



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos

PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM MESTRADO PROFISSIONAL EM GESTÃO E INOVAÇÃO NA INDÚSTRIA ANIMAL

GIA 5016 – Qualidade e Segurança de Alimentos

CEP:

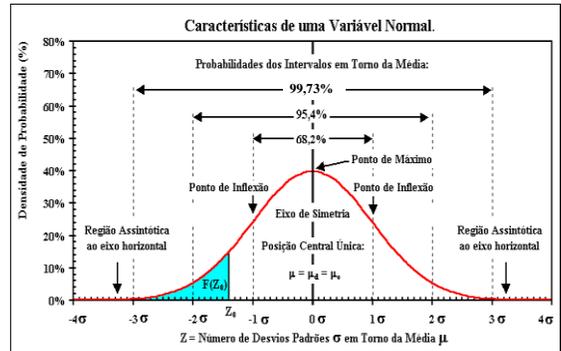


- 1) Cartas de Controle
- 2) Cartas por variáveis e por atributos
- 3) Capacidade do Processo

2S2019

Profa. Marta Mitsui Kushida

## DISTRIBUIÇÃO NORMAL DE PROBABILIDADE E SUA APLICAÇÃO NOS PROCESSOS DE QUALIDADE



Esta distribuição é especificada por dois parâmetros:  
1) sua **média** e 2) seu **desvio padrão**

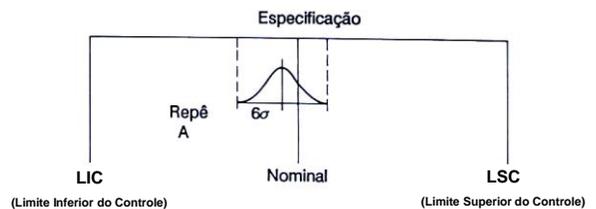
## Aplicação no processo decisório

- Repetitividade
- Reprodutibilidade
- Processo Centralizado (sob Controle)

**ESTUDO DE R&R!**

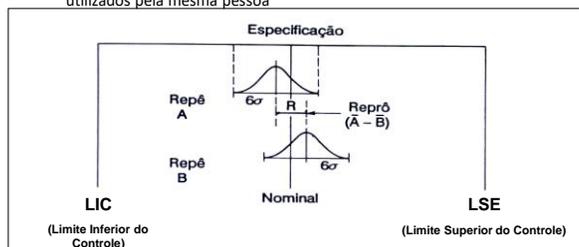
## Repetitividade

- **Definição**
  - É a **variação** resultante da incapacidade de um instrumento de medição de obter **repetidamente um mesmo resultado**, devido a inúmeros fatores que afetam esse processo e da incapacidade do inspetor de operar e ler o instrumento da mesma forma a cada vez.
- A sua variação,  $6\sigma$ , deve ser pequena quando comparada com a tolerância total: LSC – LIC.



## Reprodutibilidade

- **Definição**
  - É a **variação** dos resultados entre pessoas diferentes fazendo medição ou inspeção dos mesmos itens, usando os mesmos métodos ou equipamentos.
  - Também indica a variação entre instrumentos de medição idênticos, utilizados pela mesma pessoa

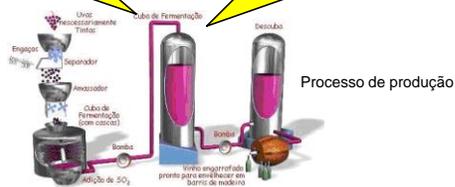


## DEFINIÇÃO DE GRÁFICO DE CONTROLE

## Gráficos de Controle

Evitar, reduzir ou eliminar não conformidades em tempo real!

parâmetros estatísticos: Média Estimada e a Variabilidade do processo



- Dados?
  - uma série de amostras pequenas ("subgrupos racionais")
- Porquê?
  - Estimar onde o processo está centralizado e quanto ele está variando em torno desse centro;

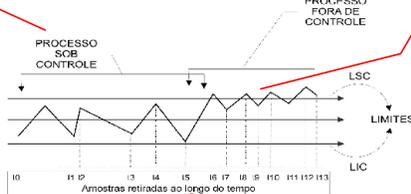
## Processo sob controle estatístico

Gráficos de Controle

Permite investigar o processo no momento que as influências estão agindo!

Processo sujeito somente a variação comum

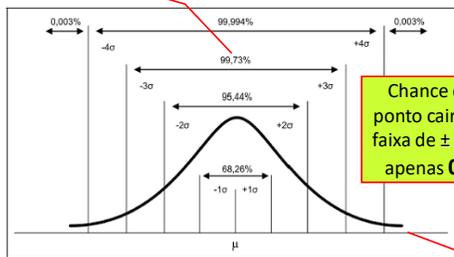
Investigação para eliminar as variações



Ações preventivas!

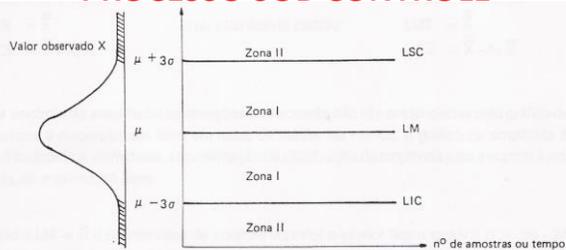
## PROCESSO SOB CONTROLE

Quando apresenta uma distribuição normal, com 99,73% dos valores dentro da faixa da média com  $\pm 3\sigma$



Chance de um ponto cair fora da faixa de  $\pm 3\sigma$  é de apenas 0,27%

## PROCESSO SOB CONTROLE



Então:

a média mais três desvios define o Limite Superior de Controle (LSC)  
 a média menos três desvios define o Limite Inferior de Controle (LIC),  
 a média é indicada pela linha central no gráfico de controle.

Benefícios: acompanhamento in "REAL TIME"

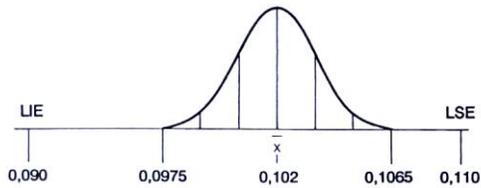


## Tipos de processo

## Processo Centralizado (sob controle)

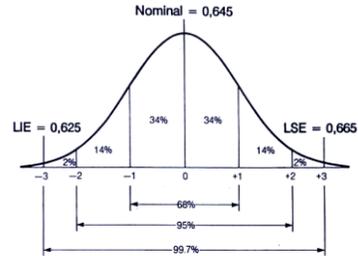
É aquele cujos resultados de medição apresentam variação dentro dos limites aceitáveis da amplitude da especificação.

Varição de um processo sob controle



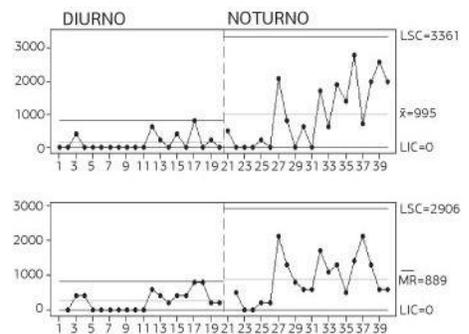
## Processo ideal

É aquele cujos resultados da medição apresentam a **amplitude** coincidente com a amplitude admissível da especificação



## VAMOS ENTENDER O QUE SÃO SUBGRUPOS RACIONAIS

## ANTES DE MAIS NADA É PRECISO ESTRATIFICAR



## SUBGRUPOS RACIONAIS

- Vencida a etapa inicial = temos um processo sob controle! – estável e ajustado.
- Para construir o gráfico precisa-se conhecer bem a variável aleatória X (sua variável de controle).
  - Ex.: volume de leite.



- Para isto deve-se conhecer:
  - A forma de sua distribuição (normal?? Ou não??)
  - Sua média ( $\mu$ )
  - Seu desvio padrão ( $\sigma$ )

## Oras...

- A média ( $\mu$ ) e o desvio padrão ( $\sigma$ ) da variável em estudo (parâmetros do processo) SÃO DESCONHECIDOS.
  - Precisamos estimá-los.
- Se **COM CERTEZA ABSOLUTA** sabemos que o processo permaneceu **sob controle** durante a coleta das amostras, então:
  - A média aritmética dos valores coletados  $\bar{X} = \mu$
  - A variância dos dados  $S^2 = \sigma^2$

**E na prática?**

**Não dá para ter certeza...**

- Então? = conceito de subgrupos racionais!

- Em que consiste?
  - Retirada de pequenas amostras em intervalos de tempos regulares!
    - Ex.: 4 a 5 amostras a cada 30 min.
- Cada subgrupo racional = unidades produzidas quase no mesmo instante!!!!

### Qual é o princípio?

- Se houver uma causa especial, dificilmente ela ocorrerá **durante** a formação do subgrupo.
- Minimiza-se a probabilidade de uma amostra ser formada por elementos de diferentes populações.

### Vamos a um exemplo:

- Processo sob controle:
  - Retirar 100 amostras de uma só vez?
  - NÃO!**
    - Retirar amostras menores, distanciadas no tempo.
    - Ex: 4 a 5 amostras a cada 30 minutos.
- Assim cada amostra ou **subgrupo racional** é constituído de unidades produzidas quase em um mesmo instante!

