

Controle Estatístico de Qualidade

Lupércio França Bessegato
Dep. Estatística/UFJF

Roteiro

1. Qualidade na Empresa
2. Gestão da Qualidade
3. Métodos Estatísticos em Controle de Processos
4. Gráficos de Controle Univariados
5. Capacidade do Processo
6. Avaliação de Qualidade de Medidas
7. Inspeção de Qualidade
8. Monitoramento de Processo Multivariado
9. Referências

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

3

Melhoria de Qualidade na Empresa Moderna

Conceito de Qualidade

Não há uma única definição

- “*Adequação ao uso*”

Juran, 1999

- “*Atender e, se possível, exceder as expectativas do consumidor*”

Deming, 2000

- “*Atender às especificações*”

Crosby, 1995

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

5

Conceito de Qualidade – Costa *et al.*

- O valor do produto (ou do serviço) que quantifica o grau de satisfação do consumidor com respeito a vários quesitos

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

6

Dimensões da Qualidade

Garvin, 1987

- Desempenho
 - √ O produto realizará a tarefa pretendida?
- Confiabilidade
 - √ Qual a frequência de falhas do produto?
- Durabilidade:
 - √ Quanto tempo o produto durará?
- Assistência Técnica:
 - √ Qual a facilidade para consertar o produto?

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

7

- Estética
 - √ Qual a aparência do produto?
- Características
 - √ O que o produto faz?
- Qualidade percebida
 - √ Qual a reputação da empresa ou de seu produto?
- Conformidade com a especificação
 - √ O produto é feito como o projetista pretendia?

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

8

Definição Tradicional

Qualidade significa adequação ao uso

- Qualidade de projeto (design)
- Qualidade de conformação

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

9

Definição Moderna

- Qualidade é inversamente proporcional à variabilidade

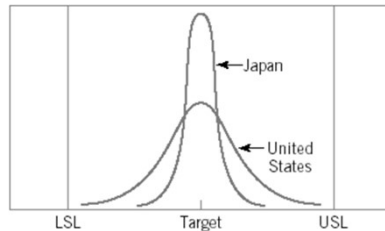
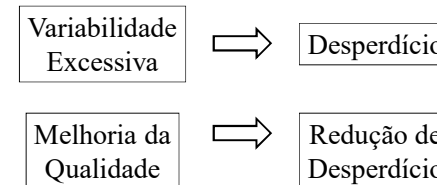


Figure 1-2 Distributions of critical dimensions for transmissions. Controle Estatístico de Qualidade - 2020

10

Melhoria da Qualidade

- Redução da variabilidade nos processos e produtos



Controle Estatístico de Qualidade - 2020

11

Terminologia

- Característica da Qualidade
 - ✓ Descreve o que o consumidor considera qualidade
 - ✓ Característica Física:
 - comprimento, temperatura, viscosidade, etc.
 - ✓ Característica Sensorial:
 - gosto, aparência, cor, etc.
 - ✓ Orientação Temporal:
 - confiabilidade, durabilidade, etc.

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

12

- Variável:
 - ✓ Característica da qualidade com medidas contínuas
- Atributo
 - ✓ Característica da qualidade categórica ou com medidas discretas
- Engenharia da Qualidade:
 - ✓ Conjunto de atividades para garantir as características de qualidade
- Objetivo:
 - ✓ Redução sistemática da variabilidade em características da qualidade (melhoria da qualidade)

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

13

- Valor nominal (valor-alvo)
 - ✓ Valor desejada para a característica da qualidade
- Limite Superior de Especificação (LSE)
 - ✓ Maior valor permitido para a característica de qualidade
- Limite Inferior de Especificação (LIE)
 - ✓ Menor valor permitido para a característica de qualidade

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

14

- Especificações
 - ✓ Medidas desejadas para as características de qualidade
- Produto Não-conforme:
 - ✓ Não corresponde a uma ou mais das especificações de suas características de qualidade

Nem todo contendo um defeito é defeituoso

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

15

Entendendo a Terminologia

- Controle → previsibilidade
 - ✓ fenômeno controlado é fenômeno previsível
 - ✓ Processo previsível → variação rotineira
 - ✓ Processo imprevisível → variação excepcional
- Gráfico de controle → gráfico do comportamento do processo
- Controle Estatístico do Processo → Métodos de Melhoria Contínua

