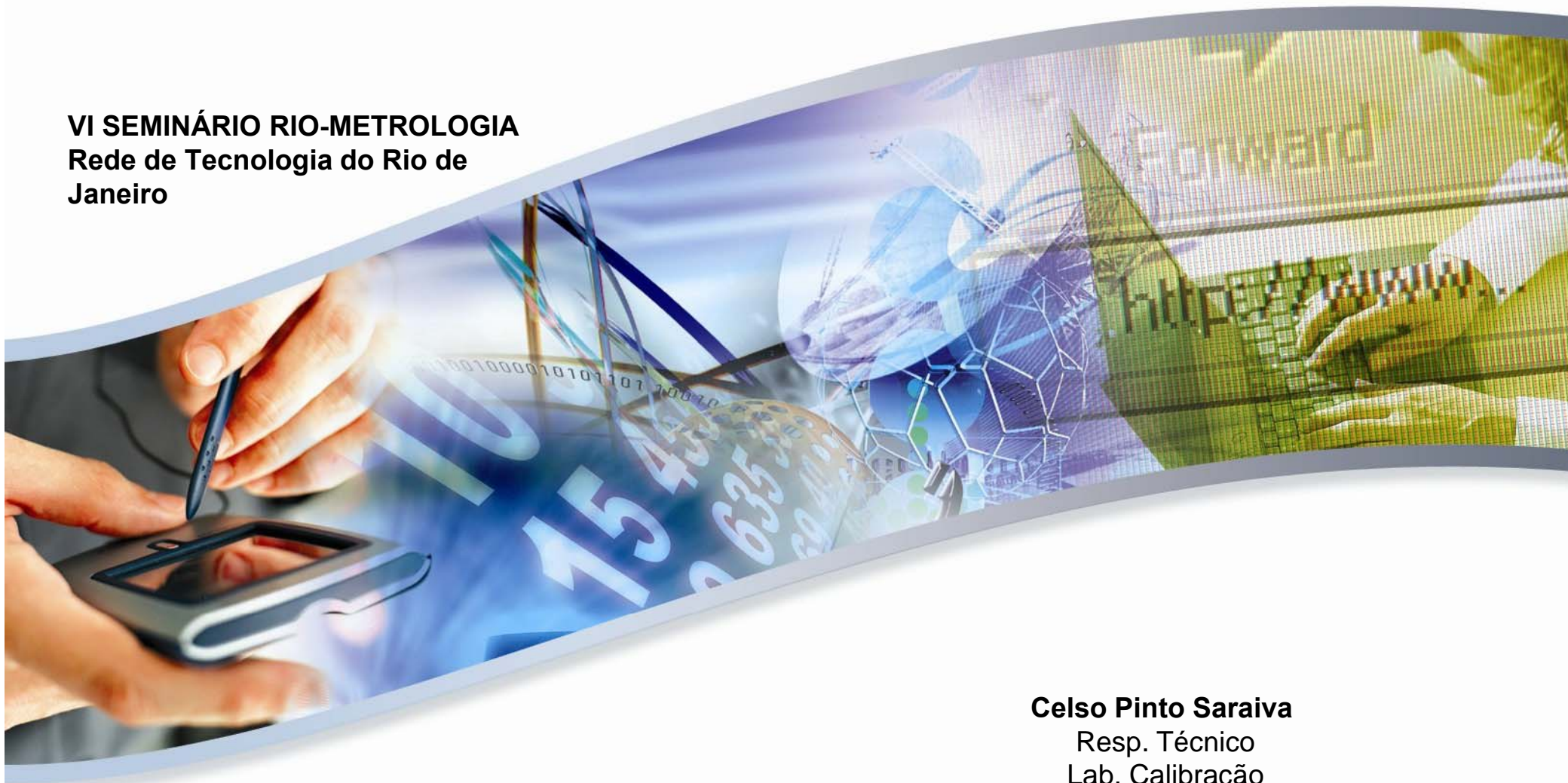


Otimização da Periodicidade da Calibração



VI SEMINÁRIO RIO-METROLOGIA
Rede de Tecnologia do Rio de
Janeiro



Celso Pinto Saraiva
Resp. Técnico
Lab. Calibração

03/09/2008

www.cpqd.com.br



O conceito de Variação



- ❖ ***“O estado de controle estatístico não é um estado natural para os processos de produção. Muito pelo contrário, é uma meta a ser alcançada pela eliminação, uma a uma, das causas especiais de variação, como resultado de muito esforço e determinação.”***

W. Edwards Deming

- ❖ ***“Se eu tivesse de resumir toda a minha mensagem em poucas palavras, eu diria: reduza a variação.”***

W. Edwards Deming

- ❖ ***“O problema central na administração e na liderança é o não entendimento das informações contidas na variabilidade dos processos.”***

Lloyd S. Nelson

Seis fatores que contribuem para variações em processos:

Máquinas
étodos
ateriais
eio ambiente
ão de obra
edições



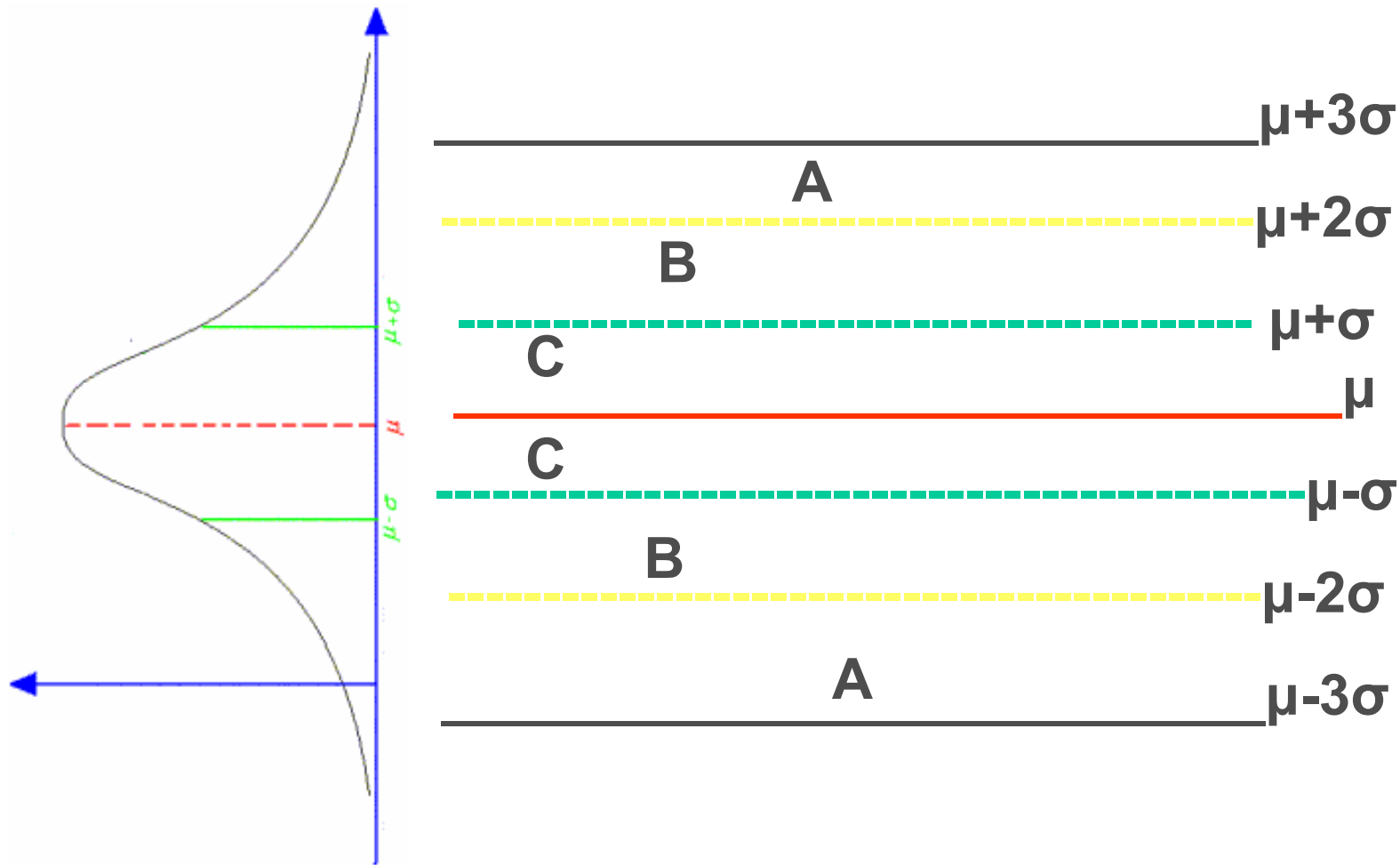
Cartas de Controle



- ❖ **Em Processos sob controle, sem erros grosseiros nem sistemáticos, a distribuição é normal, para observações individuais, e de Student, para médias.**
- ❖ **Constituídas normalmente de 3 linhas horizontais paralelas: média, três desvios padrão acima e três desvios padrão abaixo.**
- ❖ **Limite Superior de Controle (LSC)= $\mu + 3\sigma$**
- ❖ **Limite Inferior de Controle (LIC)= $\mu - 3\sigma$**

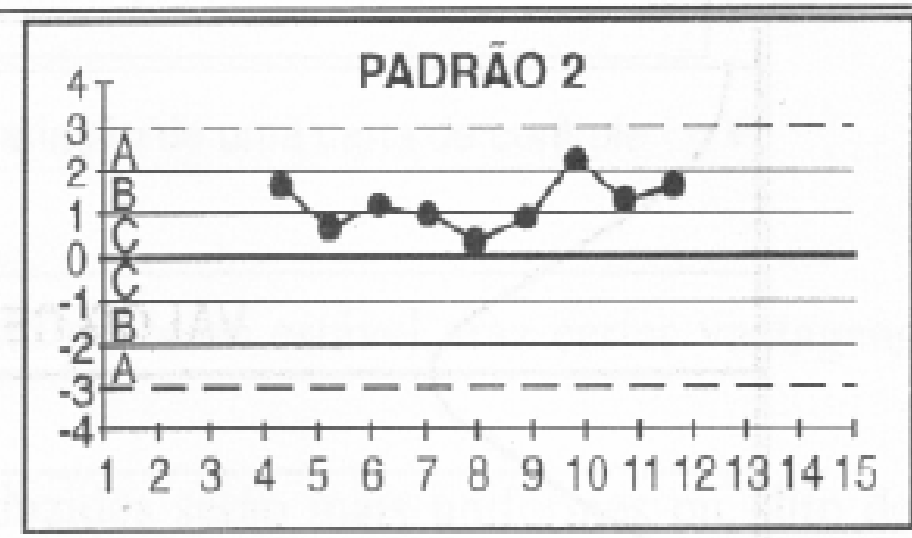
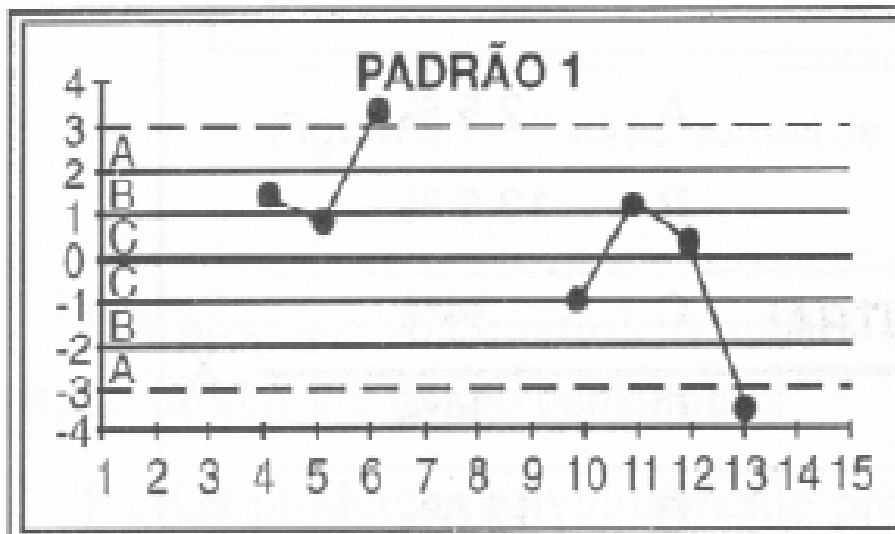
- ❖ **Entre limites deverão cair 99,73% de todos os valores individuais observados (se processo for estável)**

Cartas de controle por médias



- ❖ **Carta de controle de medidas ou Carta de SHEWART**
- ❖ **Cartas de controle à médias móveis com ponderação exponencial - Carta EWMA**
- ❖ **Cartas de controle de somas acumuladas - carta CUSUM**

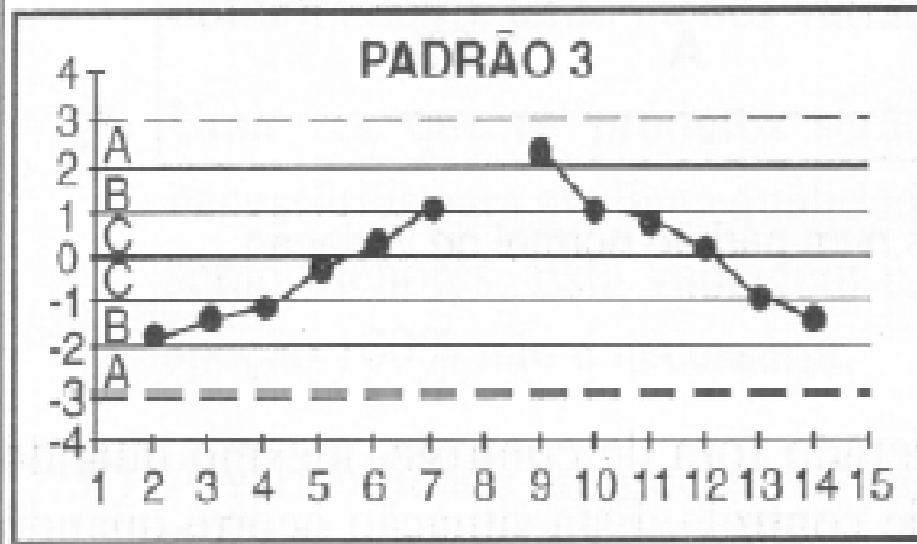
Padrões anormais em Cartas de Controle (Súmula de Nelson L. - 1985)



Padrão 1: Um único ponto além da zona A (acima do LSC ou abaixo do LIC).

