



“Ganhos do Plano de Calibração”

Celso P. Saraiva
Resp. Técnico Lab. Calibração

Desenvolvimento



- Definições básicas em Metrologia;
- Propriedades das distribuições normais;
- O que calibrar?
- Como estabelecer um Plano de Calibração otimizado.

Fundamentos da Metrologia: Definições básicas

Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia (VIM)



- **Versão brasileira aprovada pela Portaria Inmetro 029, de 10/03/95**
- **VIM**
 - **Índice trilingüe**
 - **Gênero das palavras**
 - **Mantém definidos antigos conceitos com atuais significados**
 - **Versão eletrônica disponível no sítio do Inmetro**
- **Nova versão do VIM (editada pela ISO), traduzida pelo Inmetro, ora em consulta pública, muito mais abrangente.**

Melhores momentos do VIM:

- **Medição, f**

- Conjunto de operações que tem por objetivo determinar **um** valor de uma grandeza
- Observação:
 - as operações podem ser feitas automaticamente

- **Metrologia, f**

- Ciência da medição
- Observação:
 - A metrologia abrange todos os aspectos teóricos e práticos relativos às medições, qualquer que seja a incerteza, em quaisquer campos da ciência ou tecnologia.

Calibração



“Conjunto de operações que estabelece, sob condições especificadas, a relação entre os valores indicados por um instrumento de medição ou sistema de medição ou valores representados por uma medida materializada ou um material de referência, e os valores correspondentes das grandezas estabelecidas por padrões.”

Observações:

- 1) O resultado de uma calibração permite tanto o estabelecimento dos valores do mensurando para as indicações como a determinação das correções a serem aplicadas.
- 2) Uma calibração pode, também, determinar outras propriedades metrológicas, como o efeito das grandezas de influência.
- 3) O resultado de uma calibração pode ser registrado em um documento, algumas vezes denominado certificado de calibração ou relatório de calibração.

Rastreabilidade



- Propriedade **do resultado de uma medição** ou do valor de um padrão estar relacionado a referências estabelecidas, geralmente padrões nacionais ou internacionais, através de uma cadeia contínua de comparações, **todas tendo incertezas estabelecidas.**

Erro (de medição)

- Resultado de uma medição menos o valor verdadeiro do mensurando.
- Observações:
 - Uma vez que o valor verdadeiro não pode ser determinado, utiliza-se, na prática, um valor verdadeiro convencional.
 - Quando for necessário distinguir “erro” de “erro relativo”, o primeiro é, algumas vezes, denominado erro absoluto da medição. Este termo não deve ser confundido com valor absoluto do erro, que é o módulo do erro.

Desvio

- Valor menos seus valores de referência

Incerteza de medição



- Parâmetro, associado ao resultado de uma medição, que caracteriza a dispersão dos valores que podem ser fundamentadamente atribuídos a um mensurando.
- **Observações:**
 - Entende-se que o resultado da medição é a melhor estimativa do valor do mensurado, e que todos os componentes da incerteza, incluindo aqueles resultantes associados com correções e padrões de referência, contribuem para a dispersão.

Erro no ponto de Controle



- Erro de um instrumento de medição em uma indicação especificada ou em um valor especificado do mensurando, **escolhido para controle do instrumento.**

Classe de exatidão

- Classe de instrumentos de medição que satisfazem a certas exigências metrológicas destinadas a conservar os erros dentro de limites especificados.

Erros máximos admissíveis (de um instrumento de medição) / Limites de erros admissíveis (de um instrumento de medição)

- Valores extremos de um erro admissível por especificações, regulamentos, etc., para um dado instrumento de medição.

Tendência (de um instrumento de medição)

Erro sistemático da indicação de um instrumento de medição.

Observação: Tendência de um instrumento de medição é normalmente estimada pela média dos erros de indicação de um número apropriado de medições repetidas.

Erro Intrínseco (de um instrumento de medição)

Erro de um instrumento de medição, determinado sob condições de referência.

Ajuste (de um instrumento de medição)

- Operação destinada a fazer com que um instrumento de medição tenha desempenho compatível com o seu uso
Obs.: o ajuste pode ser automático, semi-automático ou manual.

Regulagem (de um instrumento de medição)

- Ajuste empregado somente os recursos disponíveis no instrumento para o usuário.