Ex.: 4 a 5 amostras a cada 30 min

**Exemplo:**

Subgrupo racional

subgrupo (i)	Elemento (j) do subgrupo (i)					$\bar{X}_i$	R <sub>i</sub>	S <sub>i</sub>
	X <sub>i1</sub>	X <sub>i2</sub>	X <sub>i3</sub>	X <sub>i4</sub>	X <sub>i5</sub>			
1	992,9	1006,7	1002,7	1005,4	998,3	1001,2	13,8	5,6
2	1001,3	995,3	999,0	999,1	996,5	998,2	6,0	2,4
3	1001,2	1001,4	999,0	997,8	994,2	998,7	7,2	2,9
4	993,3	1002,1	998,7	993,6	996,6	996,9	8,8	3,7
5	996,8	1006,4	1006,9	994,5	998,4	1000,6	12,4	5,7
6	1000,9	1004,2	999,2	997,8	997,9	1000,0	6,4	2,7
7	1000,2	1002,2	998,3	1006,4	1005,8	1002,7	8,1	3,5
8	1003,3	996,1	1000,5	995,2	1005,8	1000,2	10,6	4,6

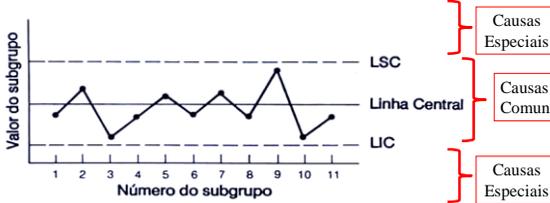
$\bar{X}_i$     $\bar{R}$

## CARTAS DE CONTROLE ou GRÁFICOS DE CONTROLE

Controle Estatístico de Processos

## Gráfico padrão

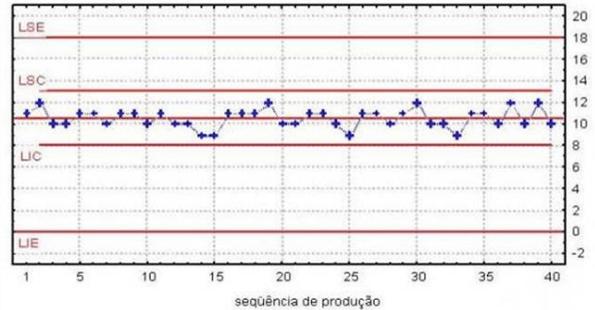
Gráfico de controle com linha central e com limites de controle



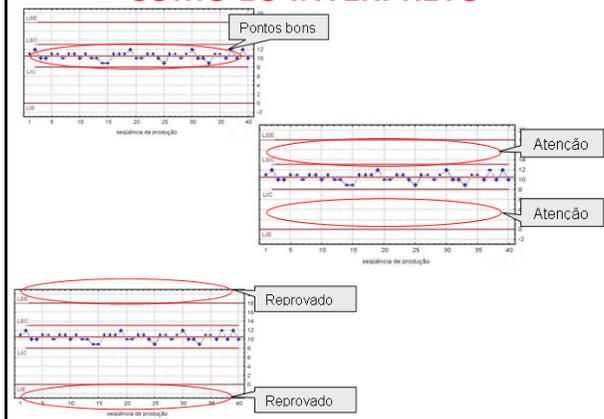
> **Eixo vertical:** medidas obtidas nos grupos coletados periodicamente

> **Eixo horizontal:** intervalo de tempo entre os grupos ou a sua sequência numérica

## EXEMPLO

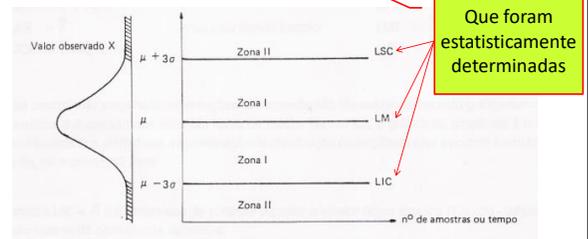


## COMO EU INTERPRETO

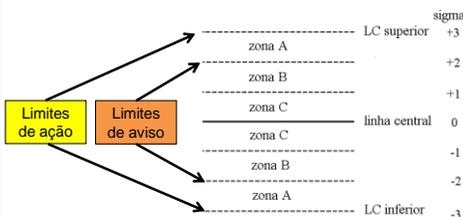


## Gráficos de Controle

- Faixa de tolerância limitada pela linha superior (LSC - limite superior de controle)
- Faixa de tolerância limitada pela linha inferior (LIC - limite inferior de controle) e
- uma linha média do processo (LM)



## Limites de controle e zonas A, B e C para um gráfico das médias.



• As linhas mais externas, situadas a  $\pm 3$  desvios padrão, são os limites de controle inferior e superior (LIC e LSC), chamados também de **limites de ação**.

• As linhas a  $\pm 2$  desvios padrão são chamadas de **limites de aviso**.

## GRÁFICOS DE CONTROLE - situações

1. Os **limites de controle** são calculados com dados do próprio processo = **é o que se consegue!**
2. As **especificações** são dadas a priori = **é o que se quer!**
3. Um processo pode estar **sob controle**, mas **fora da especificação**.

- A **carta de médias** mostra-nos se o **processo é tendencioso**
- A **carta de amplitude** mostra a **dispersão do processo** (diferença entre o maior e o menor valor da amostra).

## APLICAÇÕES DO GRÁFICO DE CONTROLE

### As aplicações fundamentais dos Gráficos de Controle são:

- 1a) **Verificar se em determinado período um processo estava sob controle.**
  - Isto é feito examinando-se o gráfico correspondente ao período de interesse.
- 2a) **Orientar a Administração na manutenção do processo sob controle.**
  - Se o processo está sob controle é possível ignorar a flutuação caótica das observações, exceto no caso de ser notado alguma observação fora dos limites de controle.
  - É claro que se deve olhar com atenção a ocorrência de uma tendência (um padrão) em alguma direção.
    - Isto é indicação de que alguma coisa além do acaso está influenciando o valor das observações.

### CARTA DE CONTROLE – como usar?

- **COLETA DE DADOS E CÁLCULO DOS LIMITES**
  - Calcula-se a média, o desvio-padrão e então os limites.
- **MONITORAMENTO**
  - Os dados continuam sendo coletados e plotados na carta de controle.
- **AValiação DA CAPACIDADE**
  - Estável x Instável
  - Capaz x Não Capaz
- **PROCEDIMENTO INTERATIVO DE MELHORIA**
  - Coleta de dados - Cálculo dos limites de controle - Avaliação da Estabilidade do Processo - Avaliação da capacidade do Processo - Ação no sistema (sobre causas comuns) - Ação local (sobre causas especiais) - Melhoria - Rotina

### EXEMPLOS DE SITUAÇÕES OPERACIONAIS

### INTERPRETANDO AS CARTAS!

Vamos agora ver uma série de cartas de controle, com exemplos de padrões para ajudar a realizar as análises:

### 4 FORMAS DE PROCESSO

MÉDIA fora de controle  
AMPLITUDE sob controle

MÉDIA sob controle  
AMPLITUDE fora de controle

MÉDIA fora de controle  
AMPLITUDE fora de controle

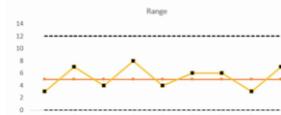
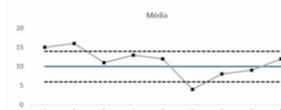
MÉDIA sob controle  
AMPLITUDE sob controle

PROCESSO FORA DE CONTROLE

PROCESSO CONTROLADO

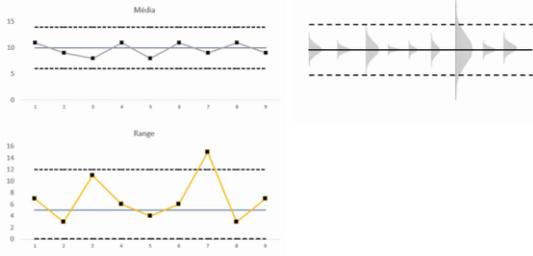
### CASO 1

MÉDIA fora de controle  
AMPLITUDE sob controle



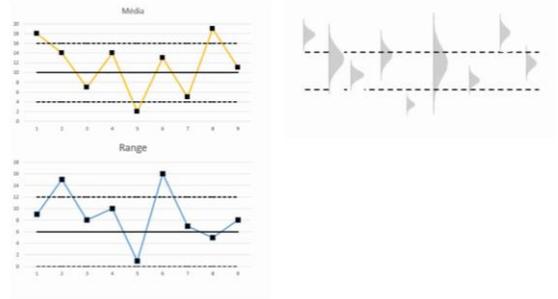
## CASO 2

MÉDIA sob controle  
AMPLITUDE fora de controle



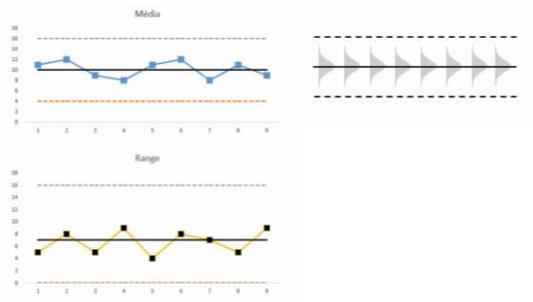
## CASO 3

MÉDIA fora de controle  
AMPLITUDE fora de controle



## CASO 4

MÉDIA sob controle  
AMPLITUDE sob controle



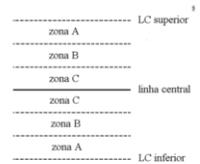
## INTERPRETAÇÃO DA CARTAS DE CONTROLE

### Sensibilidade dos gráficos de Shewhart

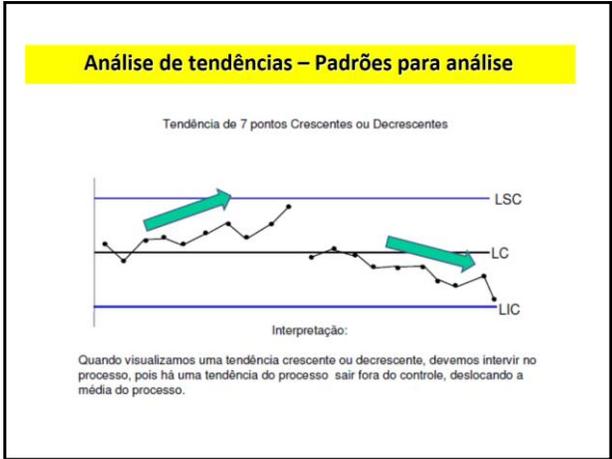
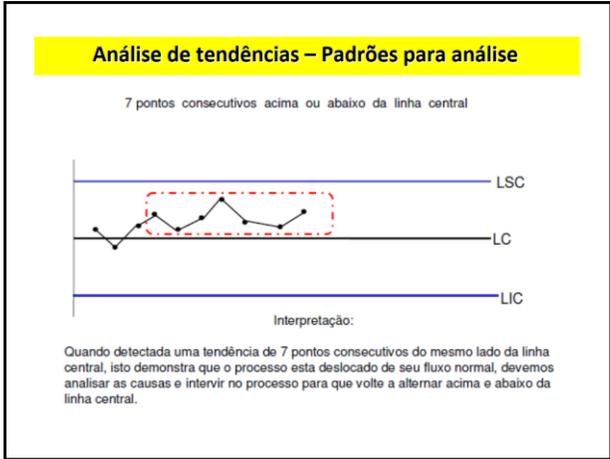
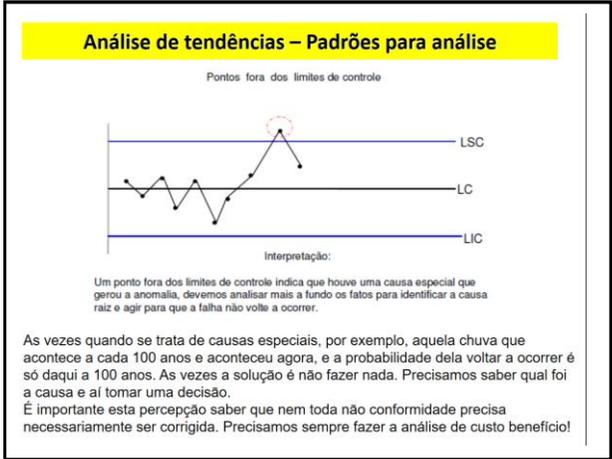
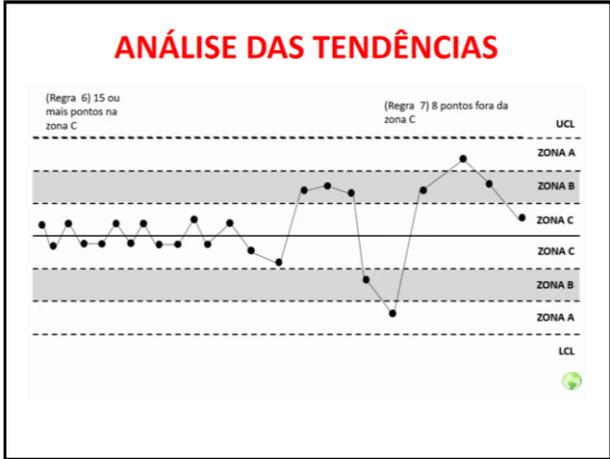
- A sensibilidade do gráfico na detecção de causa especial de erro depende do número de repetições dentro dos subgrupos racionais.
- Quanto maior for o  $n$ , maior será a sensibilidade.