Padrão 2: Nove pontos consecutivos de um mesmo lado do valor central, todos os nove pontos acima ou todos abaixo da linha central.

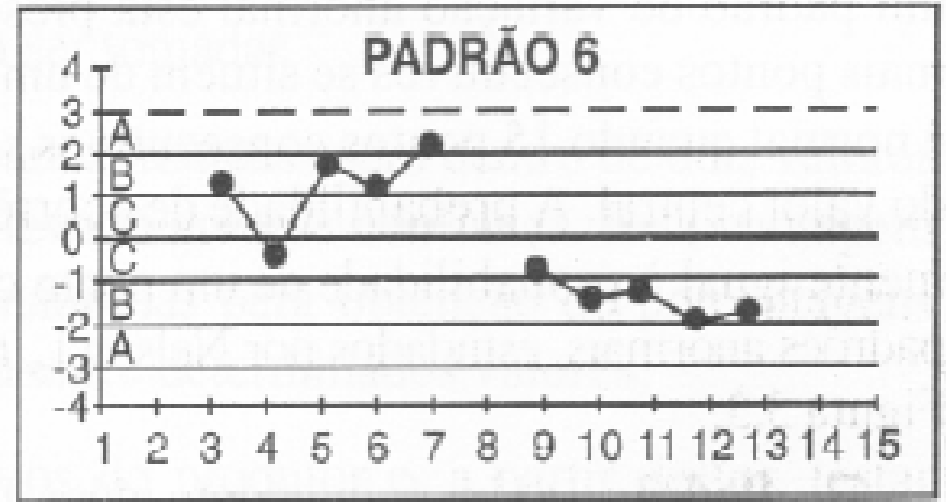
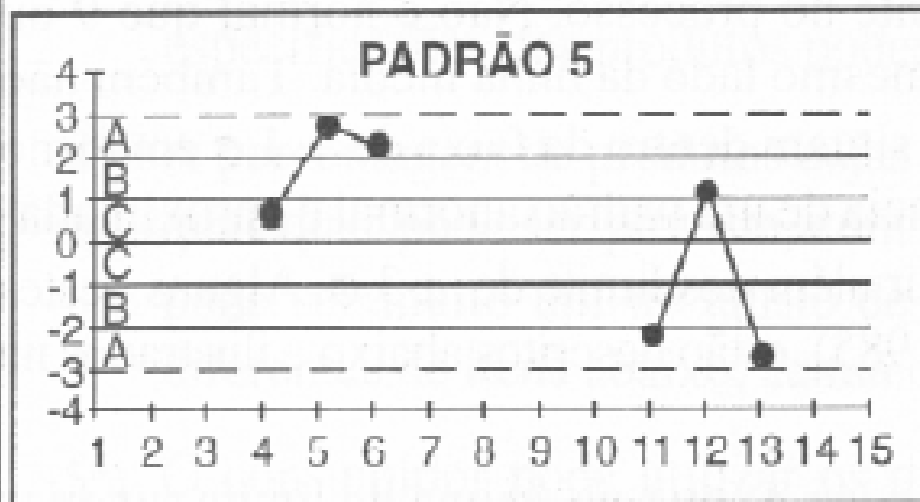
Padrões anormais em Cartas de Controle (Súmula de Nelson L. - 1985)



Padrão 3: Seis pontos consecutivos ascendentes ou descendentes, no gráfico;

Padrão 4: Quatorze pontos consecutivos alternando-se para cima e para baixo, no gráfico;

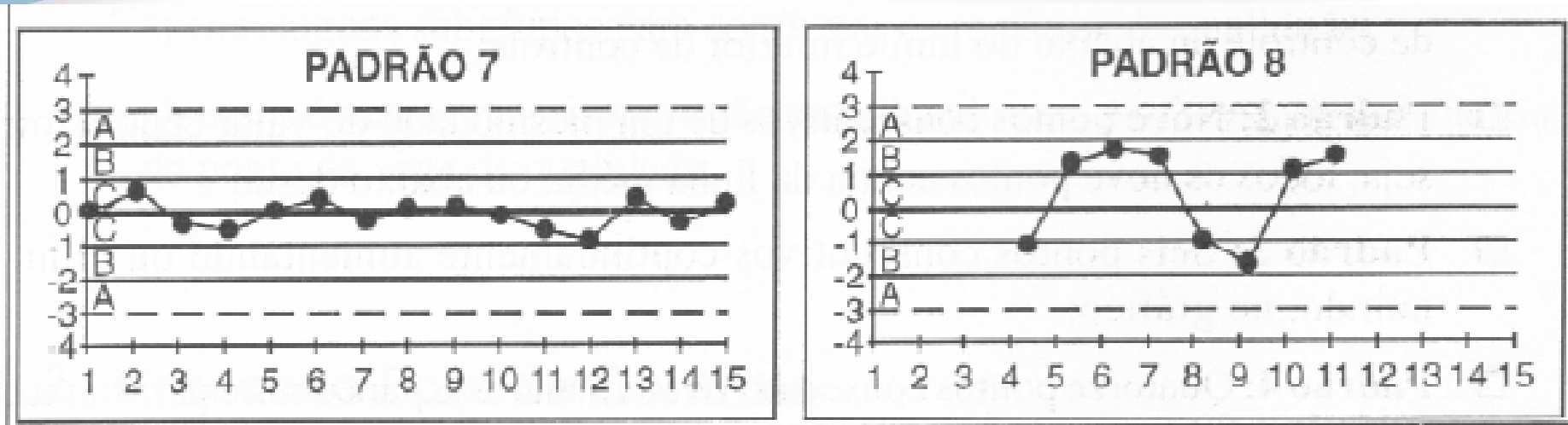
Padrões anormais em Cartas de Controle (Súmula de Nelson L. - 1985)



Padrão 5: Dois em três pontos consecutivos, situados na mesma zona A do gráfico;

Padrão 6: Quatro em cinco pontos consecutivos situados nas zonas A ou B de um mesmo lado do gráfico;

❖ Padrões anormais em Cartas de Controle (Súmula de Nelson L. - 1985)



Padrão 7: Quinze pontos consecutivos situados nas zonas C (acima ou abaixo da linha central);

Padrão 8: Oito pontos consecutivos de ambos os lados da linha média, com nenhum situado na zona C

- Média de uma ocasião, com n repetições:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

onde x_1, x_2, \dots, x_n são os valores obtidos nas n repetições

- Grande média ou média das k médias amostrais:

$$\bar{\bar{x}} = \frac{\bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \dots + \bar{x}_k}{k}$$

onde $\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_k$ são as médias das k ocasiões

- Amplitude de uma ocasião:

$$R = x_{\text{maior}} - x_{\text{menor}}$$

- Amplitude média das k ocasiões:

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_k}{k}$$

- Limites de controle da média (LCI e LCS):

$$LC = \bar{\bar{x}} \pm A_2 \bar{R}$$

onde A_2 é um coeficiente tabelado em função do número de repetições n .