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

16

Histórico Controle de Qualidade

- Era Artesanal
 - até século XIX
- Era Industrial
 - 1930 – 1980
- Era da Informação
 - a partir 1980

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

17

- Início:

- √ Produção: padronização ('encaixe de peças')
- √ Objetivo: intercambialidade das peças
- √ Conceitos necessários: especificação, tolerância, conformidade
- √ Foco: inspeção
- √ Desenvolvimento de áreas como metrologia, sistema de medidas e especificações

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

18

- Walter A. Shewhart (1924):

- √ Funde conceitos estatísticos à realidade produtiva da empresa
- √ Gráficos de controles
- √ PDCA (pla-do-check-act) para direcionamento das atividades de análise e solução de problemas

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

19

- Década de 30:

- √ Grande evolução do Controle de Qualidade
- √ Surgimento de técnicas de amostragem (redução inspeção 100%)
- √ Normas americanas e britânicas de controle estatístico de qualidade

- 2ª. Guerra Mundial:

- √ Grande catalisador para aplicação de controle de qualidade

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

20

- Pós-guerra:

- √ Consolidação da área de qualidade nos EUA
- √ 1946: Surgimento da *ASQC* – *American Society for Quality Control* (atual *ASQ* – *American Society for Quality*)
- √ 1950: Surgimento da *JUSE* – *Japan Union of Scientists and Engineers*

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

21

- Armand Feigenbaum, 1951:
 - ✓ Primeiro a tratar a qualidade de forma sistêmica nas organizações
 - ✓ Formula o sistema de Controle da Qualidade Total (*TQC – Total Quality Control*)
- Philip B. Crosby, 1957:
 - ✓ Lança elementos que criaram o programa *Zero Defeito* (popular na empresa e em programas militares)

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

22

- Joseph Juran
 - ✓ 1951: *Planning and Practices em Quality Control* que apresentava modelo que envolvia planejamento e apuração dos custos de qualidade
 - ✓ O Controle de Qualidade passa a ser visto como uma ferramenta administrativa
 - ✓ Representou transição do CEQ para o CQT, que envolve a participação de todos os setores e de todos os funcionários da empresa

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

23

Trilogia de Juran

- Planejamento da Qualidade
- Controle da Qualidade
- Aperfeiçoamento da Qualidade

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

24

- William Edwards Deming
 - ✓ Forte orientação estatística e foco no controle de qualidade
 - ✓ Incorpora aspectos relacionados à participação dos trabalhadores e da alta gerência como fundamentais para a boa Gestão da Qualidade

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

25

A Visão de Deming

- A maioria dos problemas de qualidade são decorrentes de problemas de gerenciamento
- Necessidade de visão empresarial comprometida com a qualidade
- Necessidade de cultura organizacional voltada para a qualidade

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

26

Deming – Contribuições Importantes

- Utilização do ciclo PDCA
- Importância do entendimento da variabilidade presente nos processos
- Utilização de Gráficos de Controle para o gerenciamento de processos
- 14 Pontos de Deming

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

27

Ampliação da Gestão da Qualidade

- Pela cadeia de valor:
 - √ Gestão da Qualidade de todas as atividades que de alguma forma influem na satisfação do cliente
- Surgimento dos primeiros sistemas de garantia da qualidade:
 - √ setor militar
 - √ energia
 - √ indústria petrolífera
- Ampliação do foco
 - √ De questões puramente técnicas para gerenciais

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

28

• Kaoru Ishikawa

- √ Teve importante papel no modelo japonês (década de 60 e 70)
- √ Difusão de ferramentas e técnicas de análise e solução de problemas e gerenciamento de rotina utilizadas por grupos de melhoria (CQCs)
- √ 7 ferramentas da qualidade:
 - análise de Pareto, diagrama de causa-e-efeito, histograma, folhas de controle, diagramas de escada, gráficos de controle e fluxos de controle

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

30

- Genichi Taguchi

- ✓ Foco nas atividades de projeto e não de produção
- ✓ Denominou a área como controle de qualidade *off-line*, para diferenciá-la das técnicas *on-line* de controle estatístico de processo
- ✓ Julgava que a única forma de satisfazer o cliente era criar produto de qualidade robusta (*robust quality*)

Controle Estatístico da Qualidade - 2020

31

Conceito de Qualidade – Taguchi

- A produção, o uso e o descarte de um produto sempre acarretam perda (prejuízo) para a sociedade.
 - ✓ Quanto menor for a perda, melhor será a qualidade do produto
- Perdas para a sociedade:
 - ✓ Prejuízo ao meio ambiente
 - ✓ Prejuízos diretos para os consumidores
 - quebras, consumo excessivo, etc.