### Interpretação da carta de Shewhart

- São evidências de perda de controle do processo.
  - um ponto além da zona A;
  - sequência de 9 pontos na zona C ou além, todos acima ou todos abaixo da linha central;
  - 6 pontos consecutivos ascendentes ou descendentes;
  - 4 pontos, numa sequência de 5, numa das zonas B ou além dela;
  - 8 pontos numa sequência além das zonas C (acima e abaixo da linha central).

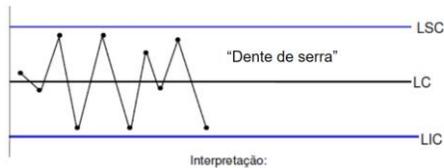


- A probabilidade de conseguirmos 5 pontos suscetíveis em um mesmo lado da linha central é :
  - $P = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = 1/32$
- Como essa probabilidade é normalmente baixa, as **seqüências de 5, 6 ou 7 pontos** indo para uma mesma direção devem ser **prontamente analisados**.



### Análise de tendências – Padrões para análise

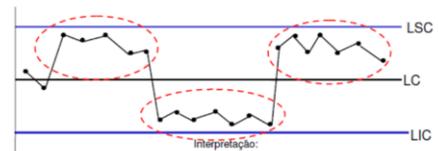
Pontos alternados entre os extremos dos limites de controle



Interpretação:  
Quando detectada uma variação grande e próxima aos limites de controle, devemos intervir no processo, analisando a causa raiz desta variabilidade, isto nos indica que o processo está com uma dispersão além do normal e caso não seja feito nada o processo ficará fora de controle.

### Análise de tendências – Padrões para análise

Ciclos

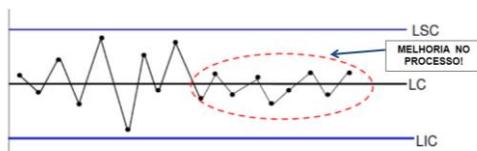


Interpretação:  
Quando detectado variações cíclicas, isso geralmente indica duas fontes de matéria prima, dependendo do tempo de coleta de dados, também, pode indicar turnos diferentes, operadores diferentes, neste caso devemos analisar a fundo os dados e padronizar o método de trabalho ou padronizar a fonte de matéria prima, pois caso contrário impactará na dispersão total do processo, aumentando o tamanho da curva normal.

### Análise de tendências – Padrões para análise

Diminuição da Variação do Processo

Continua alternado, mas a amplitude está menor.



Interpretação:  
Uma vez que não haja dúvida que os dados coletados são reais, esta tendência demonstra uma melhoria de processo, pois apresenta uma redução da variação, devemos seguir com o monitoramento e caso o processo se mantenha estável dentro desta redução, novos limites de controle devem ser calculados.

## CONDIÇÕES PARA CONSTRUÇÃO E USO DOS GRÁFICOS DO CONTROLE

### CONDIÇÕES PARA CONSTRUÇÃO DOS GRÁFICOS DE CONTROLE

- **LIMITES:**
  - Determinados com base na média ( $\bar{X}$ ) e desvio padrão da distribuição da variável "x", quando o processo está isento de causas especiais.
- **VALOR MÉDIO (LM)**
  - Sempre deve coincidir com o valor alvo especificado (definido de antemão).
    - Ex: volume de 1 litro de leite.

### E quando o valor médio não é definido de antemão?

- Só é estimado com precisão após vários registros.
- Para considerar o valor médio sob controle, avaliar os parâmetros nas melhores condições possíveis.

## Como construir o gráfico então?

- Estimar o desvio padrão do processo.
- Para isto:
  - Necessário intervir no processo antes mesmo de construir o gráfico.
  - Não é da noite para o dia que se consegue um processo livre de causas especiais!

ENTÃO COMO?

## ETAPA INICIAL: conhecendo, estabilizando e ajustando o processo

- **ETAPA INICIAL** = Aprendizagem!
  - Conhecer os fatores que afetam as características de qualidade X.
  - Ádua, porém a mais importante!
  - Procurar eliminar as causas especiais:
    - Use diagrama de Ishikawa e Brainstorming
    - Ação sobre as causas especiais.

## MONITORAMENTO



## ETAPAS

- Realizada em amostras extraídas durante o processo, supõe-se distribuição normal das características da qualidade.
- O objetivo é verificar se o processo está sob controle. Este controle é feito através do gráfico.

## SE O PROCESSO ESTIVER DENTRO DA FAIXA...



- SHEWART diz:

**“Leave the process alone!”**

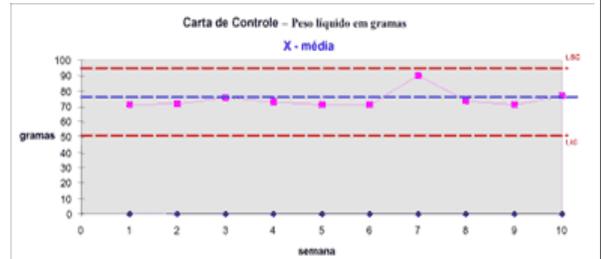
## EXEMPLO:

- Numa indústria de conservas populares, é produzido um tipo de doce de consumo popular, cujo peso final varia muito.
  - Como a empresa está ampliando os seus pontos de venda (comércio em geral) e como a legislação obriga que no rótulo venha constando o peso líquido do produto e é aceita uma variação, optaram por acompanhar a produção durante um número de semanas e a cada dia retiravam uma amostra do lote de fabricação e realizavam a sua pesagem, compondo a lista de verificação a seguir:

## RESULTADO:

Semana	Peso	Peso	Peso	Peso	Peso	Total	Média / sem	Amplit.
1 semana	55	75	65	80	80	355	71	25
2 semana	90	95	60	60	55	360	72	40
3 semana	100	75	75	65	65	380	76	35
4 semana	70	110	65	60	60	365	73	50
5 semana	55	65	95	70	70	355	71	40
6 semana	75	85	65	65	65	355	71	20
7 semana	120	110	65	85	70	450	90	55
8 semana	65	65	90	90	60	370	74	30
9 semana	70	85	60	65	75	355	71	25

Como é possível notar, as curvas tanto pela MÉDIA quanto pela AMPLITUDE estão compreendidas entre os Limites Superior e Inferior de Controles, traduzindo que o processo está sob controle.



## PARA QUE SERVE O CEP?

PARA

CAUSAS ESPECIAIS

CAUSAS COMUNS

DETECTAR A CAUSA RAIZ

DETECTAR AS CAUSAS → Mais difícil

TOMAR AÇÕES

TOMAR AÇÕES → Como?

↓  
DMAIC

CEP

Variabilidade devido a causas comuns reduzida

Causas especiais eliminadas

Nominal

Processo melhorado

Causas especiais presentes

Processo controlado - previsível

Processo fora de controle - imprevisível

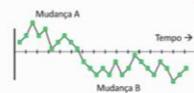
Melhorar o processo fazendo a média aproximar-se do valor alvo

## De onde surgiu o DMAIC?

PDSA



Que mudanças desejamos fazer?  
Que dados serão necessários?



PDSA



Define  
Measure  
Analyze  
Improve  
Control

## II) GRÁFICOS DE CONTROLE

1. Por variáveis

2. Por atributos

## TIPOS DE DADOS

TIPOS DE DADOS



TIPOS DE CARTAS DE CONTROLE

Dependendo do tipo de dados podemos construir diferentes tipos de carta de controle e é importante escolher bem a carta de controle, porque dependendo desta escolha vamos ter mais ou menos trabalho e as vezes não vamos conseguir o resultado que seria o melhor e o mais rápido!

