



## Surgimento (CEP)

Procedimentos estatísticos

1. Teste de hipóteses (significância)
2. Estimação de parâmetros



## Surgimento (CEP)

Teste de hipóteses:

$$H_0: \mu = 1,5$$

$$H_1: \mu \neq 1,5$$

Se declaração de hipótese alternativa for como está acima, diz-se que o teste é bilateral.



## Surgimento (CEP)

Teste de hipóteses: Maneiras de introduzir a declaração da hipótese nula:

1. Conhecimento anterior;
2. Os valores são resultantes de modelos teóricos ou modelo do processo (empírico);
3. Os valores são resultantes de especificações contratuais ou de projeto.



## Surgimento (CEP)

Procedimento de controle

1. Monitoramento do processo: cheque continuado da operação do processo para detectar dados não usuais que podem causar falhas do sistema (atividade relacionada com o teste de hipótese),
2. Ajuste do processo: Em contraste, o ajuste é usado para estimar e compensar desvios ou outras alterações nos dados.



## Surgimento (CEP)

Década de 1930

As empresas Telefonia Bell e Wertern Electric necessitavam de peças que fossem idênticas na medida do possível.

Como garantir esse efeito?

Foi instituída a amostragem continuada



## Surgimento (CEP)

Walter Shewhart (membro da equipe de pesquisadores da Bell, baseou-se em:

"Nossos olhos e cérebro se desenvolveram para estarem alertas ao inesperado. Isso nos garante a sobrevivência."



## Surgimento (CEP)

Usando esta habilidade, propôs:  
Exibir a medição continuamente em sequência de tempo, de modo que pudesse ser feita uma comparação dos dados atuais com os dados do processo atuando corretamente.



## Surgimento (CEP)

Esse registro sequencial foi chamado de  
  
RUN CHART ou GRÁFICO DE CONTROLE



## Controle Estatístico de Processos (CEP)

É um conjunto de ferramentas (estatísticas e não estatísticas) de resolução de problemas com a finalidade de se obter a estabilidade e a melhoria da capacidade de processos, por meio da redução da variabilidade.



## Controle Estatístico de Processos (CEP)

O CEP se baseia em princípios sólidos, é de fácil uso, apresenta grande impacto e pode ser usado em qualquer processo.  
Na aplicação do CEP deve-se criar um ambiente no qual a principal finalidade é a melhoria continuada na qualidade e na produtividade.



## Controle Estatístico de Processos (CEP)

Principais ferramentas empregadas no CEP (também conhecidas como as 7 ferramentas):

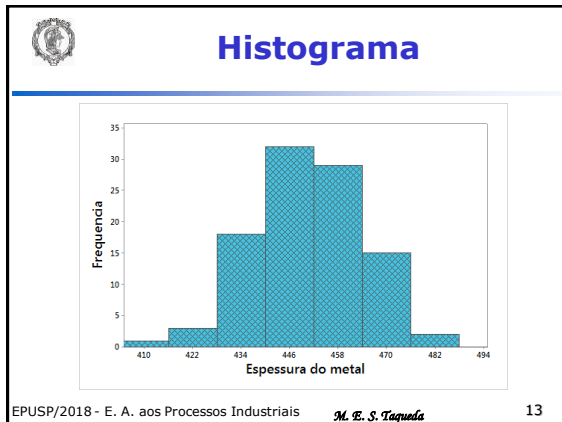
1. Histogramas
2. Folha de controle
3. Gráfico de Pareto
4. Diagrama de causa e efeito
5. Diagrama de concentração de defeito
6. Diagrama de dispersão
7. Gráfico de controle de Shewhart (run chart)



## Histogramas

Espessura de uma camada de metal sobre 100 placas de silício resultante de um processo de depósito de vapor química (DVQ) em uma indústria de semicondutores.

438	450	487	451	452	441	444	461	432	471
413	450	430	437	465	444	471	453	431	458
44	450	446	444	466	458	471	452	455	445
468	459	450	453	473	454	458	438	447	463
445	446	456	434	471	437	459	445	454	423
472	470	433	454	464	443	449	435	435	451
474	457	455	448	478	465	462	454	425	440
454	441	459	435	446	435	460	428	449	442
455	450	423	432	459	444	445	454	449	441
449	445	455	441	464	457	437	434	452	439