Controle Estatístico da Qualidade - 2020

32

Normas da Série ISO 9000

- Define modelos de gestão da qualidade usados para:
 - ✓ demonstrar capacidade da empresa (para garantir a qualidade) junto a seus clientes e também para avaliação por órgãos certificadores
- Evolução:
 - ✓ Primeira edição lançada em 1987 e revisada em 1994
 - ✓ Última revisão 2015
- Lista de normas e guias da série ISO 9000:
 - ✓ <http://www.abntcb25.com.br/>

Controle Estatístico da Qualidade - 2020

33

Outras Séries ISO

- ISO 10.000:
 - ✓ Orientações para auditorias.
- ISO 14.000:
 - ✓ Diretrizes para gestão ambiental dentro de empresas.
- ISO 21.500
 - ✓ Padronização em gerenciamento de projetos
- ISO 31000
 - ✓ Padronização de terminologias e conceitos da gestão de riscos.

Controle Estatístico da Qualidade - 2020

34

Seis Sigma

- Motorola, 1989

✓ Em geral, produtos com muitos componentes complexos têm muitas oportunidades para **falhas e defeitos**

✓ Foco:

- Reduzir a variabilidade das principais características de qualidade a um nível tal que falhas e defeitos sejam extremamente improváveis

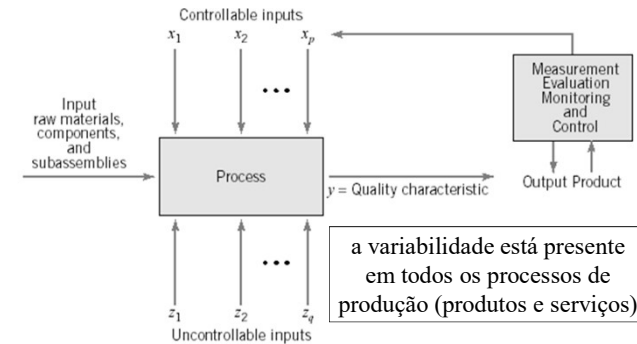
✓ Conceito:

- Atuar na variabilidade do processo de modo que os limites de especificação estejam a seis desvios-padrão da média

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

35

Processo de Produção



- Processo = conjunto de causas (entradas controláveis e não-controláveis) que provoca um ou mais efeitos (saídas)

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

38

Processo de Produção

- Atuam vários fatores (causas) que afetam suas características de qualidade (efeitos)
- Família de causas:
 - ✓ Matéria prima
 - ✓ Máquinas
 - ✓ Medidas
 - ✓ Meio-ambiente
 - ✓ Mão-de-obra
 - ✓ Método

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

39

Métodos Estatísticos para Controle e Melhoria da Qualidade

- Controle Estatístico do Processo
 - ✓ Gráficos de Controle
 - ✓ Capacidade de Processo
 - ✓ Análise Sistema de Medidas
- Planejamento de Experimentos
- Amostragem de Aceitação

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

41

- Qualidade de projeto (*design*):

- ✓ Determinação das condições ótimas dos parâmetros
- ✓ Procedimento *off-line*
- ✓ Usado em atividade de desenvolvimento ou nos estágios iniciais de manufatura

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

42

- Qualidade de conformação:

- ✓ Como o produto corresponde às especificações de projeto
(*Controle Estatístico de Processo*)
- ✓ Procedimento *on-line*
- ✓ Usado durante o processo de produção

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

43

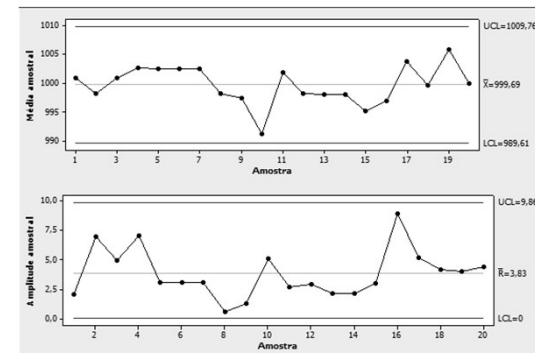
Controle Estatístico do Processo

- Acompanhamento contínuo de um fluxo de atividades, em que podem ser realizados ajustes, para que o resultado do esforço esteja em conformidade com um padrão definido