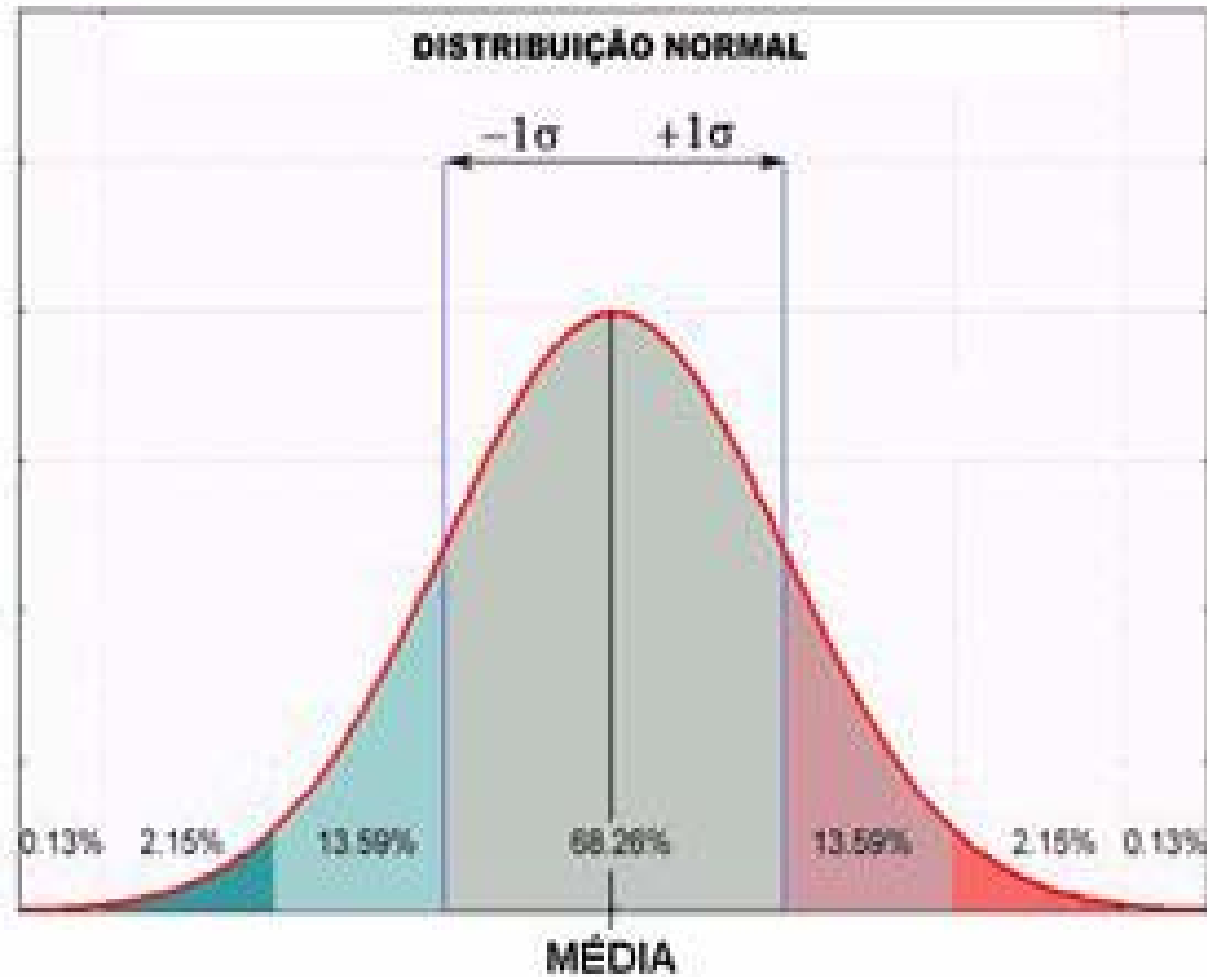
A distribuição normal



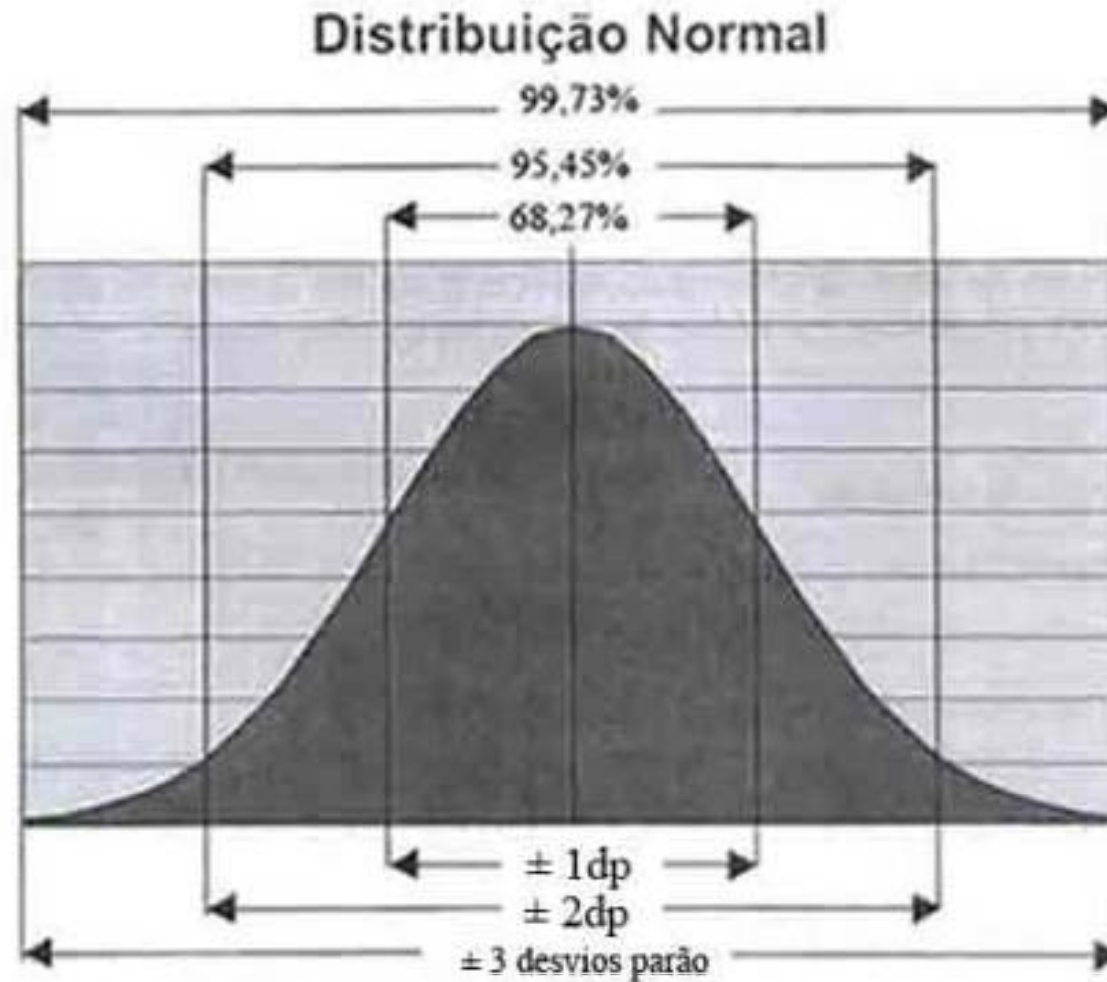
“Difícilmente existirá algo tão impressionante para a imaginação como a admirável ordem cósmica expressa pela Lei da Freqüência do Erro (distribuição normal). Se os gregos a tivessem conhecido, certamente a teriam personificado e endeusado”

Sir. Francis Galton, inventor das técnicas de regressão linear

Distribuição normal - Propriedades



Distribuição normal - Propriedades



Resultado de uma medição

- O valor mais provável de um mensurando é a média aritmética dos n prováveis valores, tomados em n diferentes medições independentes.
- O desvio padrão representa a região que contém aproximadamente 68,3% dos possíveis resultados, com maior probabilidade de ocorrência na região central (valor médio).
- O conceito de incerteza de medição está relacionado a esta região.

O que calibrar?

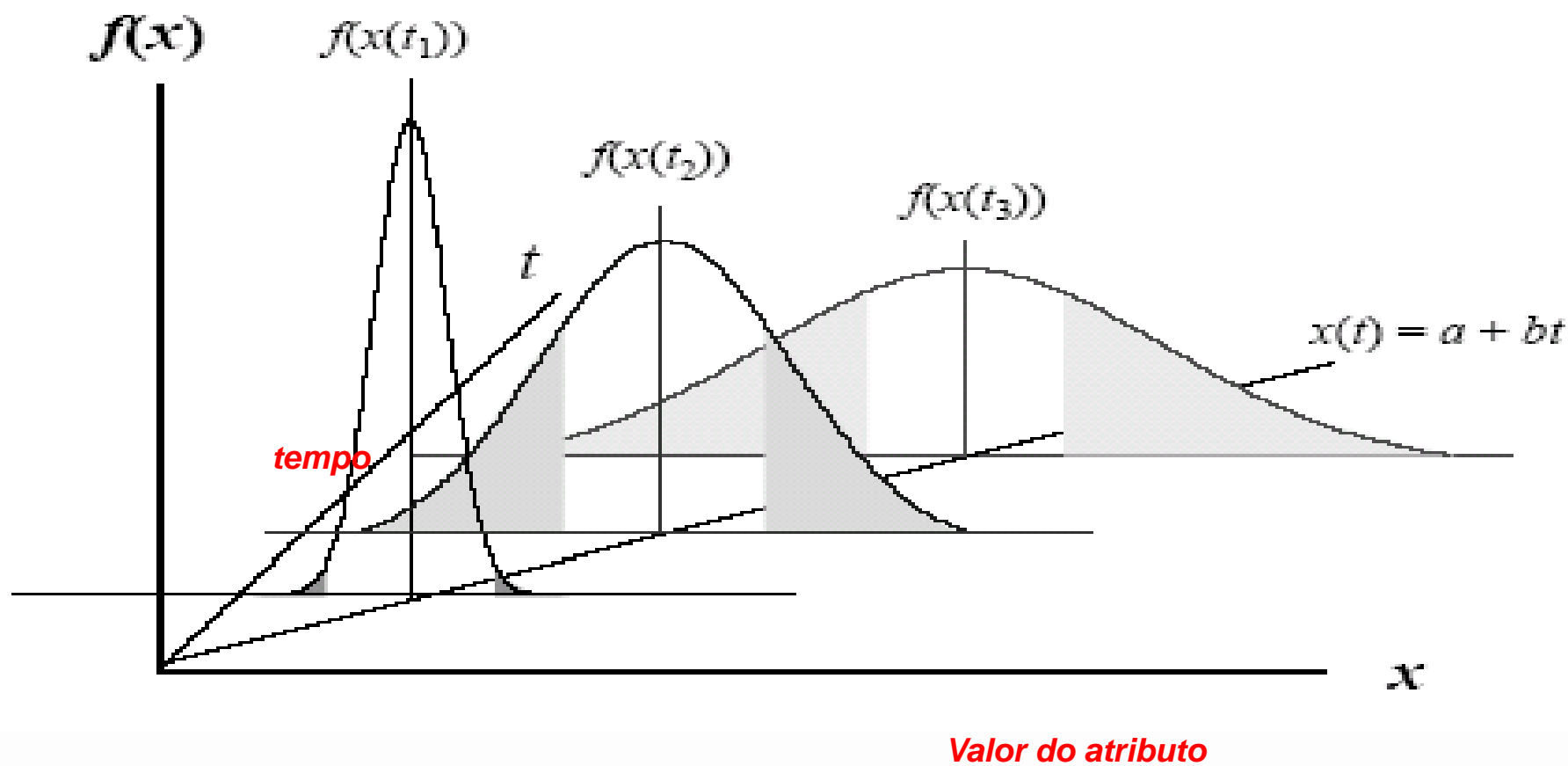
- Norma ABNT NBR ISO 9001:2000 (item 7.6) recomenda o emprego da norma ABNT NBR ISO/IEC 10012 como orientação no controle de dispositivos de medição e monitoramento.
- Norma ABNT NBR ISO/IEC 10012 recomenda que o **esforço dedicado ao controle do processo de medição seja compatível com a importância das medições para a qualidade do produto final da organização.**
- Norma ABNT NBR ISO/IEC 17025 estabelece que deverá ser calibrado todo equipamento utilizado em ensaios e/ou calibrações que **tenha efeito significativo sobre a exatidão ou validade do resultado do ensaio.**

O que não requer calibração periódica?

