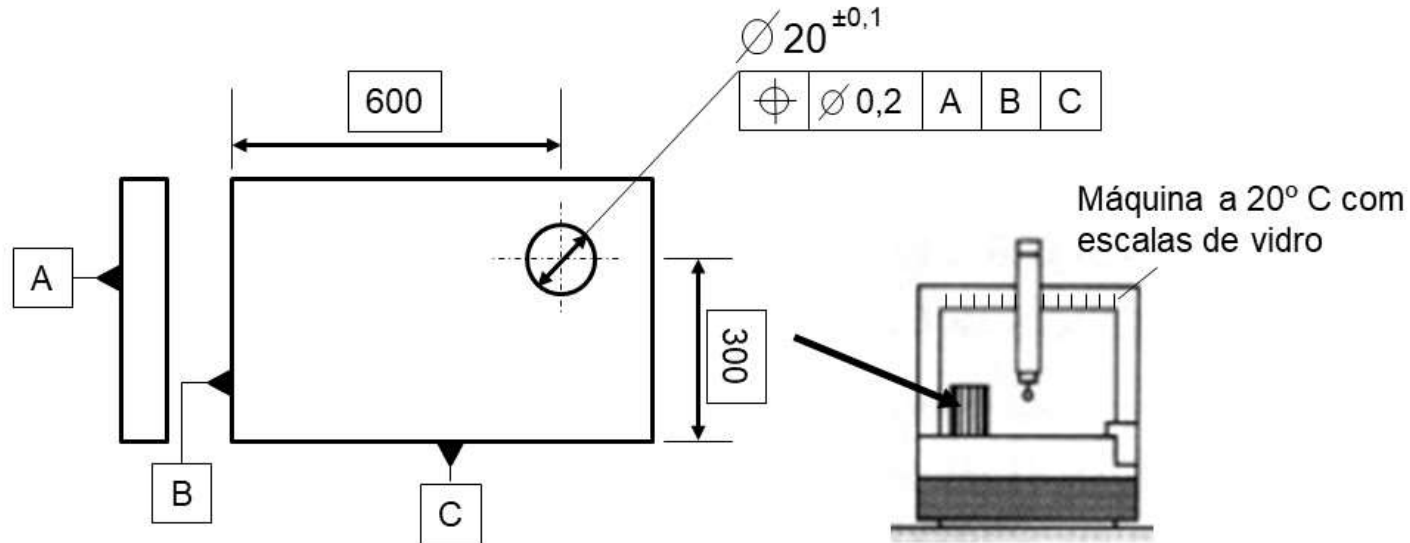
20° C

Verificação geométrica



20° C

**Exemplo:** Para cada 1° C de aumento na temperatura da peça de alumínio medida nas condições abaixo, a tolerância de posição especificada é consumida em cerca de 16%



## Medições focadas em características significativas

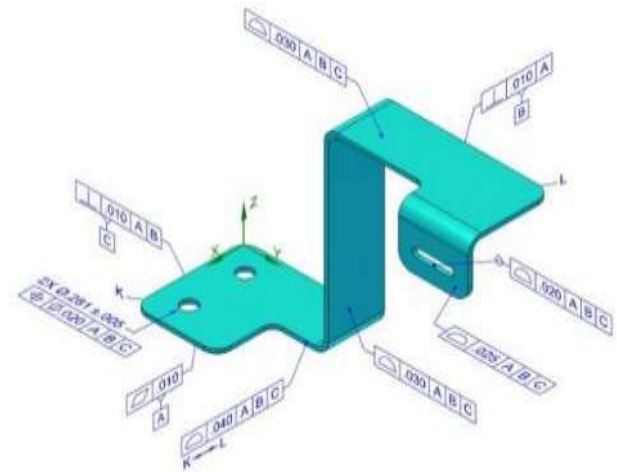
Não basta empregar processos de medição com boa exatidão.

As medições têm que ser focadas nas características realmente significativas nas peças.

Frequentemente...

Mede-se o que não é significativo

Deixa-se de controlar o que é significativo



No conceito de gestão dimensional de produtos os planos de controle são focados nas características mais significativas da função do produto, pois resultam de um bom esforço de análises dimensionais auxiliadas por computador. Evita-se o comum “mede tudo”.