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

44

Gráficos de Controle



- É uma das principais técnicas de CEP

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

45

Gráficos de Controle – Características

- Eficácia:
 - √ Medida da rapidez com que são detectadas alterações no processo
- Parâmetros de planejamento:
 - √ tamanho das amostras
 - √ intervalo de tempo entre amostragens
 - √ limites de controle
- Escolha estatística dos parâmetros:
 - √ *Trade-off* entre custo de operação e eficácia

Controle Estatístico da Qualidade - 2020

46

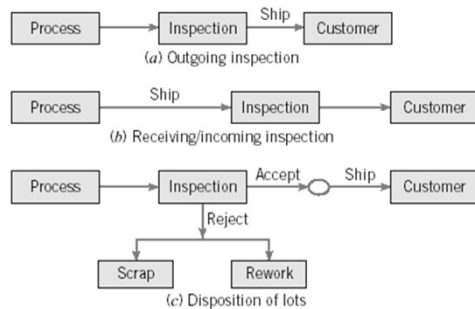
Inspeção de Aceitação

- Inspeção de amostra aleatória de unidades e decisão final sobre destino do lote
 - √ Em geral ocorre por ocasião da entrada de insumos e/ou na produção final
 - √ Os programas de melhoria contínua sugerem a redução no uso de técnicas de inspeção de aceitação
 - √ (“fazer certo” da primeira vez e não verificar após agregação de valor ao produto)
 - √ Anterior ao desenvolvimento da metodologia estatística para melhoria da qualidade

Controle Estatístico da Qualidade - 2020

47

Variações da Amostragem de Aceitação



Controle Estatístico da Qualidade - 2020

48

Métodos de Engenharia de Qualidade

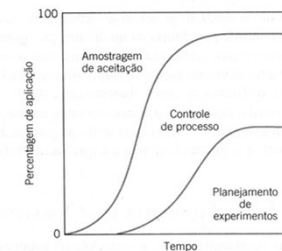


Fig. 1-7 Diagrama de fases do uso de métodos da engenharia da qualidade.

- Os sistemas modernos de garantia da qualidade enfatizam menos a amostragem de aceitação, focando CEP e DOE

Controle Estatístico da Qualidade - 2020

49

Melhoria Contínua da Qualidade

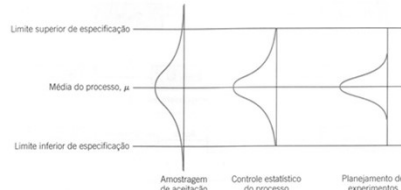


Fig. 1-8 Aplicação de técnicas de engenharia da qualidade e a sistemática redução na variabilidade do processo.

- **Objetivo Principal:**
 - ✓ Redução sistemática da variabilidade nas características chave da qualidade do produto

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

50

Eras da Qualidade

- Inspeção do Produto
- Controle do Processo
- Garantia da Qualidade
- Gestão da Qualidade Total

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

51

Inspeção

- **Interesse Principal:**
 - ✓ Verificação
- **Visão da Qualidade:**
 - ✓ Um problema a ser resolvido
- **Ênfase:**
 - ✓ Uniformidade do produto
- **Métodos:**
 - ✓ Instrumentos de medição
- **Papel dos Profissionais da Qualidade:**
 - ✓ Inspeção, classificação, contagem, avaliação e reparo
- **Responsável pela Qualidade:**
 - ✓ Departamento de Inspeção

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

52

Controle do Processo

- **Interesse Principal:**
 - ✓ Controle
- **Visão da Qualidade:**
 - ✓ Um problema a ser resolvido
- **Ênfase:**
 - ✓ Uniformidade do produto com menos inspeção
- **Métodos:**
 - ✓ Ferramentas e técnicas estatísticas
- **Papel dos Profissionais da Qualidade:**
 - ✓ Solução de problemas e a aplicação de métodos estatísticos
- **Responsável pela Qualidade:**
 - ✓ Departamentos de fabricação e de engenharia (CQ)