### Tipos de dados



## TIPOS DE GRÁFICOS DE CONTROLE

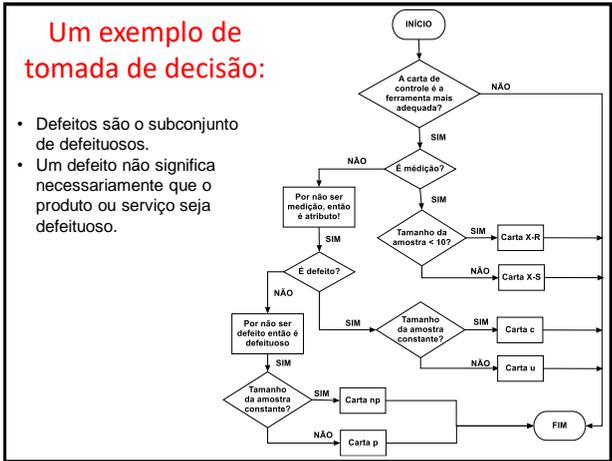
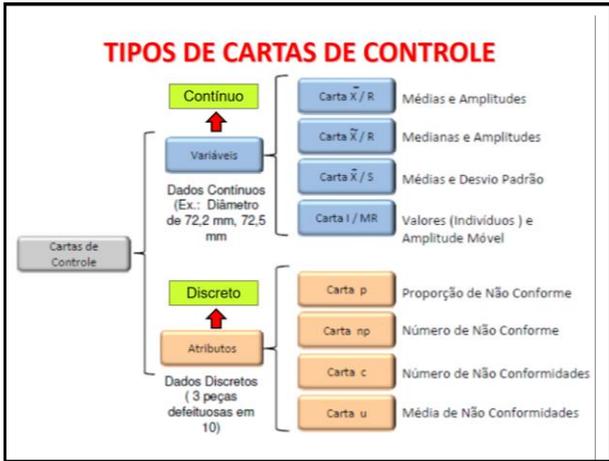
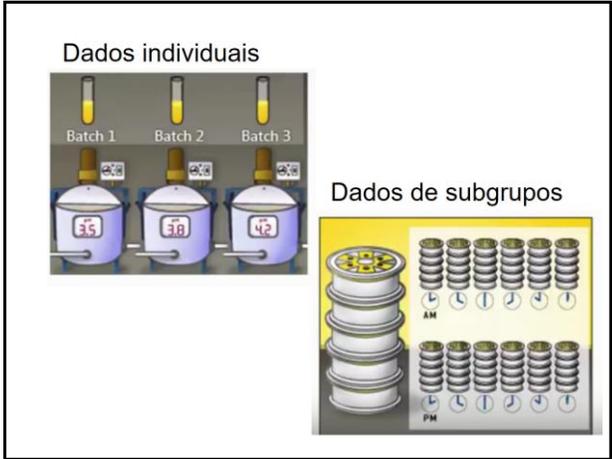
- Dois grupos de gráficos de controle:
  - a) Gráficos de Controle por **Atributos** (**discreto**)
  - b) Gráficos de Controle por **Variáveis** (**contínuo**)

### Tipos de Gráficos de Controle

- **Gráficos de controle por atributos:** baseiam-se em dados resultantes de uma classificação do produto com defeito(s) ou não.
  - DADOS DISCRETOS
- **Gráfico de controle de variáveis:** baseiam-se em dados obtidos através de medições com instrumentos, como por exemplo, comprimento, diâmetro, absorvância, etc.
  - DADOS CONTÍNUOS

### GRÁFICO POR ATRIBUTO x VARIÁVEL

- Gráfico de atributos:
  - necessita de apenas **um gráfico** para controle, porém com um maior número de amostra (no mínimo 50),
- Gráfico de controle de variáveis:
  - necessita **dois gráficos**, um para o centramento (**LOCAÇÃO**) e outro para o espalhamento (**DISPERSÃO**) da distribuição do processo.



**Tabela de constantes aplicáveis nas cartas de controle**

n	Médias		Desvio-padrão		Amplitudes	
	A2	A3	B3	B4	D3	D4
2	1,88	2,659	0	3,267	0	3,267
3	1,023	1,954	0	2,568	0	2,574
4	1,729	1,628	0	2,266	0	2,282
5	0,577	1,427	0	2,089	0	2,114
6	0,483	1,287	0,03	1,97	0	2,004
7	0,419	1,182	0,118	1,882	0,076	1,924
8	0,373	1,099	0,185	1,815	0,136	0,864
9	0,337	1,032	0,239	1,761	0,184	1,816
10	0,308	0,975	0,284	1,716	0,223	1,777
11	0,285	0,927	0,321	1,679	0,256	1,744
12	0,266	0,888	0,354	1,646	0,283	1,717
13	0,249	0,85	0,382	1,618	0,307	1,693
14	0,235	0,817	0,406	1,594	0,328	1,672
15	0,223	0,789	0,428	1,572	0,347	1,653
16	0,212	0,763	0,448	1,552	0,363	1,637
17	0,203	0,739	0,466	1,534	0,378	1,622
18	0,194	0,718	0,482	1,518	0,391	1,608
19	0,187	0,698	0,497	1,503	0,403	1,597
20	0,18	0,68	0,51	1,49	0,415	1,585
21	0,173	0,663	0,523	1,477	0,425	1,575
22	0,167	0,647	0,534	1,466	0,434	1,566
23	0,162	0,633	0,545	1,455	0,443	1,557
24	0,157	0,619	0,555	1,445	0,451	1,548
25	0,153	0,606	0,565	1,435	0,459	1,541

**Tabela de constantes aplicáveis nas cartas de controle**

Tamanho Amostra	Cartas (X e R)				Cartas (Xe S)			
	Carta X	Carta R			Carta X	Carta S		
	A <sub>2</sub>	d <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>	A <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>4</sub>
2	1,880	1,128	-	3,267	2,659	0,7979	-	3,267
3	1,023	1,693	-	2,574	1,954	0,8862	-	2,568
4	0,729	2,059	-	2,282	1,628	0,9213	-	2,266
5	0,577	2,326	-	2,114	1,427	0,9400	-	2,089
6	0,483	2,534	-	2,004	1,287	0,9515	0,030	1,970
7	0,419	2,704	0,076	1,924	1,182	0,9594	0,118	1,882
8	0,373	2,847	0,136	1,864	1,099	0,9650	0,185	1,815
9	0,337	2,970	0,184	1,816	1,032	0,9693	0,239	1,761
10	0,308	3,078	0,223	1,777	0,976	0,9727	0,284	1,716

Tamanho Amostra	Cartas de Medianas (X̄ e R)				Cartas de Individuais (X <sub>ind</sub> e R <sub>móv</sub> )			
	Carta X	Carta R			Carta X	Carta R		
	A <sub>2</sub>	d <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>	E <sub>2</sub>	d <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>
2	1,880	1,128	-	3,267	2,660	1,128	-	3,267
3	1,187	1,693	-	2,574	1,772	1,693	-	2,574
4	0,796	2,059	-	2,282	1,457	2,059	-	2,282
5	0,691	2,326	-	2,114	1,290	2,326	-	2,114
6	0,548	2,534	-	2,004	1,184	2,534	-	2,004
7	0,508	2,704	0,076	1,924	1,109	2,704	0,076	1,924
8	0,433	2,847	0,136	1,864	1,054	2,847	0,136	1,864
9	0,412	2,970	0,184	1,816	1,010	2,970	0,184	1,816
10	0,362	3,078	0,223	1,777	0,975	3,078	0,223	1,777

### Fórmulas para cartas de variáveis

#### 1. Cartas da média e da amplitude

$$LSC_{\bar{X}} = \bar{X} + A_2 \cdot \bar{R} \quad LIC_{\bar{X}} = \bar{X} - A_2 \cdot \bar{R} \quad \hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2}$$

$$LSC_R = D_4 \cdot \bar{R} \quad LIC_R = D_3 \cdot \bar{R}$$

#### 2. Cartas da média e do desvio padrão

$$LSC_{\bar{X}} = \bar{X} + A_3 \cdot \bar{S} \quad LIC_{\bar{X}} = \bar{X} - A_3 \cdot \bar{S} \quad \hat{\sigma} = \frac{\bar{S}}{C_4}$$

$$LSC_S = B_4 \cdot \bar{S} \quad LIC_S = B_3 \cdot \bar{S}$$

#### 3. Cartas da mediana e da amplitude

$$LSC_{\bar{X}} = \bar{X} + \bar{A}_2 \cdot \bar{R} \quad LIC_{\bar{X}} = \bar{X} - \bar{A}_2 \cdot \bar{R} \quad \hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2}$$

$$LSC_R = D_4 \cdot \bar{R} \quad LIC_R = D_3 \cdot \bar{R}$$

#### 4. Carta de individuais e amplitude móvel

$$LSC_{\bar{X}} = \bar{X} + E_2 \cdot \bar{R} \quad LIC_{\bar{X}} = \bar{X} - E_2 \cdot \bar{R} \quad \hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2}$$

$$LSC_R = D_4 \cdot \bar{R} \quad LIC_R = D_3 \cdot \bar{R}$$

### Fórmulas para cartas de atributos

#### 1. Carta p - Proporção de peças não-conformes

$$LSC_p = \bar{p} + 3 \cdot \sqrt{\frac{\bar{p} \cdot (1 - \bar{p})}{n}} \quad LIC_p = \bar{p} - 3 \cdot \sqrt{\frac{\bar{p} \cdot (1 - \bar{p})}{n}}$$

#### 2. Carta np - Número de itens não-conformes

$$LSC_{np} = \bar{d} + 3 \cdot \sqrt{\bar{d} \cdot (1 - \frac{\bar{d}}{n})} \quad LIC_{np} = \bar{d} - 3 \cdot \sqrt{\bar{d} \cdot (1 - \frac{\bar{d}}{n})}$$

#### 3. Carta c - Número de não-conformidades na amostra

$$LSC_c = \bar{c} + 3 \cdot \sqrt{\bar{c}} \quad LIC_c = \bar{c} - 3 \cdot \sqrt{\bar{c}}$$

#### 4. Carta u - Nº de não-conformidades na unidade de inspeção

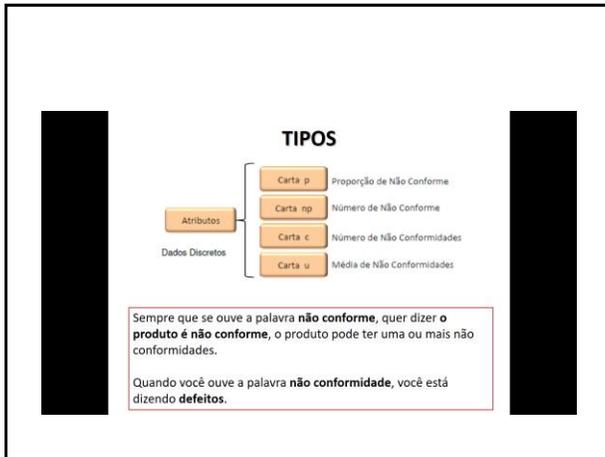
$$LSC_u = \bar{u} + 3 \cdot \sqrt{\frac{\bar{u}}{n}} \quad LIC_u = \bar{u} - 3 \cdot \sqrt{\frac{\bar{u}}{n}}$$

## A) GRÁFICO DE CONTROLE POR ATRIBUTOS

### QUANDO USAR?

Para cada um destes parâmetros deverá haver um critério e as pessoas deverão ser treinadas nestes critérios de avaliação

- Quando as medidas não são possíveis.
  - Ex: características inspecionadas visualmente (cor, brilho, arranhões e danos).
- Quando as medidas são possíveis, mas não são tomadas por questão de tempo ou de necessidades.
  - Ex: quando o diâmetro de um furo pode ser medido com um micrômetro interno, mas utiliza-se um calibre passa-não passa para determinar a sua conformidade com as especificações.