- O instrumento faz medições ou fornece saídas conhecidas, as quais são monitoradas, durante o uso, por dispositivo, medidor ou escala devidamente calibrada.
- O instrumento faz medições que são requeridas mais para suprir uma mera indicação de condição operacional do que um valor numérico.
- O instrumento é descartado após um curto ciclo de vida, dentro do qual a confiabilidade de suas medições permanecerá em um nível aceitável.
- Padrões fundamentais.

Referência: Documento MTRL (U.S. Navy Metrology Requirements List)

Visão estatística da necessidade de calibração periódica



Plano de Calibração: O Ciclo PDCA

Act

Ações sobre o equipamento ou processo

Plan

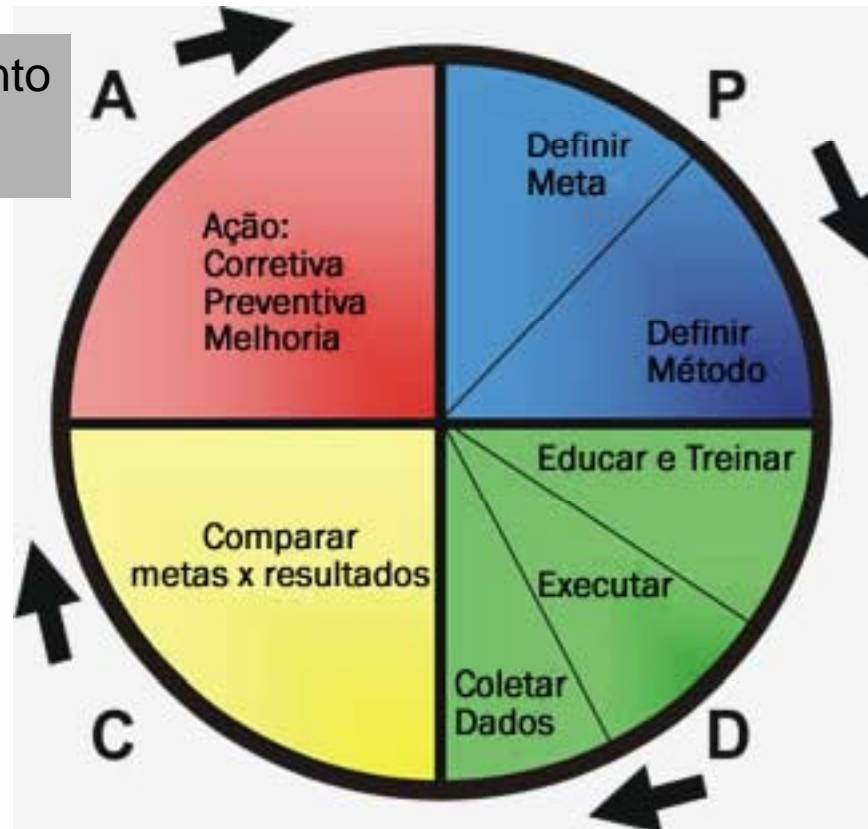
Plano de Calibração

Análise do Certificado de Calibração

Calibração

Check

Do



O Ciclo PDCA

A Nota na Cláusula 0.2 da ISO 9001:2000 explica que o ciclo PDCA aplica-se a processos como segue:

- **"Planejar"** estabelecer os objetivos e processos necessários para fornecer resultados de acordo com os requisitos do cliente e políticas da organização;
- **"Fazer"** implementar os processos;
- **"Checar"** monitorar e medir processos e produtos em relação às políticas, os objetivos e aos requisitos para o produto e relatar os resultados;
- **"Agir"** executar ações para promover continuamente a melhoria do desempenho do processo ;

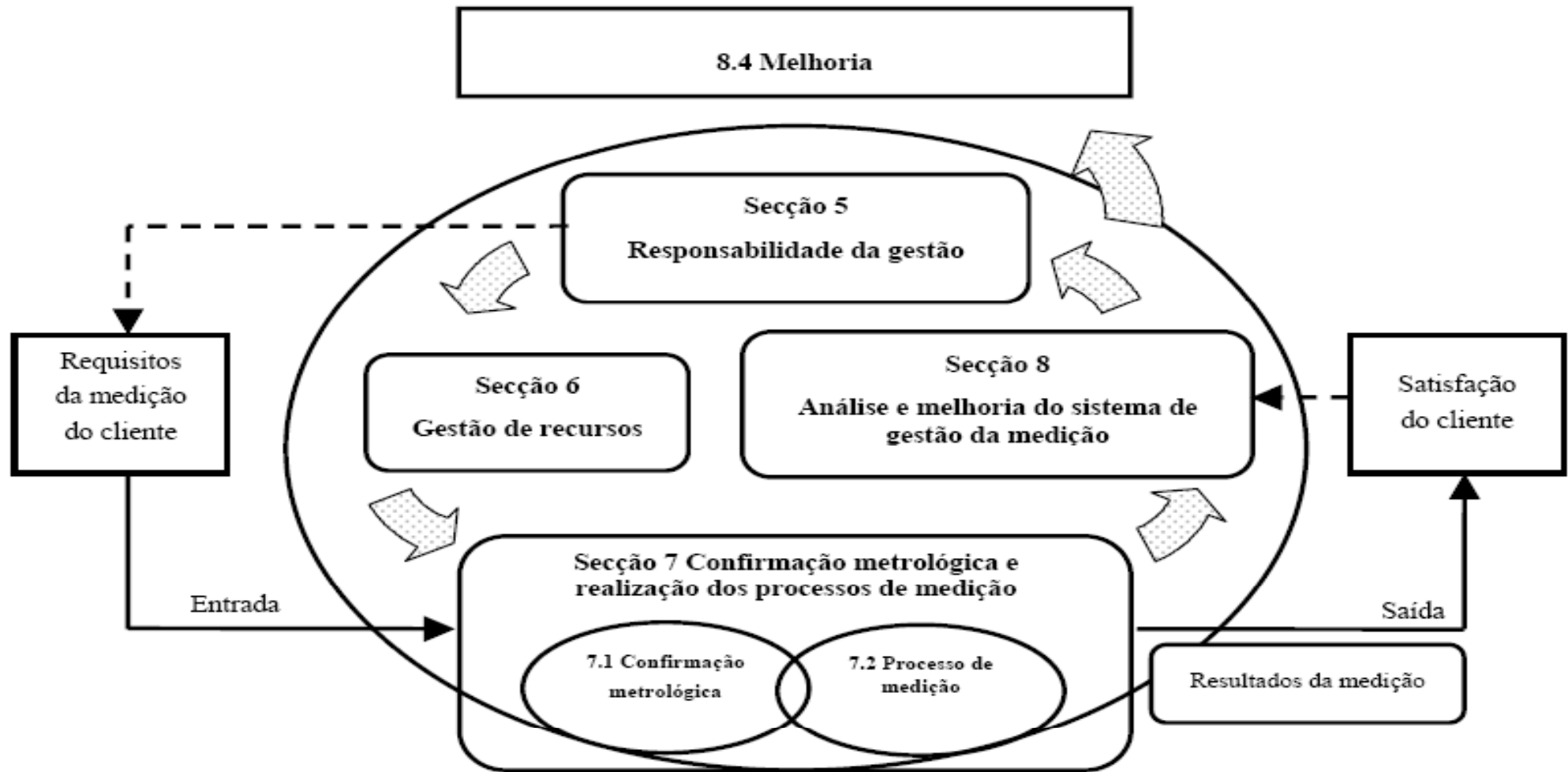
Comprovação Metrológica



- *Conjunto de operações necessárias para assegurar que um equipamento de medição atende aos requisitos para o seu uso pretendido.*
- *Nota 1: Comprovação metrológica normalmente inclui calibração ou verificação, qualquer ajuste ou reparo necessário, e subsequente recalibração, comparação com os requisitos metrológicos para o uso pretendido do equipamento, assim como qualquer etiqueta ou lacre necessários.*
- *Nota 2 : Comprovação metrológica não é alcançada, até que, e a menos que, a adequação do equipamento de medição para o uso pretendido tenha sido demonstrada e documentada.*
- *Nota 3 : Os requisitos para o uso pretendido incluem considerações tais como amplitude, resolução, erro máximo/erro permitido.*
- *Nota 4 : Os requisitos de comprovação metrológica são normalmente distintos dos requisitos do produto, e não estão especificados neste requisitos.*