## Ciclo decisório rápido e eficaz

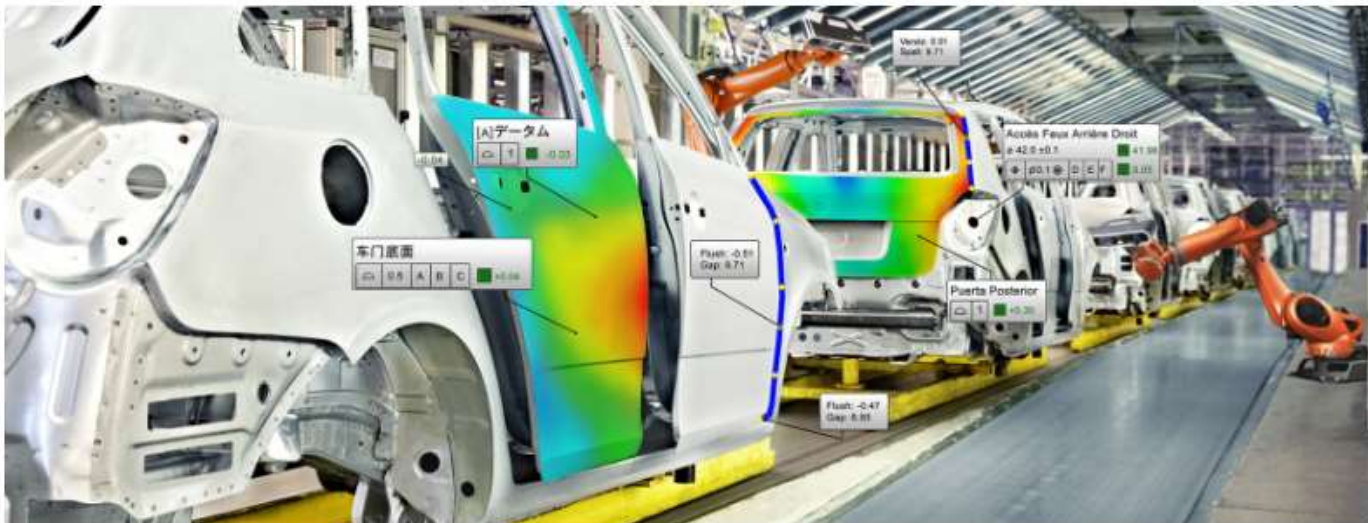
É necessário que as medições estejam próximas aos processos.

- Proximidade Física.
- Proximidade Informacional.

***In Line. On Time.***

Atualidade da informação obtida

Rapidez na utilização desta informação





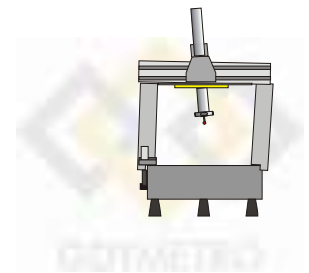
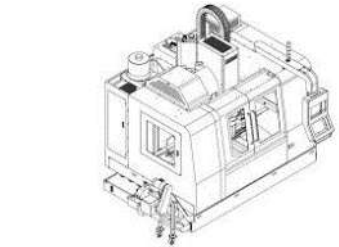
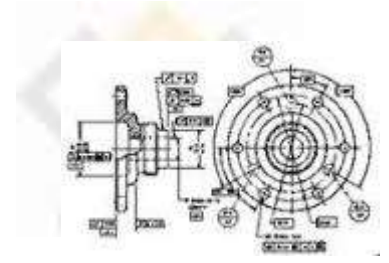
# 9. RESULTADOS ESPERADOS COM A GESTÃO DA PRECISÃO DIMENSIONAL





## VANTAGENS TÉCNICAS E ECONÔMICAS DA GESTÃO DIMENSIONAL DE PRODUTOS

- Projeto dimensional otimizado e maduro através das simulações computacionais
- Planos de controle gerados com melhor conhecimento das características dimensionais significativas
- Processos de produção monitorados e melhorados continuamente quanto sua capacidade de atender os requisitos de exatidão existentes
- Medições integradas e com exatidão necessária para o bom controle de produtos e processos, gerando informações efetivas e de rápida utilização
- Amadurecimento mais rápido de produtos e processos
- Redução de tempos de desenvolvimento e lançamento de produtos



***Time to marketing speed up!!***



## ALGUMA EMPRESA CONHECIDA APLICA ISSO?



## Dimensional Management in Vehicle Development

A preventive quality assurance method

By Reinhard Müller, Michael Eberich





**ALGUMA EMPRESA CONHECIDA APLICA ISSO?**



← **EMBRAER**

FORMA **3D**

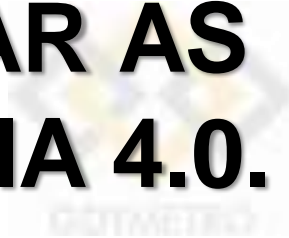




**“DEVER DE CASA”**



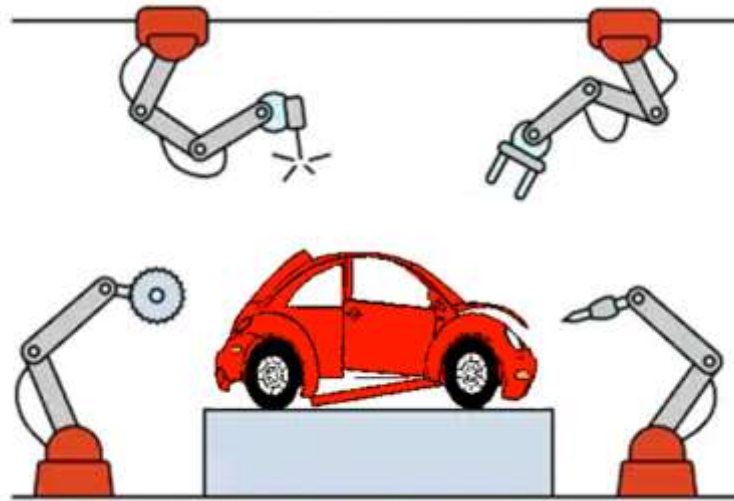
**ANALISAR COMO ESTÁ SUA  
EMPRESA NESSE CENÁRIO E NO  
CAMINHO PARA AGREGAR AS  
INOVAÇÕES DA INDÚSTRIA 4.0.**



## Agradecimentos:



# Gestão da Precisão Dimensional para Inserção na Indústria 4.0



**André Roberto de Sousa**  
**Ademir Linhares de Oliveira (*in memoriam*)**

Instituto SENAI de Inovação em Sistemas de Manufatura  
Joinville, 27 de Junho de 2019