**GRAVAR BEM ESTES CONCEITOS!!!!!!**

Convenções

Ex. 30 peças, 30 itens.

n = tamanho da amostra → Ex. amostragem em 3 turnos. Primeiro turno 3 amostras e cada uma delas pode ter n peças.

k = número (quantidade) de amostras → Ex. das 30 peças retiradas, 10 eram defeituosas.

d = número de defeituosos → Ex. das 30 peças retiradas, 10 eram defeituosas, então 1/3 de defeituosas.

p = fração defeituosa → Ex. se na minha amostra com 30 peças eu tenho 40 defeitos, c = 40

p = fração defeituosa média

c = número de defeitos → Ex. se eu tenho 40 defeitos em 30 peças eu tenho 40/30 defeitos por unidade

C = número médio de defeitos

u = número médio de defeitos por unidade

Defeito ≠ Defeituoso

- ## Tipos de gráficos
- **GRÁFICO DE np:**
    - Gráfico de controle do **número** de defeituosos
  - **GRÁFICO DE p:**
    - Gráfico de controle da **fração** defeituosa
  - Servem para monitorar processos que produzem regularmente certa porcentagem de itens defeituosos, mesmo na ausência de causas especiais.

- ## Tipos de gráficos
- **Gráfico de C:**
    - Gráfico do **número** de não conformidades
  - Monitora produtos passíveis de apresentarem pequenos defeitos, mas que não inutilizam o produto como um todo

## 1) Gráfico de controle da fração defeituosa

### Gráfico p

- ## Gráfico de controle da fração defeituosa
- ### - Gráfico p
- p é a proporção de produtos defeituosos em uma amostra de tamanho n.
  - A curva é apresentada com:
    - valores de “p” no eixo y e
    - número de subgrupos no eixo x

### O gráfico:

1. Obter pelo menos "k" = 50 amostras de tamanho "n";
2. Obter o número de defeituosos "d" em cada amostra;
3. Calcular a fração defeituosa "p" para cada amostra pela fórmula:

$$p = \frac{d}{n}$$

### O gráfico:

4. Calcular a fração defeituosa média (que será a linha central do gráfico) pela fórmula:

$$\bar{p} = \frac{\sum_{i=1}^k d_i}{\sum_{i=1}^k n_i}$$

### O gráfico:

5. Calcular os limites inferior (LICp) e superior (LSCp) de controle pela equação:

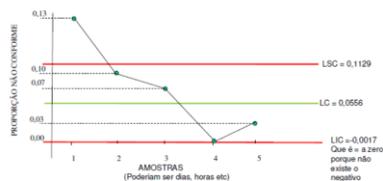
$$\bar{p} \pm 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$$

Se LICp for negativo, considera-se LICp = 0.

### RECOMENDAÇÕES

- Mínimo de 50 subgrupos
- Subgrupo com amostra de tamanho constante
- Investigação dos pontos que estão fora dos limites de controle seguida de ações corretivas
- Limites de controle são recalculados eliminando-se os pontos corrigidos
- Monitoração contínua até obtenção do limite de controle fixo (padronizado) = sistema estabilizado (todos os pontos dentro dos limites)

#### EXEMPLO: CARTA p – PROPORÇÃO DE NÃO CONFORME



#### EXEMPLO

Lote	Tamanho da amostra (n) (pode variar)	Número de defeituosos dentro da amostra (d)	Porcentagem de defeituosos em cada amostra
1	1250	8	0,64%
2	1250	0	0,00%
3	1350	12	0,89%
4	1200	3	0,25%
5	1150	5	0,43%
6	1100	0	0,00%
7	1100	2	0,18%
8	1350	2	0,15%
9	1250	1	0,08%
10	600	3	0,50%
11	1150	0	0,00%
12	1100	5	0,45%
13	1050	10	0,95%
14	1050	0	0,00%
15	1100	0	0,00%
16	1000	0	0,00%
17	1200	0	0,00%
18	1050	0	0,00%
19	1150	1	0,09%
20	1050	0	0,00%

k = 20

Lote	Tamanho da amostra (n) (pode variar)	Número de defeituosos dentro da amostra (np)	Porcentagem de defeituosos em cada amostra
1	1250	8	0,64%
2	1250	0	0,00%
3	1300	12	0,90%
4	1300	3	0,25%
5	1150	5	0,43%
6	1300	0	0,00%
7	1300	2	0,18%
8	1350	2	0,15%
9	1250	1	0,08%
10	600	3	0,50%
11	1150	0	0,00%
12	1300	5	0,40%
13	1050	10	0,95%
14	1050	0	0,00%
15	1300	0	0,00%
16	1000	0	0,00%
17	1200	0	0,00%
18	1050	0	0,00%
19	1150	1	0,09%
20	1050	0	0,00%

$$UCL = \bar{p} + 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$$

$$LCL = \bar{p} - 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$$

$$\bar{p} = \frac{\sum np}{\sum n}$$

$$\bar{n} = \frac{\sum n}{k}$$

k = 20     $\sum n = 22500$      $\sum np = 52$

Lote	Tamanho da amostra (n) (pode variar)	Número de defeituosos dentro da amostra (np)	Porcentagem de defeituosos em cada amostra
1	1250	8	0,64%
2	1250	0	0,00%
3	1300	12	0,90%
4	1300	3	0,25%
5	1150	5	0,43%
6	1300	0	0,00%
7	1300	2	0,18%
8	1350	2	0,15%
9	1250	1	0,08%
10	600	3	0,50%
11	1150	0	0,00%
12	1300	5	0,40%
13	1050	10	0,95%
14	1050	0	0,00%
15	1300	0	0,00%
16	1000	0	0,00%
17	1200	0	0,00%
18	1050	0	0,00%
19	1150	1	0,09%
20	1050	0	0,00%

$$UCL = \bar{p} + 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$$

$$LCL = \bar{p} - 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$$

$$\bar{p} = \frac{\sum np}{\sum n}$$

$$\bar{n} = \frac{\sum n}{k}$$

$$\bar{p} = \frac{52}{22500} \times 100 = 0,23\%$$

$$\bar{n} = \frac{22500}{20} = 1125$$

$$\bar{p} = \frac{52}{22500} \times 100 = 0,23\%$$

$$UCL = \bar{p} + 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(100-\bar{p})}{n}}$$

$$\bar{n} = \frac{22500}{20} = 1125$$

Calculando o limite superior de controle UCL

$$UCL = 0,23 + 3 \sqrt{\frac{0,23 \cdot (100-0,23)}{1125}}$$

$$UCL = 0,23 + 3 \sqrt{\frac{0,23 \cdot (99,77)}{1125}}$$

$$UCL = 0,23 + 3 = 0,143$$

$$UCL = 0,66\%$$

$$\bar{p} = \frac{52}{22500} \times 100 = 0,23\%$$

$$LCL = \bar{p} - 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(100-\bar{p})}{n}}$$

$$\bar{n} = \frac{22500}{20} = 1125$$

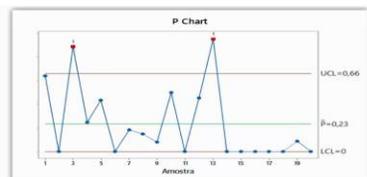
Calculando o limite inferior de controle LCL

$$LCL = 0,23 - 3 \sqrt{\frac{0,23 \cdot (100-0,23)}{1125}}$$

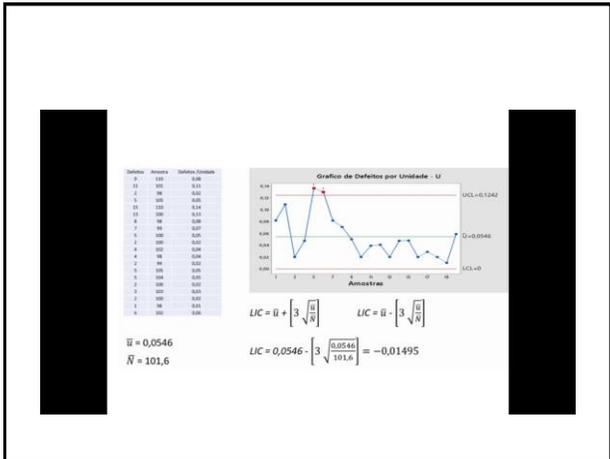
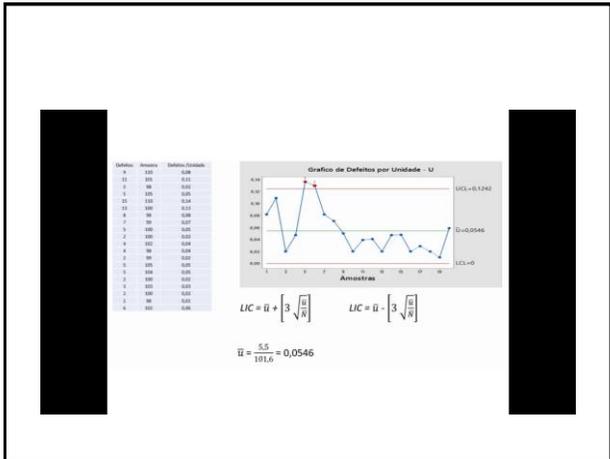
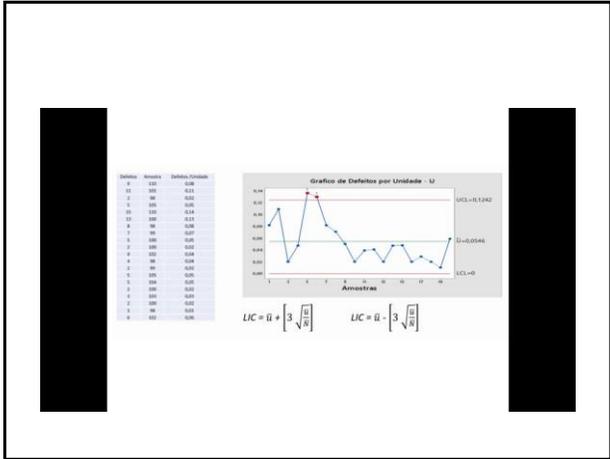
$$LCL = 0,23 - 3 \sqrt{\frac{0,23 \cdot (99,77)}{1125}}$$

$$LCL = 0,23 - 3 = 0,143$$

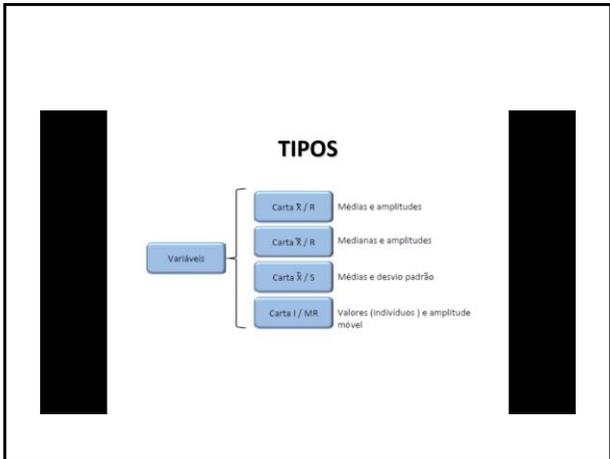
$$LCL = -0,20\%$$



## 2) Gráfico de controle de não conformidades (defeitos por unidade) Gráfico u



## B) GRÁFICO DE CONTROLE POR VARIÁVEIS



### CONVENÇÕES

- n = tamanho da amostra → Ex. 30 peças, 30 itens.
- k = número (quantidade) de amostras → Ex. amostragem em 3 turnos. Primeiro turno 3 amostras e cada uma delas pode ter n peças.
- $\bar{x}$  = média das médias das amostras (média global)
- $\bar{s}$  = desvio padrão amostral médio
- R = amplitude amostral média
- A2, A3, D3, D4, etc. = fatores de correção

As equações que são da população precisam ser ajustadas para uma amostra e por isto teremos os fatores de correção (A2, A3, D3, D4).