Fonte: Ítem 3.5 - Norma ABNT NBR ISO 10012:2004

Requisitos do processo de calibração segundo a ABNT NBR ISO 9001:2000



Requisitos do processo de calibração segundo a ABNT NBR ISO 9001:2000

7.2.1 Determinação de requisitos relacionados ao produto

A organização deve determinar

- *a) os requisitos especificados pelo cliente, incluindo os requisitos para entrega e para atividades de pós-entrega,*
- *b) os requisitos não declarados pelo cliente, mas necessários para o uso especificado ou intencional, onde conhecido,*
- *c) requisitos estatutários e regulamentares relacionados ao produto, e*
- *d) qualquer requisito adicional determinado pela organização.*

Requisitos do processo de calibração segundo a ABNT NBR ISO 9001:2000



- **7.6 Controle de dispositivos de medição e monitoramento**

A organização deve determinar as medições e monitoramentos a serem realizados e os dispositivos de medição e monitoramento necessários para evidenciar a conformidade do produto com os requisitos determinados (ver 7.2.1).

Quando for necessário assegurar resultados válidos, o dispositivo de medição deve ser

- *a) calibrado ou verificado a intervalos especificados ou antes do uso, contra padrões de medição rastreáveis a padrões de medição internacionais ou nacionais; quando esse padrão não existir, a base usada para calibração ou verificação deve ser registrada,*
- *b) ajustado ou reajustado, quando necessário,*
- *c) identificado para possibilitar que a situação da calibração seja determinada,*
- *d) protegido contra ajustes que possam invalidar o resultado da medição, e*
- *e) protegido de dano e deterioração durante o manuseio, manutenção e armazenamento.*

Adicionalmente, a organização deve avaliar e registrar a validade dos resultados de medições anteriores quando constatar que o dispositivo não está conforme com os requisitos. A organização deve tomar ação apropriada no dispositivo e em qualquer produto afetado. Registros dos resultados de calibração e verificação devem ser mantidos (ver 4.2.4).

- **NOTA - Ver NBR ISO 10012-1 e NBR ISO 10012-2 para orientação.**

RESUMO

- **Identifique QUAIS INSTRUMENTOS DEVEM SER CALIBRADOS (LISTA MESTRA DE CALIBRAÇÃO), em função dos requisitos do produto;**
- **Identifique QUAIS OS PARÂMETROS DOS EQUIPAMENTOS DEVEM SER CALIBRADOS (LISTA MESTRA DE CALIBRAÇÃO);**
- **Especifique em que pontos e faixas estes parâmetros deverão ser calibrados;**
- **Especifique os critérios de aceitação do equipamento após calibração (normalmente a especificação do equipamento é da ordem de 1/3 dos requisitos ou tolerâncias do produto ou do processo)**

Como e onde calibrar

- São considerados competentes os laboratórios de calibração que satisfaçam os requisitos da norma ABNT NBR ISO/IEC 17025;
- Aspecto importante é verificar se a melhor capacidade de medição do laboratório a ser contratado é compatível com as características metrológicas do equipamento de medição objeto de controle metrológico;
- Comprovação metrológica compreende a calibração e a verificação do equipamento de medição, entendendo-se como verificação a comparação dos resultados da calibração com as características metrológicas especificadas para os equipamentos, que devem ser adequadas para seu uso pretendido.

Dentro ou fora de especificações: critérios



- Considerações sobre os conceitos

“dentro de tolerância”

e

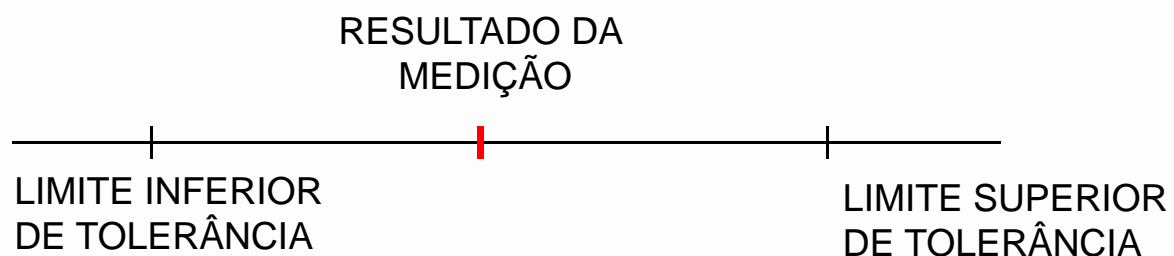
“fora de tolerância”.

TUR X TAR

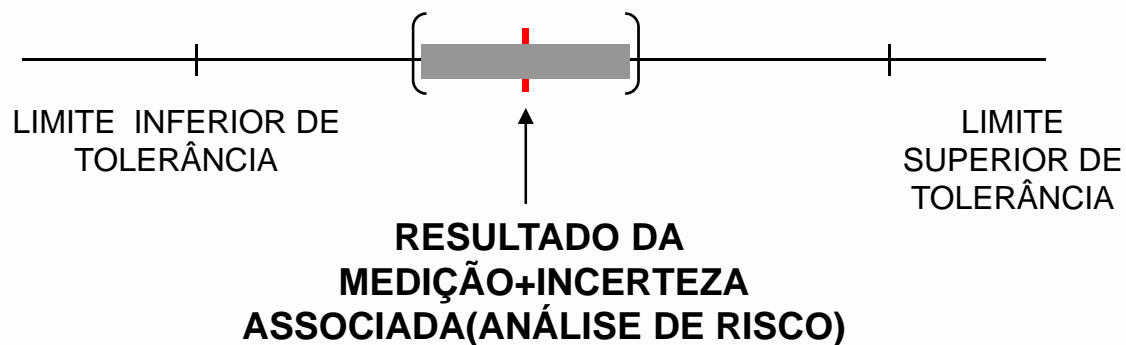
- TUR – TEST UNCERTAINTY RATE : Relação entre incertezas de teste
- TAR – TEST ACCURACY RATE : Relação entre exatidões de Teste