### Folha de Controle

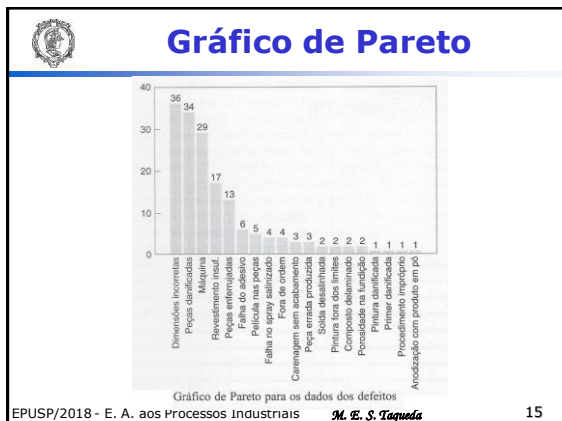
POUHA DE CONTROLE  
DADOS DE DEFEITOS PARA 2002-2003 YTD

Folha No.: TAX-41  
Localização: Boleiro  
Data Estudo: 6/5/03  
Analista: TCB

Defeito	2002												2003					Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	
Peças defeituosas	1	3	1	2	1	10	3						2	2	2			34
Problemas de máquina		3	3			1	6	3					6	3				29
Partes fornecidas em quantidade		1	1		2	8												13
Revestimento inadequado		3	6	4	3	1												17
Solda desalinhada		2																2
Processamento fora de ordem		2												2				4
Peça errada produzida		1					2											3
Conexões sem acabamento			3															3
Falha do adesivo			1					1	2		1	1						6
Anodização com produto em pó				1														1
Pintura fora dos limites										1								2
Pintura defeituosa por produto químico				1														1
Películas rasgadas				3		1												5
Letras de primer defeituosas						1												1
Porosidade na fundição						1	1											2
Composto delaminado							2											2
Dimensões incorretas								13	2	13	1	1						28
Processamento de tinta impróprio								1										1
Falha no spray saturado														4		2		6
TOTAL	4	5	14	12	5	9	9	6	10	14	20	7	29	7	6	2	166	

Uma folha de controle para registrar defeitos em um tanque usado em uma aplicação antirrespingo.

EPUSP/2018 - E. A. aos Processos Industriais *M. E. S. Tagueta* 14

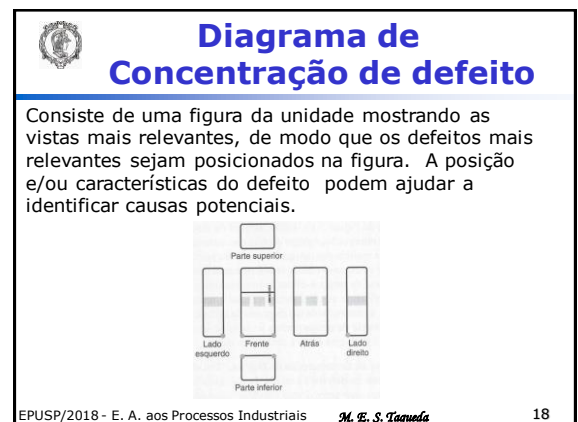
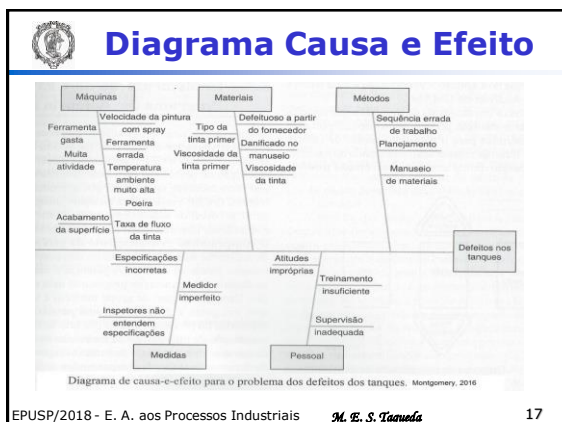


### Diagrama Causa e Efeito

Como construir um diagrama causa e efeito segundo Montgomery, D. C., 2016

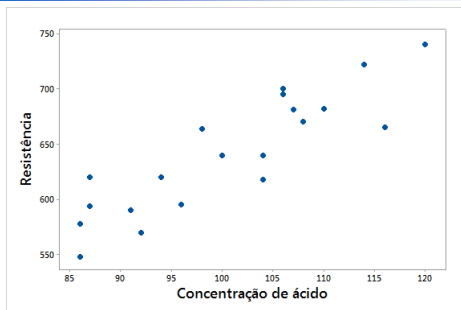
1. Defina o problema ou efeito a ser analisado;
2. Forme uma equipe para realizar a análise. Isto é, descubra causas potenciais;
3. Desenhe a caixa de efeito e a linha central;
4. Especifique as principais categorias de causas potenciais e coloque-as em caixas, ligadas a linha central;
5. Identifique as causas possíveis e classifique-as nas categorias do passo 4;
6. Ordene as causas para identificar aquelas que parecem mais prováveis de causar impacto sobre o problema;
7. Adote ações corretivas.