- Limites de controle da amplitude

$$\text{LCI da amplitude} = D_3 \bar{R}$$

e

$$\text{LCS da amplitude} = D_4 \bar{R}$$

onde D_3 e D_4 são coeficientes tabelados em função do número de repetições n .

❖ Cálculo dos Limites de Controle



Fatores para gráficos de controle

n (repetições por subgrupo)	A_2	D_3	D_4
2	1,880	0,000	3,267
3	1,023	0,000	2,574
4	0,729	0,000	2,282
5	0,577	0,000	2,114
6	0,483	0,000	2,004
7	0,419	0,076	1,924
8	0,373	0,136	1,864
9	0,337	0,184	1,816
10	0,308	0,223	1,777
11	0,285	0,256	1,744
12	0,266	0,283	1,717
13	0,249	0,307	1,693
14	0,235	0,328	1,672
15	0,223	0,347	1,653

Fonte: ISO 8258: 1991 / Technical Corrigendum 1: 1993.
Shewhart control charts

∴ Cartas de Controle para medidas individuais



Amostras de tamanho 1 ocorrem tipicamente onde:

- ❖ **Tecnologia de inspeção e medição é automática;**
- ❖ **Tempo de medição é muito grande;**
- ❖ **Medições ou ensaios destrutivos;**
- ❖ **Taxa de produção é muito lenta;**
- ❖ **Várias medições de diversos parâmetros são tomadas em uma mesma unidade do produto.**

Nestes casos, o gráfico de controle para unidades individuais é útil



Cartas de Controle para medidas individuais



$$MR_i = |x_i - x_{i-1}|$$

Gráfico de controle da amplitude móvel

Linha Central: \overline{MR}

$$LIC = D_3 \overline{MR} = 0$$

$$LSC = D_4 \overline{MR} = (3,267) \cdot \overline{MR} \quad (\text{para } n=2, D_3 = 0 \text{ e } D_4 = 3,267, \text{ na tabela})$$

Gráfico de controle para as medidas individuais

$$LSC = \bar{x} + 3 \cdot \overline{MR} / d_2$$

$$\text{Linha Central} = \bar{x}$$

$$LIC = \bar{x} - 3 \cdot \overline{MR} / d_2$$

Para amplitudes móveis de $n=2$ observações (mais comum), $d_2 = 1,128$

∴ Carta de controle para acompanhamento de especificação de equipamento



- ❖ Valor central e limites de controle podem ser estabelecidos pelas especificações do equipamento sob controle.

Carta X

$$\text{LSC}_X = \bar{X}_0 + A\sigma$$

$$\text{LIC}_X = \bar{X}_0 - A\sigma$$

Carta R

$$\bar{R} = d_2 \sigma$$

$$\text{LSC}_R = D_2 \sigma$$

$$\text{LIC}_R = D_1 \sigma$$

onde A, D₁, D₂ e d₂ são tabelados em função do tamanho do subgrupo (número de repetições) e

$$6\sigma = (\text{LSE} - \text{LIE})$$

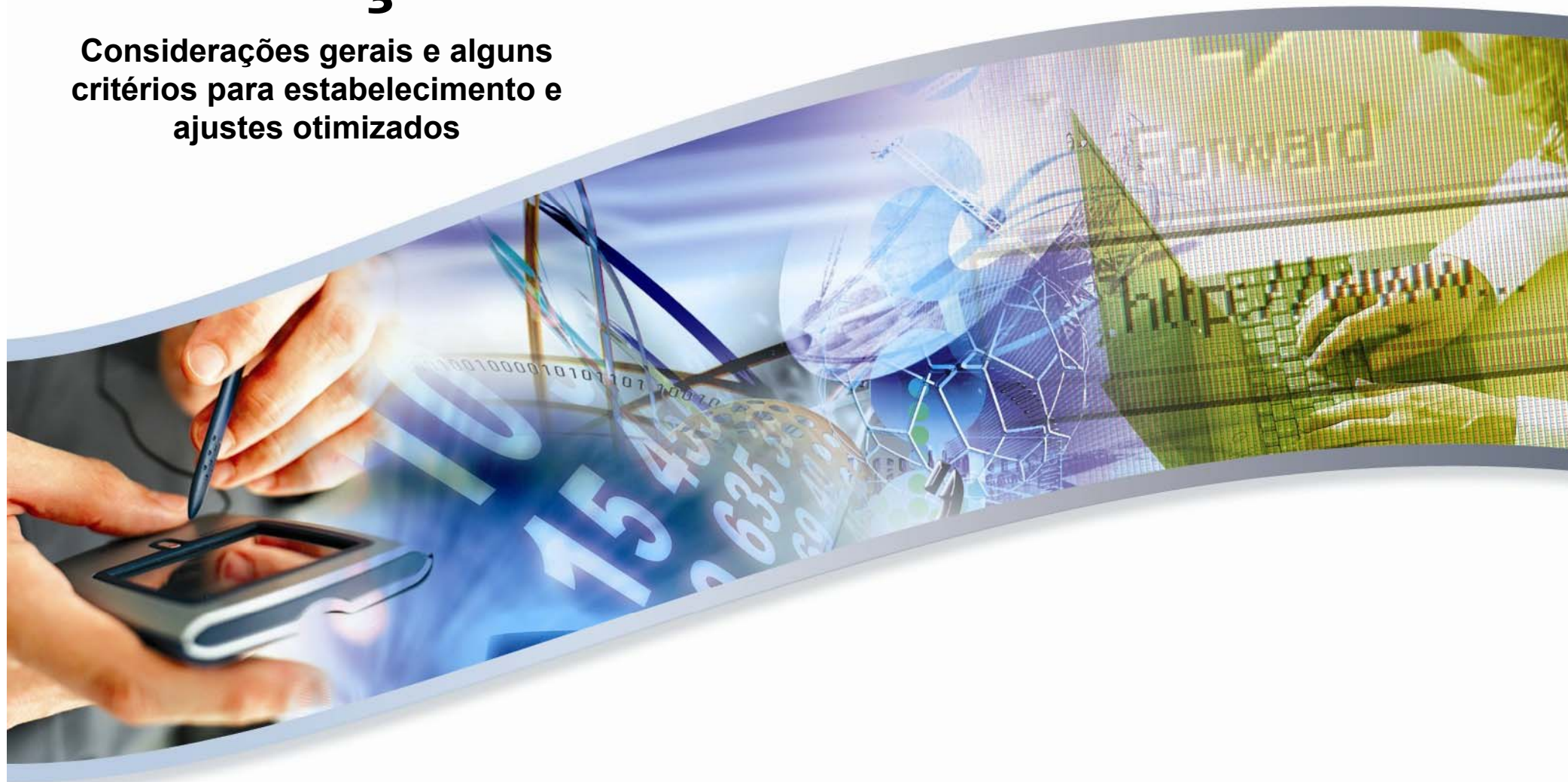
LSE= Limite Superior de especificação

LIE=Limite Inferior de Especificação

Periodicidade de Calibração



Considerações gerais e alguns critérios para estabelecimento e ajustes otimizados

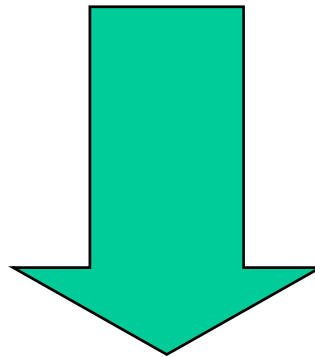




A Necessidade de Calibração Periódica



- ❖ Exigência de calibração periódica preconizada em todas as normas da qualidade (Série 9000, 17025, 10012,....)