INCERTEZA X TOLERÂNCIA

**ANÁLISE
MAIS
COMUM**

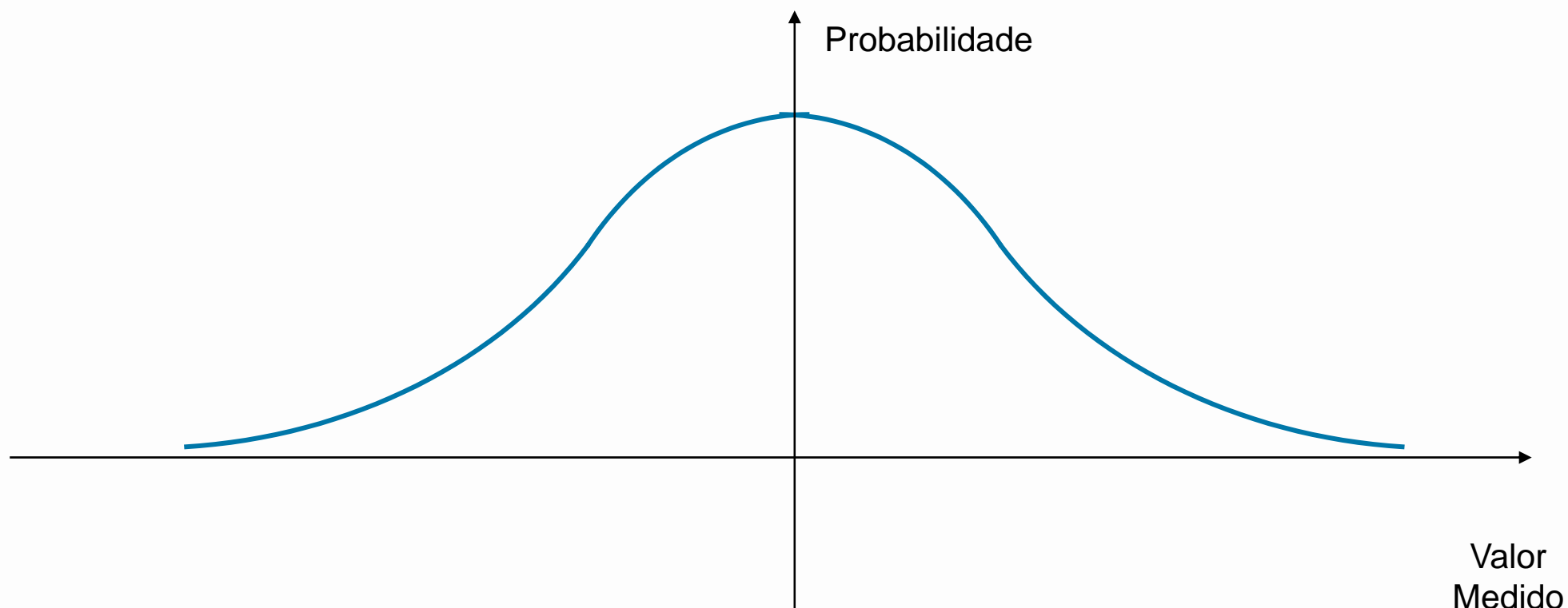


**ANÁLISE
RECOMENDADA**



Classificando instrumentos calibrados

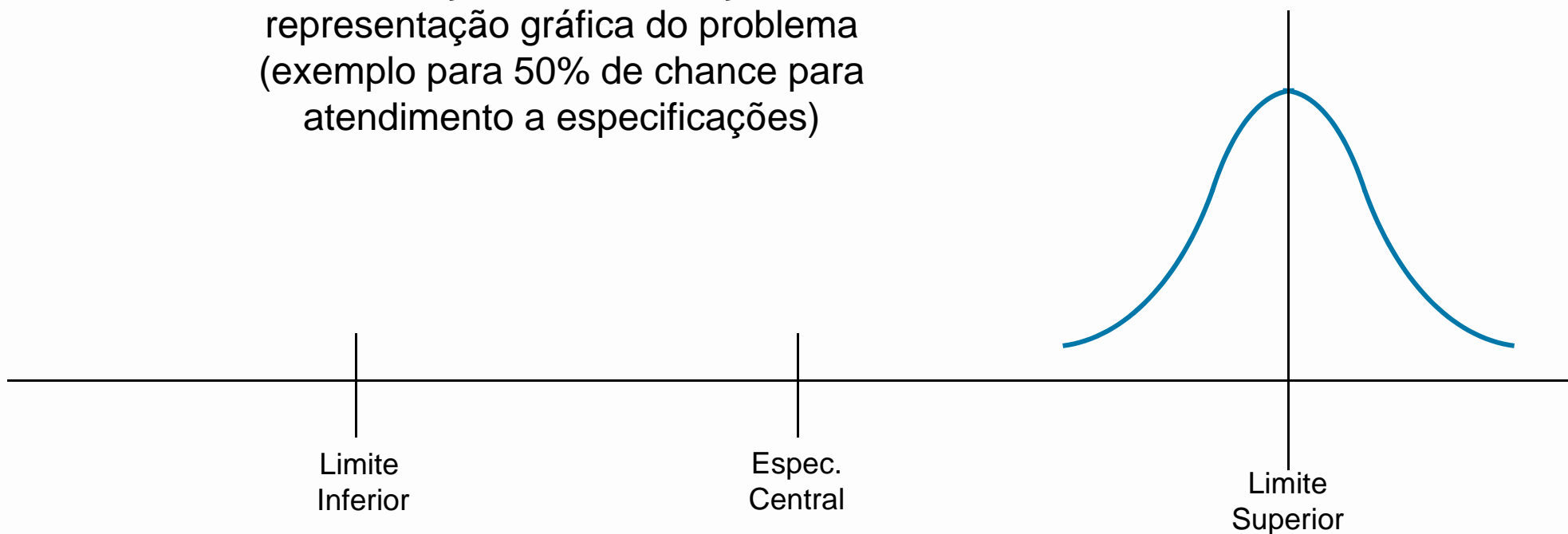
Conceito geral do resultado de uma medição



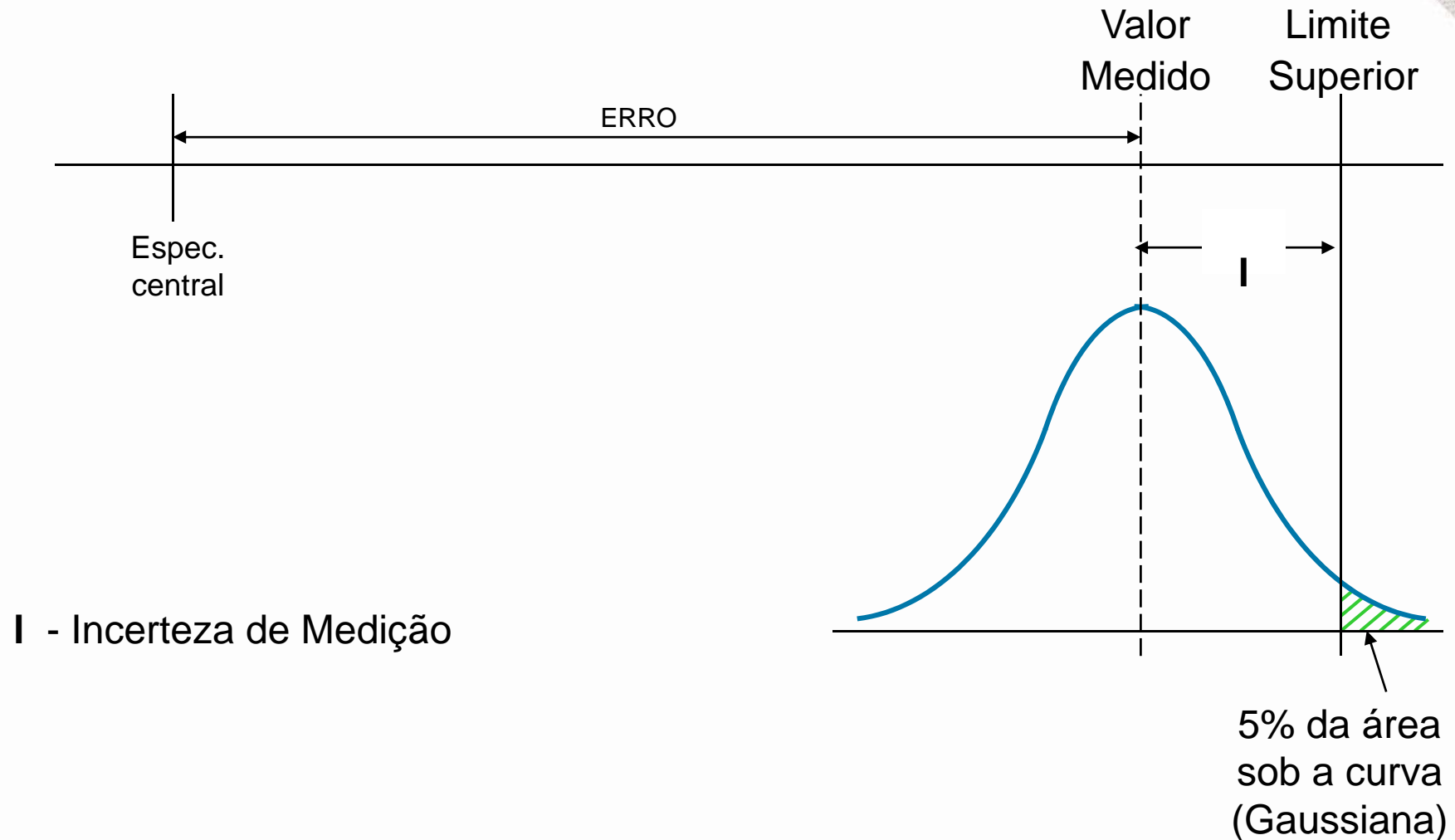
Na maioria das medições, a distribuição é normal ou gaussiana

