

CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO

Prof. Alfredo Pieritz Netto



UNIASSELVI

2017



UNIASSELVI

Copyright © UNIASSELVI 2017

Elaboração:

Prof. Me. Eng. Alfredo Pieritz Netto

Revisão, Diagramação e Produção:

Centro Universitário Leonardo da Vinci – UNIASSELVI

Ficha catalográfica elaborada na fonte pela Biblioteca Dante Alighieri

UNIASSELVI – Indaial.

658

N472 c Netto, Alfredo Pieritz

Controle estatístico do processo / Alfredo Pieritz Netto.
Indaial: UNIASSELVI, 2017.

241 p. : il.

ISBN 978-85-515-0118-4

Da Vinci. 1.Administração. I. Centro Universitário Leonardo

APRESENTAÇÃO

Olá, caro acadêmico! Seja bem-vindo a esta nova disciplina em seu curso. Estaremos juntos no desenvolvimento de conceitos relativos a esta disciplina de Controle Estatístico de Processos, também conhecido dentro das empresas e no meio acadêmico como CEP, uma importante ferramenta na gestão da qualidade das organizações, principalmente nas organizações industriais. Estaremos, neste livro didático, apresentando as principais considerações referentes ao tema, além de buscarmos uma troca de experiências práticas com você.

Esta disciplina, como apresentado no próprio título, trabalhará com ferramentas da estatística e da probabilidade para ajudar a indicar tendências dos processos produtivos em relação à qualidade dos produtos ou serviços, auxiliando o profissional da engenharia a tomar decisões quanto aos processos industriais/serviços.

Salientamos ainda que o conhecimento desta ferramenta da qualidade possibilitará a você, acadêmico, ter uma compreensão melhor do mundo das organizações industriais, principalmente no que se refere a entender e prever possíveis ameaças à qualidade nos seus processos produtivos. Iremos buscar exemplos práticos para ampliar o seu conhecimento e a sua utilização dentro das organizações.

Buscaremos, em diversos momentos, proporcionar discussões referente a temas relacionados ao CEP e à aplicação dentro das organizações industriais brasileira e mundial, no intuito de enriquecer a sua visão sobre o tema proposto, pois pretende-se trazer tópicos atuais relativos à profissão, uma vez que vivemos em constantes transformações e as técnicas organizacionais estão constantemente evoluindo. Por isso, o engenheiro que trabalha em organizações industriais precisa estar se aperfeiçoando constantemente nos assuntos relativos à sua área de especialização profissional.

Na primeira unidade, cujo título é INTRODUÇÃO AO CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSOS E PROCESSOS INDUSTRIAIS, você estudará sobre alguns conceitos básicos fundamentais para entender o Controle Estatístico de Processos (CEP), revisando alguns conceitos relativos a processos industriais e da qualidade. Estaremos ainda revisando alguns conceitos referentes à estatística e que serão utilizados em todo o livro didático.

Na segunda unidade, você irá aprender sobre as Cartas de Controle (CC), e este também é o título dessa unidade; os seus tipos, além de aprender a montar Cartas de Controle para Variáveis (CCV) e as Cartas de Controle para Atributos (CCA). Você ainda irá aprender com diversos exemplos práticos desenvolvidos para o seu aprimoramento.

Na terceira e última unidade, que tem como título a ANÁLISE DAS CARTAS DE CONTROLE, PROBABILIDADE E CAPABILIDADE, você estudará e executará cálculos e gráficos para identificar a capacidade dos processos.

Este livro de estudos foi desenvolvido para que você, futuro engenheiro, não só o estude, mas faça e refaça todos os cálculos apresentados em seus exemplos, assim como desenvolva e estude a lista de exercícios, pois o engenheiro é o/a homem/mulher de cálculos. Recomendamos utilizar uma boa calculadora científica, ou a planilha eletrônica, para a resolução dos exemplos e exercícios.

Pronto para começar a estudar sobre o CEP?

Então, bons estudos!