- ❖ Diversos modelos para periodicidade nos últimos 20 anos



A necessidade de calibração periódica



- ❖ ABNT NBR ISO/IEC 17025:2005
- ❖ *Item 5.5.2: ...“Devem ser estabelecidos programas de calibração para as grandezas ou valores-chave dos instrumentos quando estas propriedades tiverem um efeito significativo sobre os resultados.”....*
- ❖ *Item 5.5.8: “Sempre que for praticável, todo o equipamento sob o controle do laboratório que necessitar de calibração deve ser etiquetado, codificado ou identificado de alguma outra forma, para indicar a situação de calibração, incluindo a data da última calibração e a data ou critério de vencimento da calibração.”*
- ❖ *Item 5.6.1 “Todo equipamento utilizado em ensaios e/ou calibrações, incluindo os equipamentos para medições auxiliares (por exemplo: condições ambientais), que tenha efeito significativo sobre a exatidão ou validade do resultado do ensaio, calibração ou amostragem, deve ser calibrado antes de entrar em serviço. O laboratório deve estabelecer um programa ou procedimento para a calibração dos seus equipamentos.”*

NOTA: Convém que tal programa inclua um sistema para seleção, uso, calibração, verificação, controle e manutenção dos padrões, dos materiais de referência usados como padrões e do equipamento de medição e de ensaio usado para realizar ensaios e calibrações.



A necessidade de calibração periódica

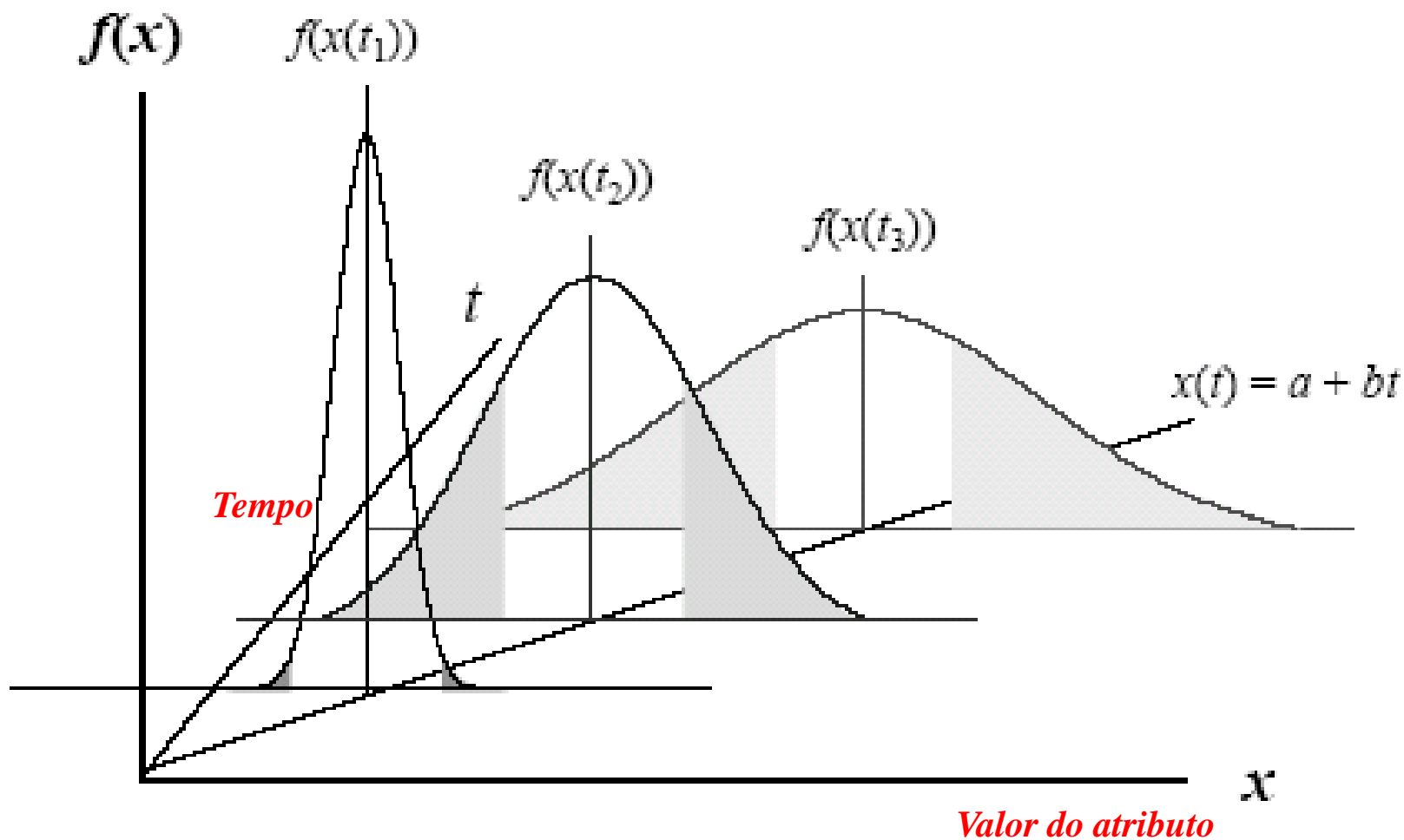


- ❖ ABNT NBR ISO 9001:2000

- ❖ *Item 7.6: ...“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 este padrão não existir, a base usada para calibração ou verificação deve ser registrada,*
 - b) *.....*
 - c) *.....*
 - d) *.....*
 - e) *.....*

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

⋮ **Visão estatística da necessidade de calibração periódica**



::: Quando fazê-lo ou com que frequência fazê-lo? Principais fatores a serem considerados:



- ❖ Incerteza de medição requerida ou declarada pelo laboratório;**
- ❖ Risco do instrumento de medição exceder os limites do erro máximo permissível quando em uso;**
- ❖ Custo da correção da medição necessária quando é descoberto que o instrumento não estava apropriado ao uso sobre um longo período de tempo.**
- ❖ Tipo de instrumento;**
- ❖ Tendência no uso e deriva;**
- ❖ Recomendações do fabricante;**
- ❖ Extensão e severidade do uso;**

::: Quando fazê-lo ou com que frequência fazê-lo? Principais fatores a serem considerados:



- ❖ Condições ambientais (condições climáticas, radiações ionizantes, ambiente eletromagnético, limpeza e contaminação, iluminação, etc.);**
- ❖ Dados obtidos de registros de calibrações anteriores;**
- ❖ Registros históricos de manutenção e de serviço;**
- ❖ Frequência de verificações cruzadas contra outros padrões de referência ou dispositivos de medição;**
- ❖ Frequência e qualidade das verificações intermediárias ao longo do tempo;**
- ❖ Arranjos no transporte e riscos associados; e**
- ❖ Grau pelo qual o pessoal de serviço é treinado.**



(Calibration System Requirements)

“equipamentos e padrões devem ser calibrados a intervalos periódicos para garantir níveis aceitáveis de exatidão e confiabilidade, onde confiabilidade é definida como a probabilidade que um ítem de MTE permanecerá dentro de sua tolerância durante todo um intervalo de tempo especificado.”