EPUSP/2018 - E. A. aos Processos Industriais *M. E. S. Tagueta* 16





## Diagrama de Dispersão



EPUSP/2018 - E. A. aos Processos Industriais

M. E. S. Taguella

19



## Gráfico de Controle Típico

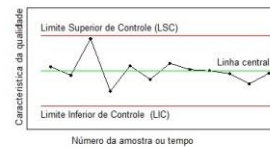


Gráfico típico de controle

EPUSP/2018 - E. A. aos Processos Industriais

M. E. S. Taguella

20



## Controle Estatístico de Processos (CEP)

Causas aleatórias e atribuíveis da variação da qualidade

Um processo que opera apenas com causas aleatórias é dito sob controle estatístico

Outros tipos de variabilidade podem estar presentes na saída do processo

EPUSP/2018 - E. A. aos Processos Industriais

M. E. S. Taguella

21



## Controle Estatístico de Processos (CEP)

As variabilidades nas características chave do processo podem ser causadas principalmente por:

1. Ajuste das máquinas
2. Erros do operador
3. Matéria prima

EPUSP/2018 - E. A. aos Processos Industriais

M. E. S. Taguella

22



## Controle Estatístico de Processos (CEP)

As variabilidades nas características chave são em geral muito grandes em relação ao ruído de fundo, e prejudica o desempenho do processo.

As fontes de variação não aleatórias são tratadas como causas atribuíveis, e o processo que opera nessas condições está **fora de controle**

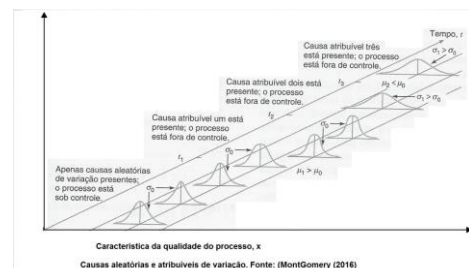
EPUSP/2018 - E. A. aos Processos Industriais

M. E. S. Taguella

23



## Controle Estatístico de Processos (CEP)



Causas aleatórias e atribuíveis de variação. Fonte: (Montgomery (2016))

EPUSP/2018 - E. A. aos Processos Industriais

M. E. S. Taguella

24



## Gráfico de Controle Típico

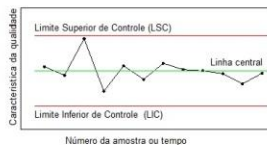


Gráfico típico de controle

EPUSP/2018 - E. A. aos Processos Industriais

M. E. S. Taquella

25



## Gráfico de Controle Típico

No exemplo da figura todos os pontos estão dentro dos limites de controle e não apresentam comportamento sistemático ou não aleatório

Pontos fora dos limites ou, mesmo que, todos os pontos estejam entre os limites, porém apresentando comportamento sistemático, o processo está **fora de controle**

EPUSP/2018 - E. A. aos Processos Industriais

M. E. S. Taquella

26



## Gráfico de Controle Base estatística

A teoria geral dos gráficos de controle foi proposta por Walter S. Shewhart, por isso os gráficos construídos com estes princípios são denominados **Gráficos de Controle de Shewhart** (Montgomery, 2016).

Estes gráficos são empregados na vigilância ou monitoramento on-line de processos.

EPUSP/2018 - E. A. aos Processos Industriais

M. E. S. Taquella

27



## Gráfico de Controle Base estatística

O uso mais importante do **gráfico de controle** é na melhoria de processos, visto que, os processos podem estar operando fora de controle. Consequentemente, o uso dos gráficos ajudará a identificar as causas atribuíveis.

Se o gráfico indica a presença de causas atribuíveis, os responsáveis pelo processo moverá ação no sentido da melhoria do processo.

EPUSP/2018 - E. A. aos Processos Industriais

M. E. S. Taquella

28



## Gráfico de Controle Base estatística

O **gráfico de controle** é usado também para estimativa de alguns parâmetros importantes ao processo como: média, desvio padrão, fração de não conformes ou defeituosos.