#### TABELAS:

- fatores são para cálculo de limites de controle
- são colocados na fórmula para equilibrar a diferença que ocorre quando troca-se a população por amostra.
- Em cada tipo de carta de controle, usar um fator diferente!

### Quadro 1: fatores para cálculo de limite de controle

n	A <sup>2</sup>	A <sup>3</sup>	E <sup>2</sup>	B <sub>3</sub>	B <sub>4</sub>
2	1,880	2,695	2,660	-	3,267
3	1,023	1,954	1,772	-	2,568
4	0,729	1,628	1,457	-	2,266
5	0,577	1,427	1,290	-	2,089
6	0,483	1,287	1,184	0,030	1,970
7	0,419	1,182	1,109	0,118	1,882
8	0,373	1,099	1,054	0,185	1,815
9	0,337	1,032	1,010	0,239	1,761
10	0,308	0,975	0,975	0,284	1,716

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

### Quadro 2: fatores para cálculo de limite de controle

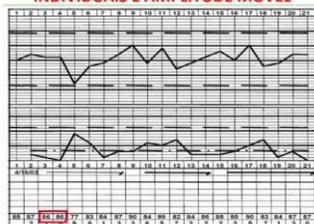
n	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>	D	c <sub>4</sub>	d <sub>2</sub>
2	-	3,267	0,709	0,798	1,128
3	-	2,574	0,524	0,886	1,693
4	-	2,282	0,446	0,921	2,059
5	-	2,114	0,403	0,940	2,326
6	-	2,004	0,375	0,952	2,534
7	0,076	1,924	0,353	0,959	2,704
8	0,136	1,864	0,338	0,965	2,847
9	0,184	1,816	0,325	0,969	2,970
10	0,223	1,777	0,314	0,973	3,078

Importante perceber que quando n abaixo de 7 - D<sub>3</sub> não existe. Então vamos ter a linha de limite inferior igual a zero. O mesmo vale no slide anterior para B<sub>3</sub>.

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

## 1) GRÁFICO DE CONTROLE DE VALORES INDIVIDUAIS E AMPLITUDE MÓVEL

### GRÁFICO DE CONTROLE DE VALORES INDIVIDUAIS E AMPLITUDE MÓVEL



Usado para calibração e testes - quando não é possível coletar em subgrupos

### GRÁFICO DE CONTROLE DE VALORES INDIVIDUAIS E AMPLITUDE MÓVEL

$$LSC_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} + E_2 \bar{MR}$$

$$LIC_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} - E_2 \bar{MR}$$

$$E_2 = 2,66$$

$$LSC_{\bar{x}} = 84,86 + 2,66 * 3,35 = 93,77$$

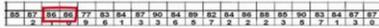
$$LIC_{\bar{x}} = 84,86 - 2,66 * 3,35 = 75,95$$

**GRÁFICO DE CONTROLE DE VALORES INDIVIDUAIS E AMPLITUDE MÓVEL**

$$LSC_{MR} = D_4 \overline{MR}$$

$$LIC_{MR} = D_3 \overline{MR}$$

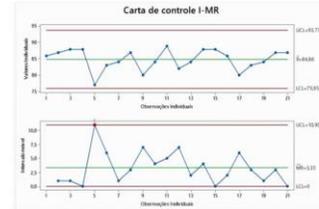
$$D_3 = 0 \quad D_4 = 3,27$$



$$LSC_{MR} = 3,27 * 3,35 = 10,95$$

$$LIC_{MR} = 0 * 3,35 = 0$$

**GRÁFICO DE CONTROLE DE VALORES INDIVIDUAIS E AMPLITUDE MÓVEL**



**2) GRÁFICO DE CONTROLE DE MÉDIA E AMPLITUDE**

**GRÁFICO  $\bar{X}$  - R**

- Os gráficos
  - Gráficos de controle por média ( $\bar{X}$ );
  - Gráficos de controle por amplitude (R);
- Servem para monitorar processos cujas características de qualidade de interesse X é uma grandeza **MENSURÁVEL!**

**CONSTRUÇÃO DOS GRÁFICOS  $\bar{X}$  e R**

Variável a ser controlada



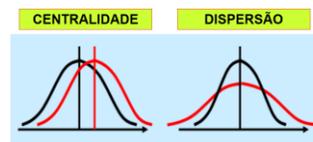
Variável contínua



Monitorar o processo por um par de gráficos de controle:

1. Para monitorar a localização (centralidade)
  - gráfico de  $\bar{X}$
2. Para monitorar a dispersão da variável
  - gráfico de R

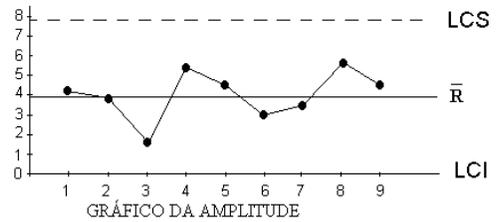
$\bar{X}$  = MEDE A CENTRALIDADE  
R = MEDE A DISPERSÃO



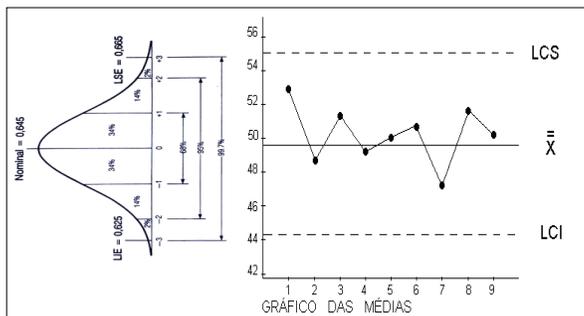
## GRÁFICO $\bar{X}$ -R

- Qualquer um dos gráficos que se apresentar fora de controle implicará que o processo saiu do seu padrão natural.
- Gráfico da média com o da amplitude são os mais comuns** para o controle de processos do tipo variáveis.

## GRÁFICO DE AMPLITUDE

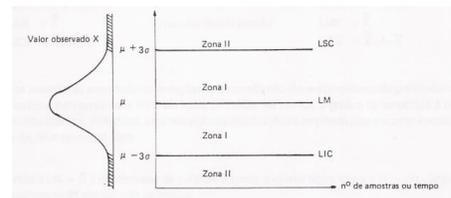


## GRÁFICO DAS MÉDIAS



## GRÁFICO DAS MÉDIAS – PROCESSO IDEAL

- LM
  - localizada na média de  $\bar{X}$
- LSC e LIC
  - normalmente estabelecidos a 3 desvios padrões desta média



## RELAÇÃO ENTRE DESVIO PADRÃO E AMPLITUDE MÉDIA

- É comum aproximar-se o desvio padrão a partir da amplitude média, e nesse caso deve ser levado em consideração o tamanho da amostra (no máximo,  $n=10$ ).
- A Equação abaixo mostra a relação entre o desvio padrão ( $\sigma$ ) e a amplitude média ( $\bar{R}$ ) para uma **distribuição Normal** levando em conta o tamanho da amostra ( $d_2$ ).
  - Os valores de  $d_2$  são valores tabelados (Tabela 1).

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

Usado para cálculo da capacidade do processo

## CÁLCULO DOS LIMITES

## GRÁFICO $\bar{X}$ -R

(média e amplitude)

### Exemplo:

- Na etapa final de envase de leite pasteurizado em embalagens de 1 litro, foram retiradas amostras para verificar se o processo é estável.
  - Foram retiradas 8 amostras de tamanho 5, conforme Quadro a seguir:
- O processo é estável?

### Exemplo:

subgrupo (i)	Elemento (j) do subgrupo (i)				
	Xi1	Xi2	Xi3	Xi4	Xi5
1	992,9	1006,7	1002,7	1005,4	998,3
2	1001,3	995,3	999,0	999,1	996,5
3	1001,2	1001,4	999,0	997,8	994,2
4	993,3	1002,1	998,7	993,6	996,6
5	996,8	1006,4	1006,9	994,5	998,4
6	1000,9	1004,2	999,2	997,8	997,9
7	1000,2	1002,2	998,3	1006,4	1005,8
8	1003,3	996,1	1000,5	995,2	1005,8

### Cálculo dos limites de controle

- 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  $X_1, X_2, X_k$  são as médias das  $k$  ocasiões

### Cálculo dos limites de controle

- Amplitude de uma ocasião:

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

- Amplitude média das  $k$  ocasiões:

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

### Exemplo:

subgrupo (i)	Elemento (j) do subgrupo (i)					$\bar{X}_i$	Ri	Si
	Xi1	Xi2	Xi3	Xi4	Xi5			
1	992,9	1006,7	1002,7	1005,4	998,3	1001,2	13,8	5,6
2	1001,3	995,3	999,0	999,1	996,5	998,2	6,0	2,4
3	1001,2	1001,4	999,0	997,8	994,2	998,7	7,2	2,9
4	993,3	1002,1	998,7	993,6	996,6	996,9	8,8	3,7
5	996,8	1006,4	1006,9	994,5	998,4	1000,6	12,4	5,7
6	1000,9	1004,2	999,2	997,8	997,9	1000,0	6,4	2,7
7	1000,2	1002,2	998,3	1006,4	1005,8	1002,7	8,1	3,5
8	1003,3	996,1	1000,5	995,2	1005,8	1000,2	10,6	4,6

$\bar{\bar{X}}$     $\bar{R}$

### Cálculo do limite superior (LSC) e limite inferior (LIC)

- Limites de controle da média (LIC e LSC):

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

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

- Limites de controle da amplitude

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

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

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

No. De Observações no Subgrupo (n)	Fatores para cartas X	Fatores para carta R	
	A2	Inferior D3	Superior D4
2	1,880	0	3,268
3	1,023	0	2,574
4	0,729	0	2,282
5	0,577	0	2,114
6	0,483	0	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

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

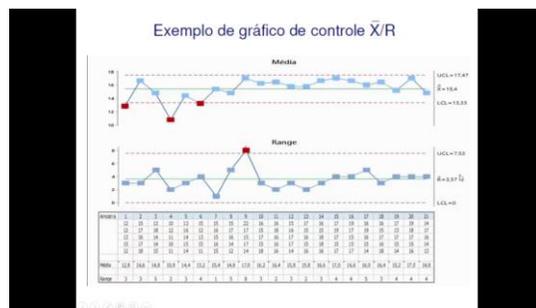
## Limites de controle preliminares

- No início da implantação de um gráfico de controle:
  - limites de controle preliminares:** são calculados a partir de alguns subgrupos, que totalizem 25 a 30 repetições independentes.
  - Limites de controle definitivos:** são traçados quando tiver cerca de 25 subgrupos, ou cerca de 100 repetições.
- Esses limites definitivos devem ser revistos a cada 25 subgrupos, aproximadamente.