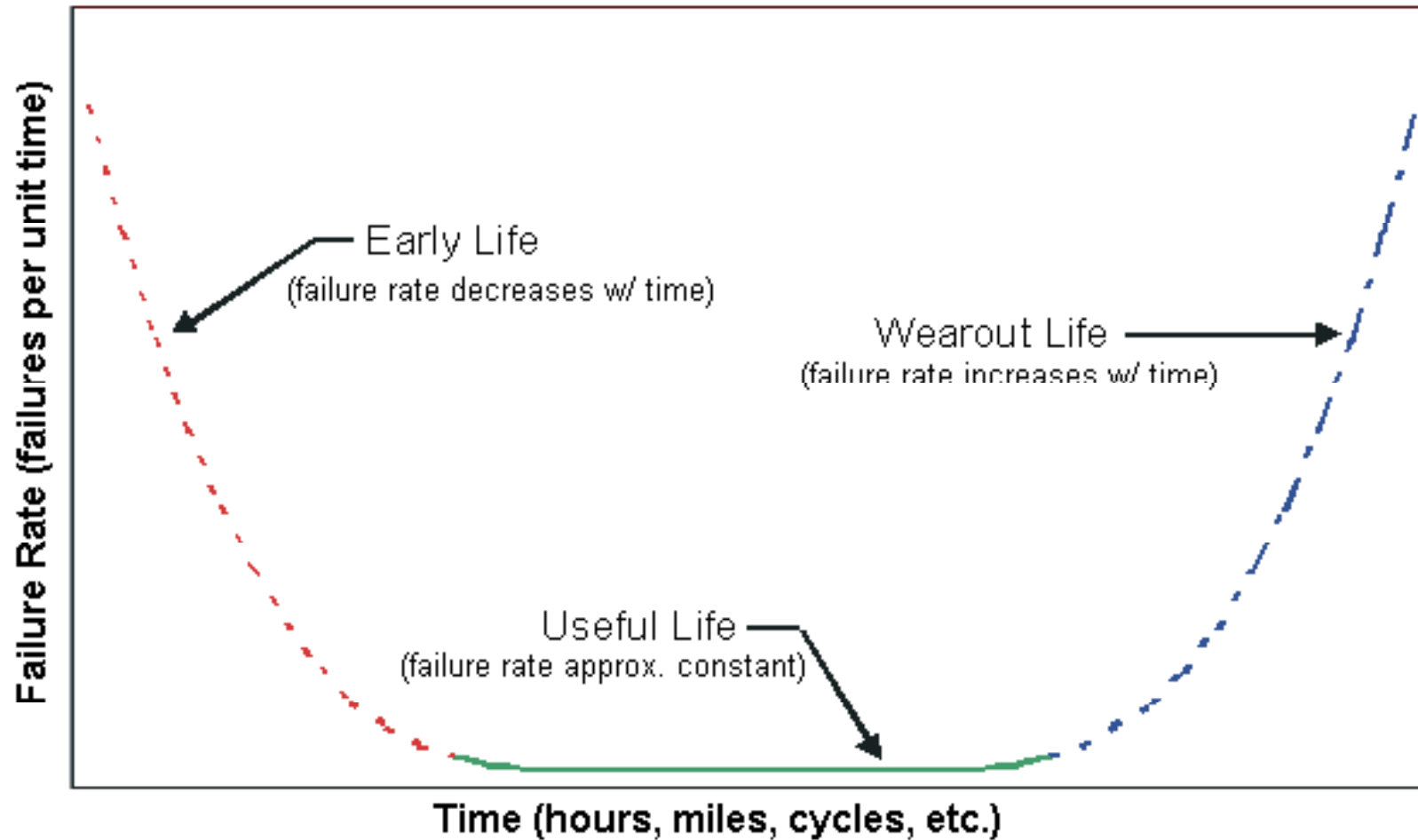
Objetivos da análise de periodicidade de calibração



- ❖ **Correspondência biunívoca entre o intervalo de calibração de um ítem e a probabilidade que um ou mais de seus atributos sejam usados fora da tolerância.**
- ❖ **O principal objetivo da análise de intervalos é REDUZIR A PROBABILIDADE DO USO DE ATRIBUTOS FORA DE TOLERÂNCIA A UM NÍVEL ACEITÁVEL.**
- ❖ **Norma MIL-STD 45662A /1988 trata a questão pela teoria da Confiabilidade (Reliability)**



A teoria da confiabilidade: “Curva da banheira” para instrumentos:





- ❖ **Independente dos intervalos determinados para calibração, o laboratório deve ter um sistema apropriado para assegurar o adequado funcionamento e situação da calibração dos padrões e instrumentos de medição empregados entre calibrações (cf. itens 5.5.10 e 5.6.3.3 da ABNT NBR ISO/IEC 17025:2005).**



Fixação da periodicidade inicial



- ❖ Recomendações do fabricante do equipamento;
- ❖ Severidade do uso;
- ❖ Influência do ambiente;
- ❖ Incerteza mínima requerida na medição;
- ❖ Máximo erro permissível ou fixado em regulamentação específica / metrologia legal;
- ❖ Ajuste de (ou mudança em) instrumento individual;
- ❖ Influência da grandeza medida; e
- ❖ Dados publicados ou agrupados do mesmo dispositivo ou similar;
- ❖ A decisão deve ser tomada por pessoa ou pessoas com experiência geral da medição ou do instrumento particularmente sob calibração, e preferencialmente também com conhecimento de intervalos usados por outros laboratórios.