Classificando instrumentos calibrados

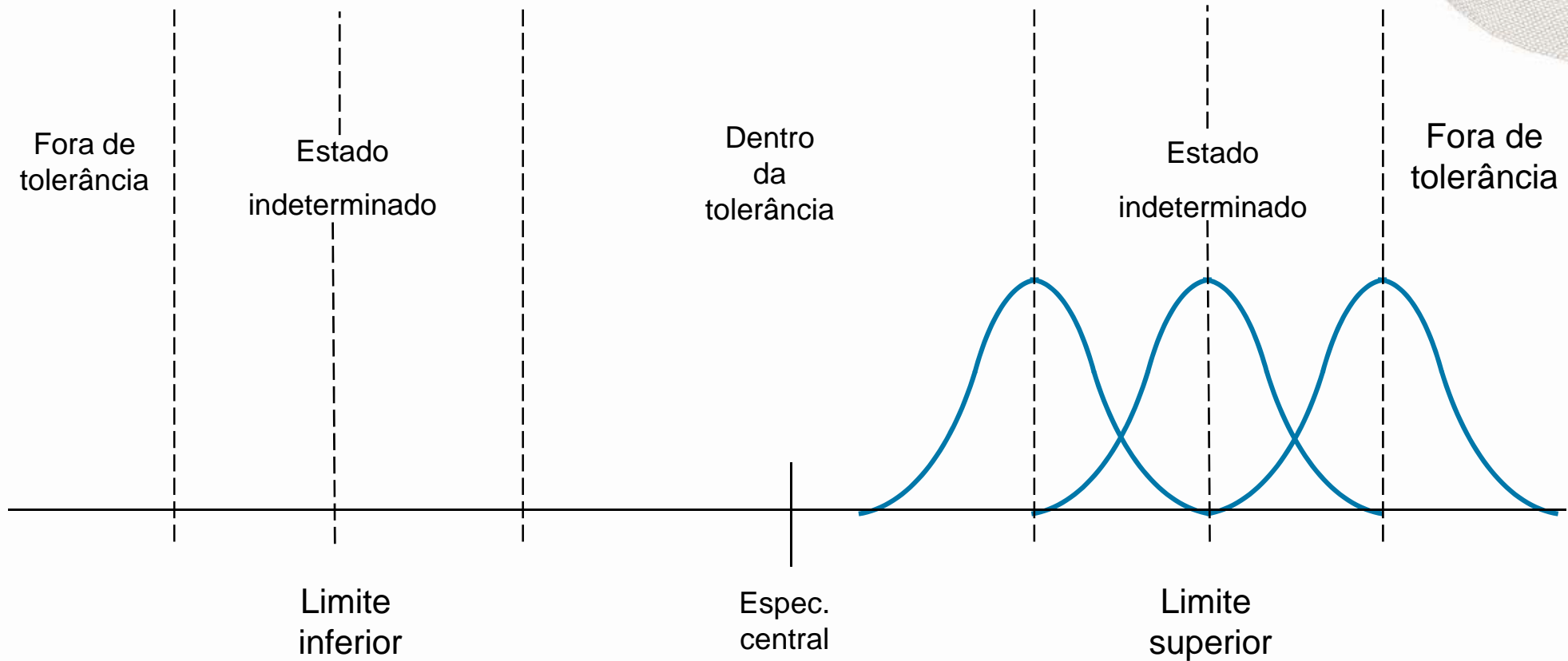
Combinação das distribuições e representação gráfica do problema (exemplo para 50% de chance para atendimento a especificações)

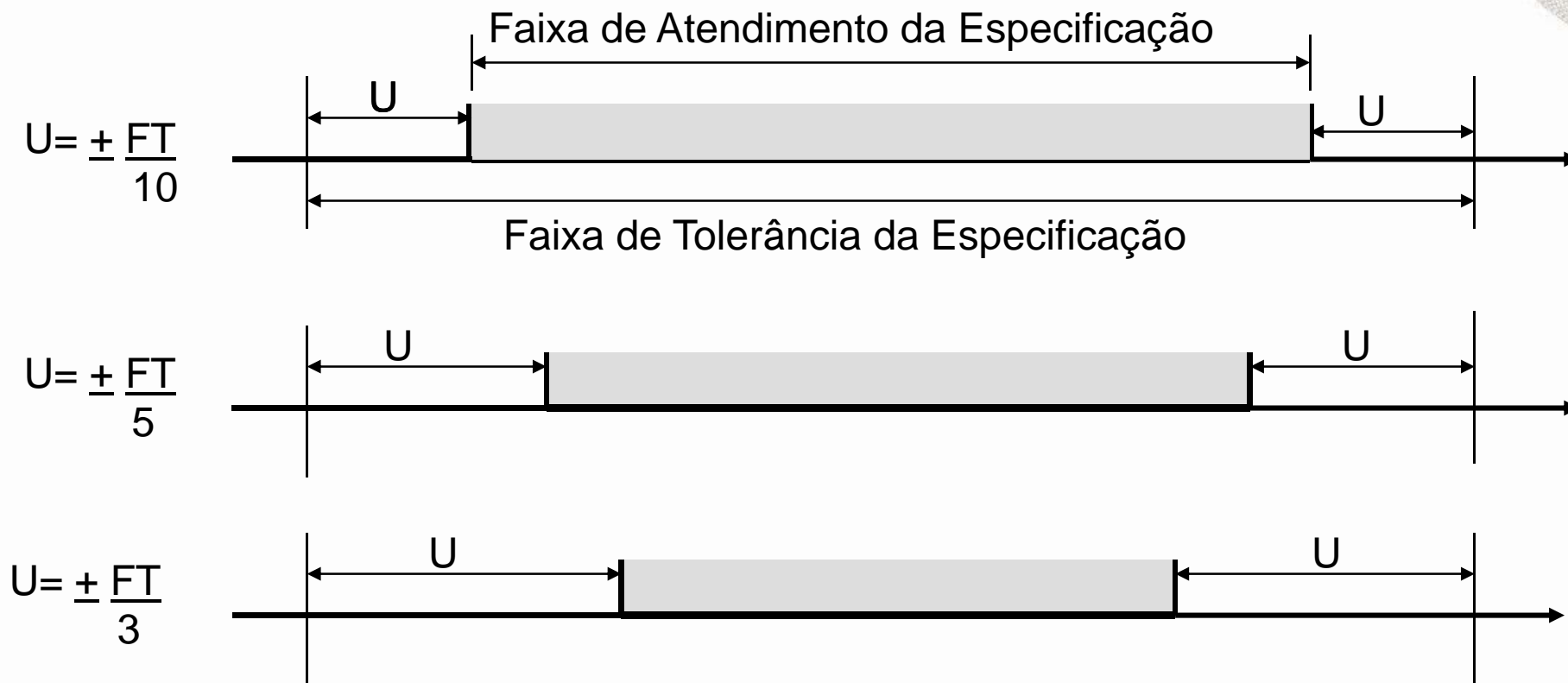


Classificando instrumentos calibrados: Situação Limite para 95% de confiança



Classificando instrumentos calibrados





Relação entre Incerteza (U) x Faixa de Tolerância (FT)

Classificando instrumentos calibrados

Para $TUR \geq 1,2 : 1$

Pode-se demonstrar que o parâmetro está em tolerância se

$$[USC_{ESPEC} - ERRO] \geq 1,6448 \cdot \text{Incerteza padrão declarada}$$

OU

(versão bastante conservadora):

$$[USC_{ESPEC} - ERRO] \geq \text{Incerteza expandida de medição}$$

Que pode ser escrito como

$$| USC_{ESPEC} | \geq | ERRO + \text{Incerteza exp. de medição} |$$

Classificando instrumentos calibrados



$$| USC_{ESPEC} | \leq | ERRO + Incerteza \text{ exp. de medição} |$$

Onde

USC_{ESPEC} : Especificação do mensurando da Unidade Sob Calibração

$ERRO$: Erro declarado no certificado de calibração para o mensurando (valor – valor verdadeiro convencional)

$Incerteza \text{ expandida de medição}$: Declarada no certificado, normalmente expandida para aproximadamente 95% de confiança.