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

53

Garantia da Qualidade

- Interesse Principal:
 - √ Coordenação
- Visão da Qualidade:
 - √ Um problema a ser resolvido, mas enfrentado proativamente
- Ênfase:
 - √ Toda a cadeia de fabricação, desde o projeto até o mercado, e a contribuição de todos os grupos funcionais para impedir falhas de qualidade
- Métodos:
 - √ Programas e sistemas

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

54

- Papel dos Profissionais da Qualidade:
 - √ Planejamento, medição da qualidade e desenvolvimento de programas
- Responsável pela Qualidade:
 - √ Todos os departamentos, com a alta administração se envolvendo superficialmente no planejamento e na execução das diretrizes da qualidade

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

55

Gestão da Qualidade Total

- Interesse Principal:
 - √ Impacto estratégico
- Visão da Qualidade:
 - √ Uma oportunidade de diferenciação da concorrência
- Ênfase:
 - √ As necessidades de mercado e do cliente
- Métodos:
 - √ Planejamento estratégico, estabelecimento de objetivos e a mobilização da organização

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

56

- Papel dos Profissionais da Qualidade:
 - √ Estabelecimento de metas, educação e treinamento, consultoria a outros departamentos e desenvolvimento de programas
 - Responsável pela Qualidade:
 - √ Todos na empresa, com a alta administração exercendo forte liderança
- Fonte: M.M. de Carvalho e E.P. Paladini (coord.). *Gestão da Qualidade: Teoria e Casos*.

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

57

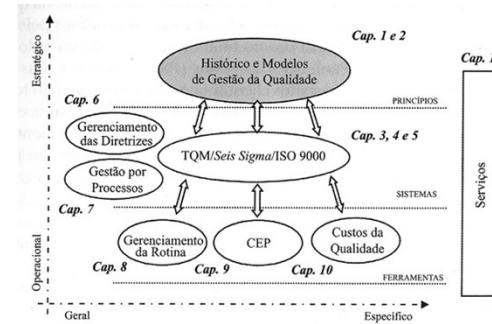
Aspectos Gerenciais da Melhoria de Qualidade

- Gerenciamento da qualidade pode ser obtido utilizando-se três processos gerenciais (Trilogia Juran)
 - ✓ Planejamento da Qualidade
 - ✓ Controle da Qualidade
 - ✓ Melhoria da Qualidade

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

58

Modelo Geral da Gestão da Qualidade



Fonte: M.M. de Carvalho e E.P. Paladini (coord.). *Gestão da Qualidade: Teoria e Casos*.

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

59

Fontes de Pesquisa – Congressos

- Encontro Nacional de Engenharia de Produção – Enegep
 - ✓ Associação Brasileira de Engenharia de Produção (Abepro)
- Simpósio Nacional de Probabilidade e Estatística – Sinap
 - ✓ Associação Brasileira de Estatística (ABE)
- Simpósio Nacional de Pesquisa Operacional – SBPO
 - ✓ Sociedade Brasileira de Pesquisa Operacional (Sobrapo)

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

60

Fontes de Pesquisa – Periódicos Nacionais

- Produção
 - ✓ Editado pela Abepro
- Gestão & Produção
 - ✓ Editado pela UFSCar
- Produto & Produção
 - ✓ Editado pela UFRGS
- Pesquisa Operacional
 - ✓ Editado pela Sobrapo

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

61

Fontes de Pesquisa – Periódicos Internacionais

- *Journal of Quality Technology*
√ Editado pela *American Society of Quality (ASQ)*
- *Quality Engineering*
√ Editado pela *ASQ* e Marcel Dekker
- *IIE Transactions*
√ Editado pelo *Industrial Engineers (IIE)*
- *Technometrics*
√ Editado pela *ASQ* e *American Statistical Association*

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

62

Referências

Bibliografia Recomendada

- COSTA, A.F.B.; EPPRECHT, E.K. e CARPINETTI, L.C.R. *Controle Estatístico de Qualidade*. Atlas, 2004
- MONTGOMERY, D.C. *Introdução ao Controle Estatístico de Qualidade*, 4ª. edição. LTC, 2004
- WERKEMA, M.C.C. *Ferramentas Estatísticas Básicas para o Gerenciamento de Processos*. Fundação Cristiano Ottoni, 1995.
- CARVALHO, M.M. E PALADINI, E.P. *Gestão da Qualidade: Teoria e Casos*. Campus, 2006.

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

64