Métodos de revisão de intervalos de calibração



- ❖ Intervalo Geral
- ❖ Intervalo “Emprestado”
- ❖ Análise de Engenharia
- ❖ Métodos Reativos
- ❖ Estimadores Estatísticos

(Fonte: Publicações NSCL)



Método do Intervalo Geral



- ❖ Normalmente aplicável a pequenos acervos homogêneos
- ❖ Geralmente dissociados de medições relacionadas à análise de riscos
- ❖ Também aplicável para estabelecimento do período inicial para novos ítems de grandes acervos



Intervalo “Emprestado”



- ❖ **Pré-requisitos para adoção:**
 - ❖ **Mesmo nível de confiabilidade**
 - ❖ **Abrangência dos procedimentos de calibração**
 - ❖ **Condições de uso**
 - ❖ **Manuseio**
 - ❖ **Ambiente**

- ❖ **Podem ser adaptados por julgamento de engenharia ou por correções matemáticas**



- ❖ **R1 – Resposta Simples : Ajustados a cada calibração (por vezes duas ou três).**
- ❖ **R2 – Resposta Incremental : Compensa o Método R1 em caso de ajustes.**
- ❖ **R3 – Intervalo de Teste : Ajustados apenas se resultados acumulados de calibração não são consistentes com expectativas (consistência estatística).**

⋮ Aplicações

Método R1 - Resposta simples



- ❖ Periodicidade aumentada ou diminuída em função do histórico.
- ❖ São os mais simples algoritmos em uso.
- ❖ Modelos mais comuns:
 - ❖ Modelo A1 – Um intervalo é incrementado por uma quantidade a se equipamento é recebido na tolerância, e reduzido em uma quantidade b se recebido fora da tolerância (na calibração)
 - ❖ Métodos de simulação apresentados por Jackson e Castrup mostram confiabilidade de aproximadamente 95% quando $a=0,1$ e $b=0,55$



Aplicações Modelo A1



- ❖ Exemplo: Equipamento com periodicidade anual (12 meses) sob controle metrológico nos últimos 5 anos (histórico consistente de “dentro da tolerância”).

Intervalo atual	Situação na calibração	Próximo intervalo
12 meses	Na tolerância	$12 \times 1,1 = 13$ meses
	Fora de tolerância	$12 \times 0,55 = 7$ meses
13 meses	Na tolerância	$13 \times 1,1 = 14$ meses
	Fora de tolerância	$13 \times 0,55 = 7$ meses
7 meses	Na tolerância	$7 \times 1,1 = 8$ meses
	Fora de tolerância	$7 \times 0,55 = 4$ meses



Exemplo geral de aplicação Modelo A1



Intervalo atual (dias)	Intervalo sugerido pelo Método	
	Aumentar para: (dias)	Reduzir para: (dias)
35	39	19
70	77	39
105	116	58
140	154	77
175	193	96
210	231	116
245	270	135
280	308	154
315	347	173
350	385	193



Modelo A2



- ❖ **Como no método anterior, este também é definido em função da conformidade do instrumento.**
- ❖ **Utiliza-se um plano de ajuste, levando-se em consideração a amplitude da variação dos desvios encontrados fora da tolerância (NCSL,1989; TAMS,1986).**
- ❖ **São utilizados três códigos para identificar o grau de especificação dos desvios encontrados, sendo eles, 0, 1 e 2.**
- ❖ **Para um nível de confiança de aproximadamente 90% o intervalo de calibração é ajustado conforme fator tabelado.**

❖ Código e fator para ajuste de intervalo pelo Modelo A2

Código	Descrição	Fator
0	Para instrumentos que apresentam desvios dentro das especificações.	+ 1.81 %
1	Para instrumentos que apresentam desvios fora das especificações, apresentando valores menores que duas vezes suas especificações.	- 12.94 %
2	Para instrumentos que apresentam desvios fora das especificações, apresentando valores maiores que duas vezes suas especificações.	- 20.63 %



Modelo A3



- ❖ O intervalo é ajustado após a consideração do status do instrumento apresentado na última calibração e nas duas calibrações anteriores.
- ❖ Através de uma classificação dos valores que estão dentro e fora das especificações, se analisa e se estabelece o ajuste dos períodos em intervalos semanais (NCSL, 1989).
- ❖ A tabela 03 apresenta as ações a serem realizadas no estabelecimento do ajuste do intervalo de calibração, onde a periodicidade poderá continuar a mesma, aumentar, reduzir ou reduzir drasticamente.
- ❖ A tabela 04 mostra os valores para aplicação deste método.

⋮ Tabela 03: Ações para estabelecimento do ajuste do intervalo de calibração pelo Modelo A3



Ação	Status das calibrações		
	Atual	Ultima	Anterior
Continuar	in	new	
	in	out	new
	in	out	in
	in	in	out
	in	out	out
	out	new	
	out	in	new
	out	in	In
Aumentar	in	in	new
	in	in	in
Reduzir	out	in	out
Redução Drastica	out	out	new
	out	out	in
	out	out	out

onde: "in" (dentro da Tolerância) , "out"(fora da tolerância) e "new" (instrumento novo)

❖ Tabela 04: valores para aplicação do modelo A3



Intervalo atual (dias)	Intervalo sugerido pelo Método		
	Aumentar para: (dias)	Reduzir para: (dias)	Reduzir drasticamente para: (dias)
35	70	35	35
70	105	35	35
105	140	70	70
140	210	105	70
175	245	140	105
210	315	175	105
245	350	210	140
280	420	245	140
315	420	280	175
350	525	315	175

⌘ Ajustes pela Matriz de Schumacher (caso particular do modelo A3)



❖ Etapa 1 – Codificação na calibração:

F – Fora de especificações

A – Avariado

C – Conforme (dentro das especificações)



Matriz de Schumacher



❖ Etapa 2 – Classificação da periodicidade

Ciclos Anteriores	CODIFICAÇÃO NO RECEBIMENTO		
	A	F	C
CCC	P	D	E
FCC	P	D	P
ACC	P	D	E
CF	M	M	P
CA	M	M	P
FC	P	M	P



Matriz de Schumacher



❖ Etapa 3 – Novos Ciclos (Tabela Parcial)

Ciclo Anterior	NOVO CICLO (EM SEMANAS)			
	D	E	P	M
5	4	7	5	--
6	5	8	6	5
8	7	10	8	5
10	9	13	10	6
12	11	15	12	7



Melhores momentos do

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)

❖ Método 1 – Ajuste Automático ou “staircase” (tempo calendário)



- ❖ Toda vez que um instrumento é calibrado na rotina básica, o intervalo subsequente é estendido se ele é encontrado, por exemplo, dentro de 80% do erro máximo requerido para a medição, ou reduzido se ele é encontrado estar fora deste erro máximo permissível. Este “formato de escada” na resposta pode produzir um rápido ajuste de intervalos e é facilmente implementável.
- ❖ Quando registros são mantidos e usados, poderá ocorrer dificuldade com um grupo de instrumentos que indicam a necessidade de uma modificação técnica, ou manutenção preventiva.
- ❖ Uma desvantagem de sistemas que tratam instrumentos individualmente pode ser a dificuldade de manter a carga de trabalho de calibração uniforme e equilibrada, e que requer planejamento avançado detalhado.
- ❖ Pode ser impróprio conduzir um intervalo a extremos usando este método. O risco associado com um grande número de certificados emitidos ou re-emitidos pode tornar o método inaceitável.