Classificando instrumentos calibrados

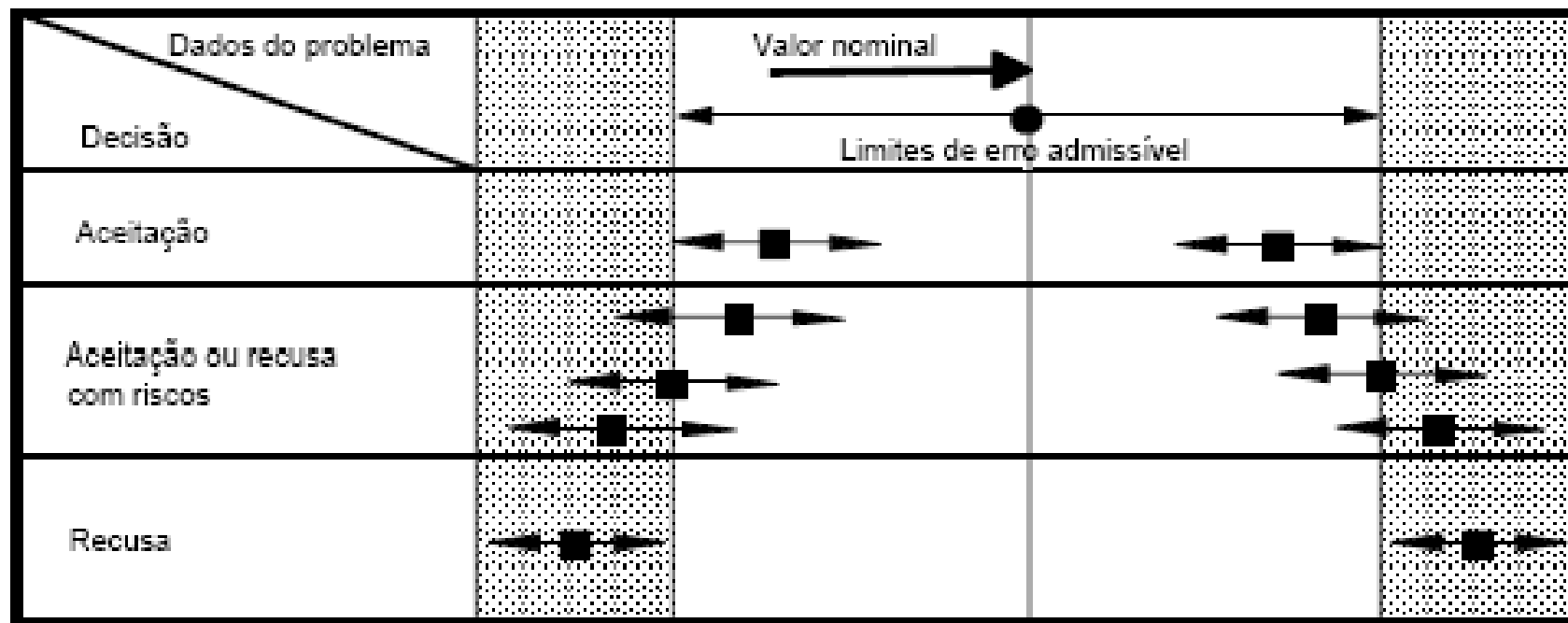
Para $TUR > 3$, na prática, pode-se considerar, em alguns casos, que o parâmetro está em tolerância para:

$$USC_{ESP} \geq ERRO$$

Obs.:

USC \rightarrow Unidade sob calibração

Dentro ou fora de especificações: RESUMO



Legenda:

- : Valor indicado pelo instrumento de medição a verificar
ou valor da dimensão nominal de uma medida materializada
- : Resultado da medição ou valor convencionalmente verdadeiro
- ◄■► : Incerteza da medida
- Em cinzento : Zona fora de tolerância

Passo a passo para redução de custos de Planos de Calibração



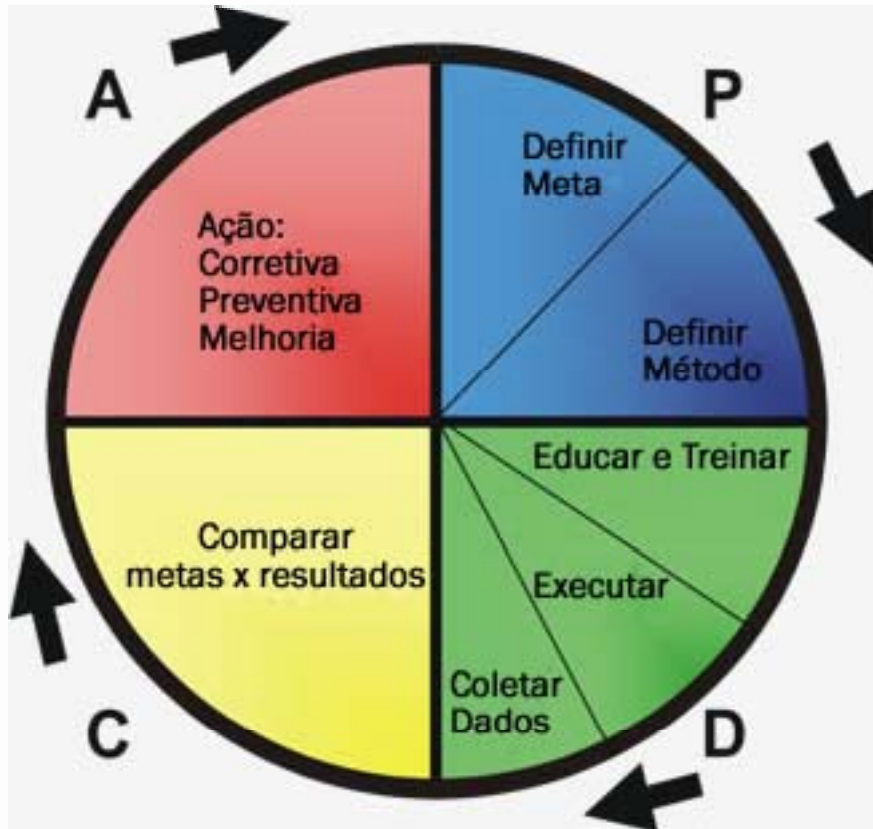
1. Identifique os equipamentos que **efetivamente** requerem calibração;
2. Para estes equipamentos, identifique quais os parâmetros **efetivamente** requerem calibração;
3. Para os parâmetros a serem calibrados, verifique os **pontos e faixas onde eles serão calibrados**;
4. Verifique a tolerância requerida para estes instrumentos, nestes pontos e faixas (**erro no ponto de controle**). Uma boa referência são as especificações do fabricante ou **1/3 das especificações (ou tolerâncias) do processo**.
5. Estabeleça o critério de aceitação. Uma boa regra, conservadora, é : modulo da soma da incerteza de medição com o erro ou desvio ser inferior a tolerância estabelecida.

Passo a passo para redução de custos de Planos de Calibração



- 6. Consulte no site do Inmetro os laboratórios acreditados e verifique se as faixas e incertezas mínimas (melhor capacidade de medição) são adequadas (idealmente 3 vezes menor que a tolerância ou exatidão especificada no passo 4).**
- 7. No âmbito da ISO 9001, são admitidos laboratórios não acreditados que atendam aos requisitos da NBR 17025 (relatórios deverão atender aos requisitos 5.10.2 e 5.10.4)**
- 8. Estabeleça parcerias, forneça limites de tolerância e critérios de aceitação na cotação, concentre datas de calibração em lotes maiores possíveis sem prejuízo da operação, tente calibração *on-site*, solicite relatórios eletrônicos, não aceite relatórios incompletos, busque novas alternativas de calibração, verifique oportunidades de internacionalização, consulte RTs de laboratórios acreditados em caso de dúvidas.**

Ganhos estimados



Etapas efetuadas	Custo Relativo
DCA	100\$
PDCA	30\$ a 60\$
CA	Indeterminado, >>>100\$

Fontes:

- III Wokshop Metrologia Elétrica
- Clientes CPqD órgãos públicos

Enfoque aplicável em ambiente com multiplicidade de itens iguais: “Caixa preta com carta de controle”



Referência: Guidelines for the determination of calibration intervals of measuring instruments

GUIDANCE ILAC-G24 INTERNATIONAL OIML D 10

SERIES Edition 2007 (E) DOCUMENT Edition 2007 (E)

OIML - ORGANISATION INTERNATIONALE DE METROLOGIE LEGALE

ILAC – INTERNATIONAL LABORATORY ACCREDITATION COOPERATION
(INTERNATIONAL ORGANIZATION OF LEGAL METROLOGY)

Enfoque aplicável em ambiente com multiplicidade de itens iguais: “Caixa preta com carta de controle”

- Carta de Controle é uma das ferramentas mais importantes de Controle Estatístico da Qualidade;
- Pontos de calibração significantes, obtidos com padrões de trabalho adequados, são escolhidos e os resultados plotados no tempo;
- Destes pontos, a dispersão (desvio padrão ou amplitude) de resultados e a deriva são calculadas e plotadas;
- Destas figuras, o intervalo ótimo de calibração pode ser calculado;
- Uma variação considerável dos intervalos de calibração são permissíveis sem invalidar os cálculos;
- Cálculo da dispersão de resultados indicará se os limites de especificação do fabricante é razoável e a análise de deriva pode ajudar a indicar a respectiva causa.