Estes parâmetros são úteis na determinação da capacidade do processo em produzir produtos aceitáveis

EPUSP/2018 - E. A. aos Processos Industriais

M. E. S. Taquella

29



## Gráfico de Controle Base estatística

Parte da ação corretiva associada com o gráfico de controle é o **plano de ação para fora de controle, PAFC**, (out of control action plan, OCAP).

O **PAFC** é um fluxograma ou um texto com a sequência de atividades a serem realizadas após a constatação de uma ocorrência.

EPUSP/2018 - E. A. aos Processos Industriais

M. E. S. Taquella

30



## Gráfico de Controle Base estatística

Os **gráficos de controle** são classificados em dois tipos:

1. Gráfico de controle para variáveis, úteis para controle de tendência central é uma medida de variabilidade, o gráfico  $\bar{x}$  é o mais usado.
2. Gráfico de controle para atributos, quando as características de qualidade não são medidas contínuas (variáveis discretas)



## Gráfico de Controle Base estatística

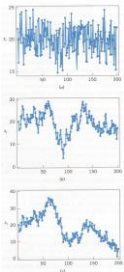
1. Seleção do tamanho da amostra;
2. Limites de controle; e,
3. Frequência de amostragem

Atualmente os gráficos de controle são examinados sob o ponto de vista econômico, considerando:

- a) O custo de amostragem;
- b) Perdas por permitir a fabricação de produtos defeituosos;
- c) O custo de investigação de defeitos que são alarmes falsos.



## Gráfico de Controle Base estatística



(a) Comportamento estacionário: os dados se comportam de forma previsível em torno de uma média fixa (ruído branco). Segundo Shewhart o processo está sob controle;

(b) Comportamento estacionário: porém, com comportamento diferente do gráfico (a). Neste caso, os dados estão autocorrelacionados (observações dependentes); e,

(c) Comportamento não estacionário: frequente na indústria química. Este tipo de comportamento pode ser estabilizado pelo controle da engenharia de processo. Ocorre quando há fatores que afetam o processo e não podem ser estabilizados como fatores ambientais ou propriedades da matéria prima.



## Escolha dos Limites de Controle

A especificação dos limites de controle é uma decisão importante quando se planeja um gráfico de controle.

Afastar os limites de controle da linha central – favorece a diminuição do erro tipo I (risco de um ponto sair fora dos limites, quando nenhuma causa atribuível está presente ou risco do produtor);

Alargar os limites de controle, também, favorece o aumento do erro tipo II (risco de um ponto está dentro dos limites de controle quando o processo está fora de controle ou risco do consumidor)

Ao aproximar os limites de controle da linha central, o efeito é oposto: Aumenta o erro tipo I e diminui o erro tipo II.



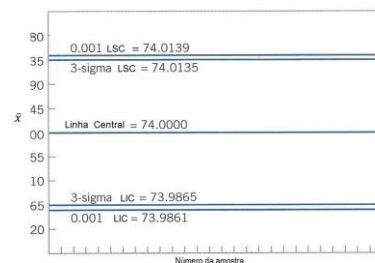
## Cálculo dos Limites de Controle

Pode-se especificar os limites de controle como:

1. Um múltiplo do desvio padrão de  $\bar{x}$ . O mais empregado é o limite de controle  $3\sigma$  (no caso, a probabilidade de ocorrer um erro tipo I é de 0,0027 (27 alarmes falsos em 10 000 oportunidades). Limites mais empregados nos Estados Unidos;
2. Limites de probabilidade 0,001 (A probabilidade de ocorrer um erro tipo I, calculando os limites correspondentes. Especificando esta em uma direção, o múltiplo do desvio padrão seria 3,09. Limites mais empregados na Europa



## Cálculo dos Limites de Controle



Comparação dos limites de controle 3-sigma e Limites de probabilidade 0.001



## Dois Limites em Gráficos de Controle

Pode-se especificar os limites de controle como:

1. Limites de ação: limites  $3\sigma$ ;
2. Limites de alerta: Limites  $2\sigma$ . Se um ou mais pontos ficarem situados entre o limite de controle e o limite de alerta ou muito próximo dos limites de alerta, deve-se suspeitar que o processo não está operando Adequadamente. Ação possível: aumentar a frequência de amostragem.

O uso de limites de alerta pode aumentar a sensibilidade do gráfico de controle, ou seja, o gráfico pode sinalizar precocemente uma mudança no processo.



## Dois Limites em Gráficos de Controle