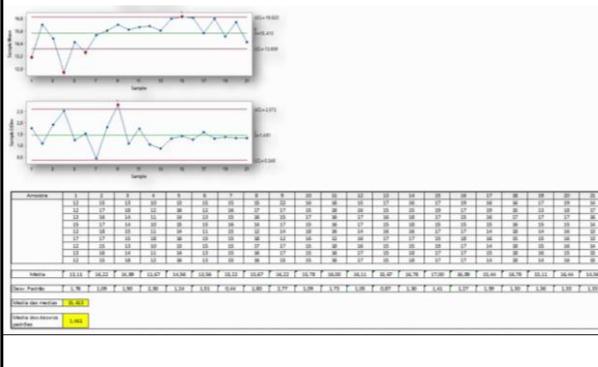
## Análise dos gráficos

### 1. Começar pelo gráfico das amplitudes.

- Uma vez que os limites do gráfico da média dependem do valor da amplitude, se o valor da amplitude não estiver sob controle a análise do gráfico das médias não será válida.
2. Caso o gráfico de controle mostre que o processo está sob controle.
- os limites devem ser utilizados para a manutenção do estado de controle ao longo do tempo, normalmente realizado pelo operador junto à operação



## 3) GRÁFICO DE CONTROLE DE MÉDIA E DESVIO PADRÃO



$$UCL = \bar{X} + A_1 \cdot \bar{S}$$

$$LCL = \bar{X} - A_1 \cdot \bar{S}$$

$$UCL_2 = B_4 \cdot \bar{S}$$

$$LCL_2 = B_3 \cdot \bar{S}$$

UCL = 15,41 + 1,03 \* 1,461 = 16,92

LCL = 15,41 - 1,03 \* 1,461 = 13,90

UCL<sub>2</sub> = 1,76 \* 1,461 = 2,572

LCL<sub>2</sub> = 0,24 \* 1,461 = 0,349

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10	25
B4	3,27	2,57	2,27	2,09	1,97	1,88	1,82	1,76	1,72	1,44
B3	*	*	*	*	0,03	0,12	0,18	0,24	0,28	0,56
A3	2,66	1,95	1,63	1,43	1,29	1,18	1,10	1,03	0,98	0,61

## PARA PENSAR!

- Que perguntas deveriam ser feitas caso o processo apresente indicações de descontrolo, a fim de identificarmos as causas de variação?

### Resposta:

- Existem diferenças na avaliação dos instrumentos de medição utilizados?
- Existem diferenças nos métodos utilizados por operadores diferentes?
- O processo é afetado pelas condições ambientais, como temperatura, umidade, vibração, etc?
- Ocorreram variações ambientais significativas?
- O processo foi afetado por desgaste de ferramentas?
- No período investigado, havia operadores não treinados no processo?
- Ocorreram mudanças nas fontes de matéria prima?
- O processo foi afetado pela fadiga do operador?
- Ocorreram mudanças nos procedimentos de manutenção?
- O equipamento tem sido ajustado com frequência?
- As amostras são retiradas de diferentes equipamentos? Turnos? Operadores?

As perguntas aqui são alguns exemplos, mas existem muitas outras...

# CEP

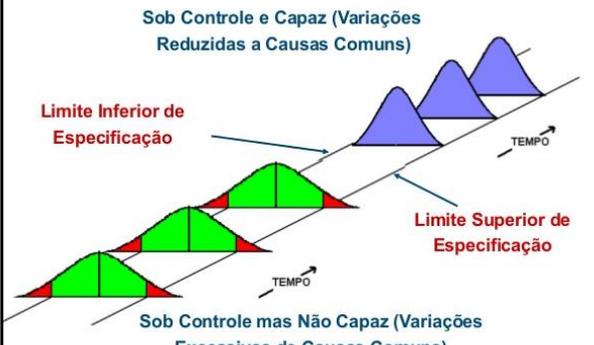
## Capacidade do Processo ou Capabilidade do processo

### Avaliação da capacidade do processo



- Os índices e taxas que medem a capacidade de um dado processo fabricar produtos dentro da faixa de especificação, surgiram dos estudos sobre Controle Estatístico de Processo (CEP) realizados por Shewhart.

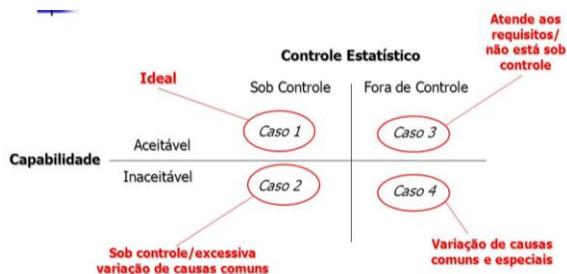
### CAPACIDADE DO PROCESSO



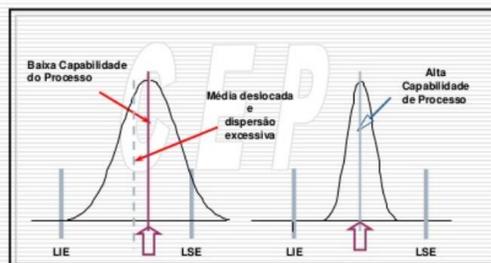
Sob Controle e Capaz (Variações Reduzidas a Causas Comuns)

Sob Controle mas Não Capaz (Variações Excessivas de Causas Comuns)

## SITUAÇÕES:



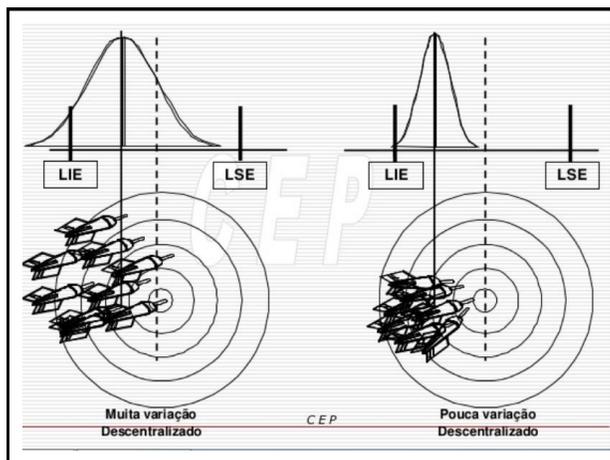
## ENTENDENDO A CAPABILIDADE DO PROCESSO



Muita variação  
Descentralizado

Pouca variação  
Centralizado

CEP

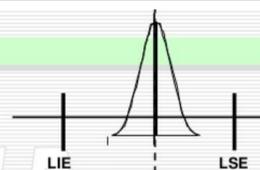


Muita variação  
Descentralizado

CEP

Pouca variação  
Descentralizado

## OBJETIVO DO 6σ!



CEP

Pouca variação => EXATIDÃO  
Centralizado => PRECISÃO

## ALGUMAS DEFINIÇÕES

- Capacidade de processo:** faixa total de variação inerente de um processo estável;
- Limites de Controle:** uma linha ou linhas em uma carta de controle utilizada como uma base para julgar a estabilidade do processo.
  - A variação além de um limite de controle é evidência de que causas especiais estão afetando o processo.
  - Limites de controle são calculados a partir dos dados do processo e não devem ser confundidos com as especificações de engenharia;
- Desempenho de processo:** faixa total da variação global do processo (6σs);

## Estabilidade X Capacidade

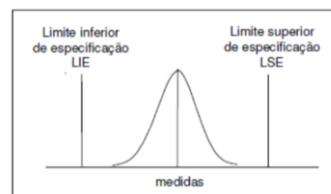
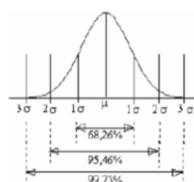
- É importante avaliar a **capacidade** do processo em atender às especificações, relativas ao que estamos medindo e controlando!
- Um processo estável não implica em um processo capaz e vice-versa!**
- Os limites de controle não devem ser confundidos com os limites de especificação, pois representam informações distintas.

## O QUE SÃO LIMITES DE ESPECIFICAÇÃO?

- No projeto de produtos são fornecidas as medidas que estes devem ter, assim como o intervalo que as mesmas podem variar.
  - São as chamadas especificações do projeto!

Portanto **CAPACIDADE** é a habilidade do processo em produzir produtos dentro dos limites de especificação!

## Exemplo:



## QUAIS SÃO OS LIMITES DE ESPECIFICAÇÃO?

- **VN = VALOR NOMINAL**
  - Valor que determinada medida deve ter
- **LSE = LIMITE SUPERIOR DE ESPECIFICAÇÃO**
  - Limite superior do intervalo em que esta medida pode variar.
- **LIE = LIMITE INFERIOR DE ESPECIFICAÇÃO**
  - Limite inferior do intervalo em que esta medida pode variar.

**TOLERÂNCIA DO PROJETO = LSE - LIE**

## RELAÇÃO ENTRE LIMITE DE CONTROLE E LIMITE DE ESPECIFICAÇÃO

- **NÃO EXISTE RELAÇÃO MATEMÁTICA!**
- Os limites de controle são função da variabilidade do processo (medido pelo desvio padrão)
- Os limites de especificação são estabelecidos no projeto pelos engenheiros, pela administração ou pelo cliente.