Exemplo de carta Xbarra e R – Controle de balanças com pesos padrão

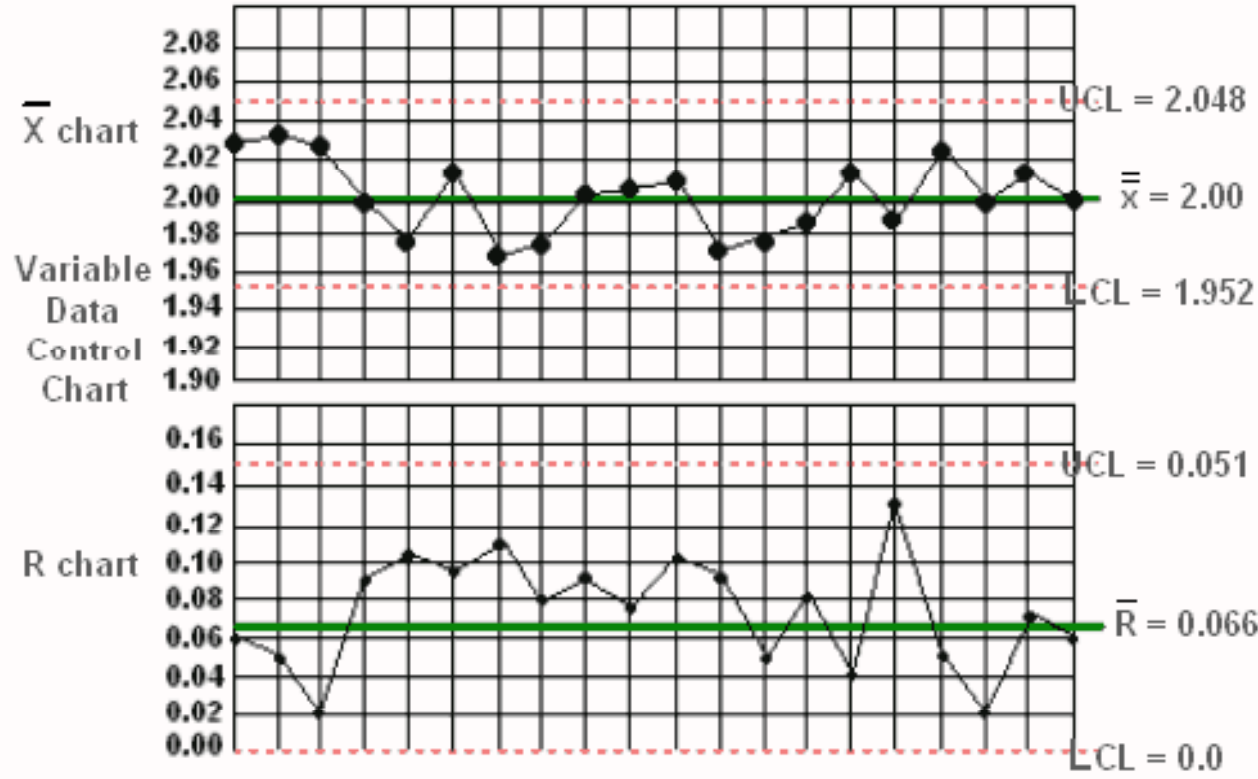


TABLE 6.9
Solar Experiment — Test System Information

<i>Name</i>	Deuterium Lamp
<i>Parameter</i>	UV Radiation
<i>Qualifier</i>	1 to 100 mW 120 to 400 nm
Adjustment Policy	Renew Fail
<i>Reliability Model</i>	Exponential
<i>Test Interval</i>	4 months
<i>Observed EOP Reliability</i>	99.730%
<i>Test Point</i>	100.0000 Units: m W
<i>Performance Limit</i>	0.0000 + 1.0000% of Reading
<i>Test Limit</i>	1.0000 • Performance Limit
<i>Adjustment Limit</i>	1.0000 • Performance Limit
<i>Repair Limit</i>	1.0000 • Performance Limit
<i>Repair System</i>	Equivalent to Cal System Accuracies
<i>Cal System Performance Limit</i>	0.0000 + 0.2500% of Reading m W
<i>Cal System AOP Reliability</i>	97.33%
<i>Quantity of Test Systems</i>	
<i>Acquisition cost of one Test System (parameter)</i>	\$75,00:
<i>Spares coverage desired</i>	100%
<i>Man-hours to calibrate</i>	8
<i>Down-time to calibrate</i>	2 days
<i>Cost per man-hour for calibration or adjustment</i>	\$50
<i>Man-hours to adjust if needed</i>	0
<i>Additional downtime to adjust</i>	0 days
<i>Cost to Repair</i>	\$7,500
<i>Additional downtime to repair</i>	30 days



Obrigado!

Celso P. Saraiva
celso@cpqd.com.br
celso@cotuca.unicamp.br
telefone: (19) 3705-4667
Celular:(19)9234-3208

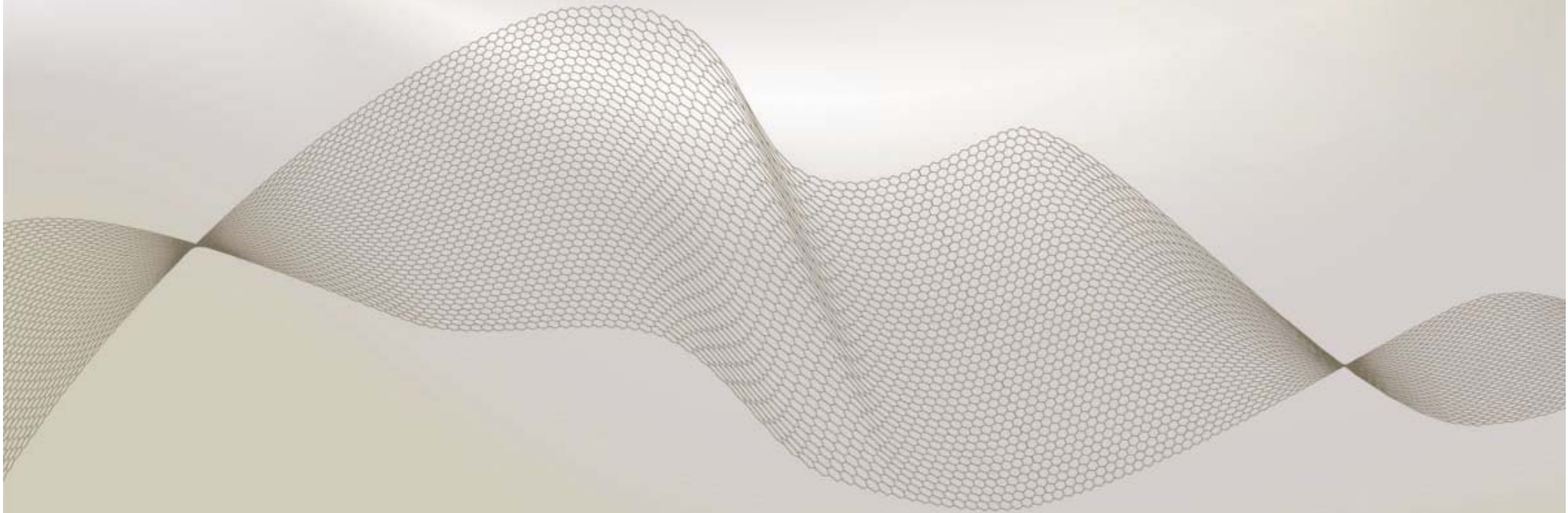
**CPqD – Centro de
Pesquisa e Desenvolvimento
em Telecomunicações
Rod. Campinas–Mogi-Mirim, km 118,5 – SP340
13086-902 – Campinas – SP
BRASIL
www.cpqd.com.br**

Celso P. Saraiva

celso@cpqd.com.br

(19) 3705-4667

(19) 9234-3208



www.cpqd.com.br