Método 2 – Carta de Controle (tempo calendário)



- ❖ **Carta de Controle é uma das ferramentas mais importantes de Controle de Qualidade Estatístico e está bem descrita em publicações especializadas.**
- ❖ **Pontos de calibração significantes são escolhidos e os resultados são plotados no tempo. Destes pontos, a dispersão de resultados e a deriva são calculados, a deriva de um ou mais de um intervalo de calibração, ou no caso de instrumentos muito estáveis, a deriva sobre vários intervalos.**
- ❖ **Destas figuras, o intervalo ótimo pode ser calculado.**
- ❖ **Este método é difícil aplicar (na realidade é muito difícil de aplicar no caso de instrumentos complexos) .**
- ❖ **Requer conhecimento considerável da lei de variabilidade do instrumento, ou instrumentos semelhantes.**
- ❖ **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.**



Método 3 – Tempo em uso



- ❖ Esta é uma variação dos métodos precedentes. O método básico se mantém inalterado mas o intervalo de calibração é expresso em horas de uso, em lugar de meses civis.
- ❖ O instrumento é instalado com um indicador de tempo decorrido e é encaminhado para calibração quando o indicador alcançar um valor especificado.
- ❖ Exemplos de instrumentos são termopares, usados a temperaturas extremas, dispositivos de peso morto para gás, pressão, padrões de comprimento (i.e. instrumentos que podem estar sujeito a uso mecânico).
- ❖ A importante vantagem teórica deste método é que o número de calibrações executadas e o conseqüente custo de calibração variam diretamente com o lapso de tempo que o instrumento é usado.
- ❖ Além disso, esta é uma verificação automática em utilização do instrumento.



Método 3 – Tempo em uso



Principais desvantagens práticas deste método:

- **não pode ser usado com instrumentos passivos (por exemplo atenuadores) ou padrões (resistência, capacitância, etc.);**
- **não deveria ser usado quando um instrumento deriva ou deteriora quando na estante,**
- **o custo inicial da provisão e instalação de cronômetros satisfatórios é alto, e a não ser que os usuários possam interferir com eles, supervisão pode ser requerida e que aumentará custos;**
- **é até mesmo mais difícil de alcançar um fluxo contínuo de trabalho do que com os métodos anteriores, pois o laboratório não tem nenhum conhecimento da data na qual o intervalo de calibração terminará.**

❖ Método 4 – Verificação em serviço ou “caixa preta”



- ❖ Variação dos métodos 1 e 2, particularmente satisfatório para instrumentos complexos ou consoles de teste.
- ❖ Frequentemente são verificados parâmetros críticos (uma vez por dia ou até mais frequentemente) por dispositivo portátil de calibração, ou preferivelmente, por uma “caixa preta”, feita especificamente para conferir os parâmetros selecionados.
- ❖ Se o instrumento é encontrado fora do máximo erro permissível pela “caixa preta”, é devolvido para uma calibração completa.
- ❖ A vantagem principal deste método é que provê máxima disponibilidade para o usuário de instrumento, sendo muito satisfatório para instrumentos separados geograficamente do laboratório de calibração.

❖ Método 4 – Verificação em serviço ou “caixa preta”



- ❖ A dificuldade deste método está na decisão sobre os parâmetros críticos e no projeto da “caixa preta.”
- ❖ Embora teoricamente o método seja muito seguro, isto é ligeiramente ambíguo, desde que o instrumento pode estar falhando em algum parâmetro não medido pela “caixa preta”.
- ❖ Além disso, as características da “caixa preta” podem não permanecer constante.
- ❖ Exemplos de instrumentos satisfatórios para este método são medidores de densidade (ressonância); termômetros de termoresistência Pt (em combinação com métodos de tempo-calendário); dosímetros (fonte inclusa); e medidores de nível sonoro (fonte inclusa).



Método 5 – Outras aproximações estatísticas



- ❖ Métodos baseados em análise estatística de um instrumento individual ou de um tipo de instrumento também podem ser um possível enfoque.
- ❖ Estes métodos estão ganhando interesse cada vez mais, especialmente quando usados em combinação com ferramentas de software adequadas.
- ❖ Um exemplo de uma ferramenta de software e sua matemática de fundo é descrito por A. Lepek.
- ❖ Quando grandes números de instrumentos idênticos (i.e. grupos de instrumentos) serão calibrados, os intervalos de calibração podem ser revisados com a ajuda de métodos estatísticos. Exemplos detalhados podem ser descritos, por exemplo, no trabalho de L.F. Pau.



TABLE 6.1
Calibration Interval Key Ideas

Measurement Reliability

- *Probability that a TME parameter is in-tolerance*

Measurement Reliability Targets

- *Percent in-tolerance objectives for TME parameters*

Goals of Optimal Calibration Intervals

- *Establish recalibration schedules that ensure that measurement reliability targets are maintained*
- *Determine intervals in the shortest possible time at minimum **expense** and minimum negative impact on resources*

The Out-of-Tolerance Process

- *Out-of-tolerances occur as random events*
- *The uncertainty growth process governs the rate of these occurrences*
- *The uncertainty growth process can be described as a time series*
- *The out-of-tolerance process is modeled using time series analysis*

Measurement Reliability Modeling

- *Represent the time series with mathematical reliability models*
- *Construct the likelihood functions*
- *Obtain maximum likelihood estimates of reliability **model** coefficients (analyze the time series to infer the uncertainty growth process)*
- *Select the appropriate reliability model*

Calibration Interval Estimation

- *Set the reliability model equal to the reliability target and solve for the **interval***



TABLE 6.3 **The Calibration Interval Process**

Determine end item performance tolerances in terms of acceptable end item attribute values.

Determine TME parameter tolerances that correspond to acceptable test process uncertainty.

Determine appropriate measurement reliability targets for TME parameters.

*Collect data on **TME parameters** to provide visibility of the uncertainty growth process.*

*Determine reliability models and coefficients **using maximum likelihood estimation methods.***

Identify the TME parameter uncertainty growth process. Select the appropriate measurement reliability model.

Compute calibration intervals commensurate with appropriate measurement reliability targets.



Bibliografia



- ❖ [1] ABNT NBR ISO/IEC 17025:2005 – Requisitos Gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração
- ❖ [2] ABNT NBR ISO 10012-1, Edição:1992-01 – Requisitos para garantia da qualidade para equipamentos de medição; Gestão de equipamentos de medição.
- ❖ [3] Montgomery, D. C.: Introduction to Statistical Quality Control, John Wiley & Sons, 4th ed., 2000
- ❖ [4] ANSI/ASQC B1-B3-1996: Quality Control Chart Methodologies
- ❖ [5] Methods of reviewing calibration intervals; Electrical Quality Assurance Directorate; Procurement Executive, Ministry of Defense; United Kingdom (1973)
- ❖ [6] Establishing and Adjustment of Calibration Intervals; NCSL Recommended Practice RP-1, 1996



Bibliografia



- ❖ [7] Pau, L.F.: **Périodicité des Calibrations**; Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications, Paris, 1978
- ❖ [8] Garfield, F.M.: **Quality Assurance Principles for Analytical Laboratories** AOAC Int., 3rd Edition, 2000
- ❖ [9] Lepek, A.: **Software for the prediction of measurement standards** NCSL International Conference, 2001
- ❖ [10] **ABNT NBR ISO 9001:2000/conf:2005 - Sistemas de gestão da qualidade - requisitos**
- ❖ [11] **Vocabulário internacional de termos fundamentais e gerais de metrologia (VIM), portaria Inmetro 029, de 10/03/1995**
- ❖ [12] **The Navy`s New Manufacturer Initial Calibration Interval System” – US Navy Publication**
- ❖ [13] **NASA Reference Publication: *Metrology — Calibration and Measurement Processes Guidelines***

Celso P. Saraiva
celso@cpqd.com.br
telefone: (19) 3705-4667



Obrigado!