## Etapas básicas para a medição de Capacidade de Processo

- 1. Verificação do Controle Estatístico do Processo:**
  - nesta etapa são preparados os gráficos de controle para a coleta de dados (sem os limites) e estes são entregues para a produção.
  - Estes dados são então levantados e a partir de uma análise gráfica (ou mesmo utilizando testes estatísticos) verifica-se a existência de causas especiais atuando no processo.
  - Se existirem causas especiais atuando deve-se identificá-las e eliminá-las até que o processo esteja sobre controle estatístico.
- 2. Avaliação dos Índices:**
  - uma vez garantido o controle estatístico do processo identifica-se todos os dados que compõem o período sobre controle do processo.
  - Estes dados são então utilizados para a geração dos índices.

## VARIAÇÃO NATURAL DO PROCESSO

- **A avaliação da capacidade do processo é feita considerando a variação natural do processo comparada com a variação permitida pela especificação**
- **VARIAÇÃO NATURAL** = Definida como seis vezes o desvio padrão ( $\sigma$ ), ou seja:
  - média  $\pm 3\sigma$
- O limite de **6 $\sigma$**  sobre a distribuição de uma característica de qualidade do produto é chamado de **CAPACIDADE DO PROCESSO!**

### Método de análise da capacidade

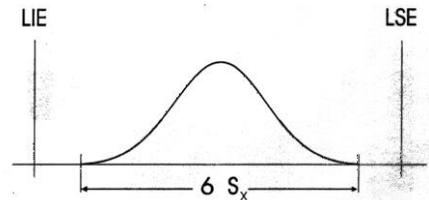
- Como o valor de  $\sigma$  é, em geral, desconhecido, para obter a capacidade do processo usa-se um estimador:
- DP pode ser deduzido pelo gráfico  $\bar{R}$  ou  $\bar{S}$ :

$$S_x = \frac{\bar{R}}{d_2} \quad \text{OU} \quad S_x = \frac{\bar{S}}{c_4}$$

$$\text{Capacidade do processo} = 6S_x$$

### Método de análise da capacidade

- Um processo é dito capaz na medida em que sua variação natural ( $6S_x$ ) esteja dentro dos limites de especificação:



### Índices e Taxas de Capacidade de Processo

### Índices de capacidade

- Para quantificar a capacidade de um processo, foram criados índices que comparam a variação natural do processo com a variação permitida pela especificação.
- Os dois índices mais utilizados são:
  - **Cp** = índice de capacidade **potencial** do processo ou capacidade de máquina.
  - **Cpk** = índice de capacidade **nominal** do processo.

### Índice de Capacidade (Cp) OU Capacidade de máquina

### Índice de Capacidade (Cp)

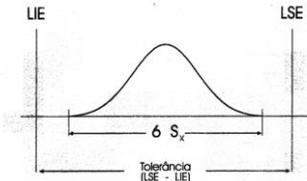
(Conhecido como Capacidade de Máquina):

- Definido como o intervalo de tolerância dividido pela capacidade do processo, ou seja, 6 vezes o desvio padrão estimado considerando a ausência de causas especiais.
- Ele é independente da centralização do processo (Não considera a descentralização de um processo).
- O desvio padrão é estimado considerando processos estáveis;

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6S_x}$$

## Índice de Capacidade (Cp)

- Note que estamos comparando a variação natural do processo ( $6 S_x$ ) com a variação permitida pela especificação (LSE - LIE).
- É conhecido também como **Índice de capacidade potencial do processo**: apenas informa se o mesmo "cabe" dentro da especificação



## Índice de Capacidade Potencial do Processo (Cp)

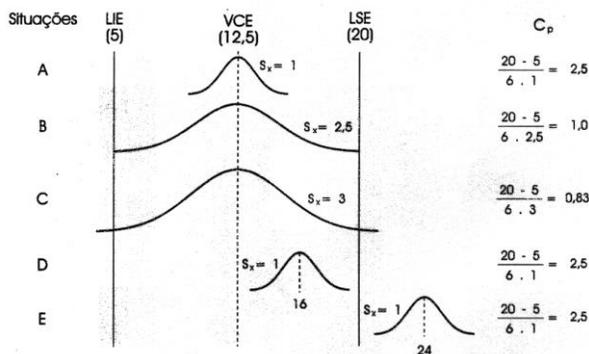
A análise do índice de capacidade é muito útil na tomada de decisões sobre a adequação do processo às especificações. Uma regra prática para esta análise é descrita a seguir:

- **Processo Vermelho**: ( $C_p < 1$ ), a capacidade do processo é inadequada à tolerância exigida.
- **Processo amarelo**: ( $1 \leq C_p \leq 1,33$ ), a capacidade do processo está em torno da diferença entre as especificações.
- **Processo Verde**: ( $C_p > 1,33$ ), a capacidade do processo é adequada à tolerância exigida.



- Nesta situação o ideal é realizar o trabalho com outro processo mais adequado, não sendo possível mudar o processo, deve-se tentar diminuir sua variabilidade.
  - Por último resta a possibilidade de se alterar as especificações do produto
1. O tratamento deve ser semelhante aquele dado ao processo vermelho e neste caso cartas de controle são muito úteis para manter o processo sob controle e evitar a produção de itens fora das especificações

## Situações comuns e respectivos Cp:



## Cpk: índice de capacidade nominal (ou real) do processo

### Cpk: índice de capacidade nominal do processo

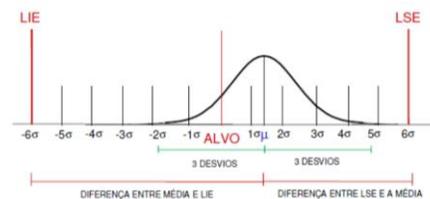
- Para representar a verdadeira capacidade do processo usa-se o índice Cpk, também chamado de **índice de capacidade nominal (real) do processo**.

$C_{pk} = \text{menor valor entre } C_{ps} \text{ e } C_{pi}$  onde:

$$C_{ps} = \frac{LSE - \bar{X}}{3S_x}$$

$$C_{pi} = \frac{\bar{X} - LIE}{3S_x}$$

### Exemplo:



$$C_{pi} = \frac{\bar{X} - LIE}{3\hat{\sigma}_{R/d_2}}$$

$$C_{ps} = \frac{LSE - \bar{X}}{3\hat{\sigma}_{R/d_2}}$$

## CLASSIFICAÇÃO DOS PROCESSOS

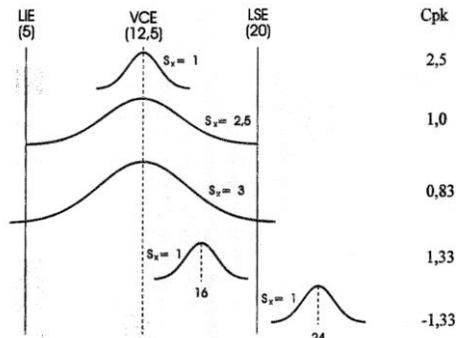
- A classificação dos processos quanto ao índice de capacidade varia de empresa para empresa, mas, em geral, os processos podem ser classificados da seguinte forma:

Cpk	Classificação
< 1,0	Incapaz
1,0 – 1,33	Parcialmente capaz
1,33 – 2,0	Capaz
> 2,0	Extremamente capaz

## SITUAÇÕES POSSÍVEIS

- Situação A :  $Cps = \frac{20 - 12,5}{3 \cdot 1} = 2,5$        $Cpi = \frac{12,5 - 5}{3 \cdot 1} = 2,5$
- Situação B :  $Cps = \frac{20 - 12,5}{2,5 \cdot 3} = 1,0$        $Cpi = \frac{12,5 - 5}{3 \cdot 2,5} = 1,0$
- Situação C :  $Cps = \frac{20 - 12,5}{3 \cdot 3} = 0,83$        $Cpi = \frac{12,5 - 5}{3 \cdot 3} = 0,83$
- Situação D :  $Cps = \frac{20 - 16}{3 \cdot 1} = 1,33$        $Cpi = \frac{16 - 5}{3 \cdot 1} = 3,67$
- Situação E :  $Cps = \frac{20 - 24}{3 \cdot 1} = -1,33$        $Cpi = \frac{24 - 5}{3 \cdot 1} = 6,33$

## SITUAÇÕES POSSÍVEIS



## Índices de capacidade: Cp e Cpk

- Devemos usar os 2 índices Cp e Cpk conjuntamente:
  - se forem diferentes, o processo não estará centrado em relação à especificação
  - quanto maior o valor do Cpk, melhor a capacidade do processo em atender às especificações

## Observações importantes:

- ✓ Cp é sempre maior ou igual a Cpk
- ✓ Quando o processo está centralizado, ou seja, a sua média está bem no meio da especificação, então  $Cp = Cpk$
- ✓ Sempre que  $Cpk < 1$ , há geração de produtos não-conformes
- ✓ Tanto Cp como Cpk só têm resultados válidos se a distribuição dos valores individuais for normal
- ✓ No caso de especificações unilaterais, somente se utiliza o índice Cpk

### • Mas o que é uma especificação unilateral?

- é quando só temos um Limite inferior ou um Limite superior especificado.
- Por ex. um comprimento tem que ser maior que 10. Neste caso só trabalharemos com o CPk, não temos como trabalhar com o CP.

## Cookies!!!



## Qualidade 6 Sigma

- Um conceito que vem ganhando bastante força atualmente é a chamada “Qualidade 6 Sigma” cujo requisito é  $Cpk$  maior ou igual a 2,0. O nome “Qualidade 6 Sigma” vem do fato de que um processo centrado com  $Cpk$  igual a 2,0 possui 6 desvios padrão de cada lado da média ou um total de 12 desvios padrão, dentro dos limites de especificação.

## REFERÊNCIAS

- MIOTTO, C. L. Cartas de controle: para entender a variação e gerenciar o caos na nova economia. *Revista do Centro de Ensino Superior de Catalão (CESUC)*. Ano IV. nº 06. Disponível em: <http://www.cesuc.br/revista/ed-1/CARTASDECONTROLE.pdf>. Acesso em 12 jan 2008.
- MIRANDA, H.; SHIGUTI, W. Curso de Amostragem nas Ações em Vigilância Sanitária. In: V Encontro do Instituto Adolfo Lutz. São Paulo. 13 a 16 out 2003.
- COSTA, A. F. B.; EPPRECHT, E. K.; CARPINETTI, L. C. R. Controle Estatístico de Qualidade. 2ª ed. São Paulo: Atlas. 2005. 336p.
- HIRATA, Y. K. Gráficos de Controle Para Laboratórios de Ensaio. *Biológico*, São Paulo, v.64, n.2, p.183-185, jul./dez., 2002
- Hradesky, John L., Aperfeiçoamento da qualidade e da produtividade, Guia prático para implementação do controle estatístico de processo – CEP, Trad. Maria Cláudia de Oliveira Santos, Rev. Técnica José Carlos de Castro Waeny, São Paulo: Mc Graw-Hill, 1989