Profº Me. Eng. Alfredo Pieritz Netto



Você já me conhece das outras disciplinas? Não? É calouro? Enfim, tanto para você que está chegando agora à UNIASSELVI quanto para você que já é veterano, há novidades em nosso material.

Na Educação a Distância, o livro impresso, entregue a todos os acadêmicos desde 2005, é o material base da disciplina. A partir de 2017, nossos livros estão de visual novo, com um formato mais prático, que cabe na bolsa e facilita a leitura.

O conteúdo continua na íntegra, mas a estrutura interna foi aperfeiçoada com nova diagramação no texto, aproveitando ao máximo o espaço da página, o que também contribui para diminuir a extração de árvores para produção de folhas de papel, por exemplo.

Assim, a UNIASSELVI, preocupando-se com o impacto de nossas ações sobre o ambiente, apresenta também este livro no formato digital. Assim, você, acadêmico, tem a possibilidade de estudá-lo com versatilidade nas telas do celular, *tablet* ou computador.

Eu mesmo, UNI, ganhei um novo *layout*, você me verá frequentemente e surgirei para apresentar dicas de vídeos e outras fontes de conhecimento que complementam o assunto em questão.

Todos esses ajustes foram pensados a partir de relatos que recebemos nas pesquisas institucionais sobre os materiais impressos, para que você, nossa maior prioridade, possa continuar seus estudos com um material de qualidade.

Aproveito o momento para convidá-lo para um bate-papo sobre o Exame Nacional de Desempenho de Estudantes – ENADE.

Bons estudos!



BATE SOBRE O PAPO ENADE!



Olá, acadêmico!

Você já ouviu falar sobre o **ENADE**?

Se ainda não ouviu falar nada sobre o ENADE, agora você receberá algumas informações sobre o tema.

Ouviu falar? Ótimo, este informativo reforçará o que você já sabe e poderá lhe trazer novidades.



Vamos lá!

Qual é o significado da expressão ENADE?

EXAME NACIONAL DE DESEMPENHO DOS ESTUDANTES

Em algum momento de sua vida acadêmica você precisará fazer a prova ENADE.



Que prova é essa?

É **obrigatória**, organizada pelo INEP – Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira.

Quem determina que esta prova é obrigatória... O **MEC – Ministério da Educação**.

O objetivo do MEC com esta prova é o de avaliar seu desempenho acadêmico assim como a qualidade do seu curso.



Fique atento! Quem não participa da prova fica impedido de se formar e não pode retirar o diploma de conclusão do curso até regularizar sua situação junto ao MEC.

Não se preocupe porque a partir de hoje nós estaremos auxiliando você nesta caminhada.

Você receberá outros informativos como este, complementando as orientações e esclarecendo suas dúvidas.



Você tem uma trilha de aprendizagem do ENADE, receberá e-mails, SMS, seu tutor e os profissionais do polo também estarão orientados.

Participará de webconferências entre outras tantas atividades para que esteja preparado para #mandar bem na prova ENADE.

Nós aqui no NEAD e também a equipe no polo estamos com você para vencermos este desafio.

Conte sempre com a gente, para juntos mandarmos bem no ENADE!



SUMÁRIO

UNIDADE 1 - INTRODUÇÃO AO CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSOS E PROCESSOS INDUSTRIAIS	1
TÓPICO 1 - INTRODUÇÃO À QUALIDADE E AOS PROCESSOS INDUSTRIAIS	3
1 INTRODUÇÃO	3
2 PROCESSOS INDUSTRIAIS	5
3 HISTÓRIA DA QUALIDADE	20
LEITURA COMPLEMENTAR	25
RESUMO DO TÓPICO 1	27
AUTOATIVIDADE	28
TÓPICO 2 - INTRODUÇÃO AO CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSOS - CEP	29
1 INTRODUÇÃO	29
2 INTRODUÇÃO AO CEP	31
3 CONCEITOS BÁSICOS RELACIONADOS AO CEP	34
4 ALGUNS CONCEITOS DA ESTATÍSTICA	37
5 VARIABILIDADE: CAUSAS COMUNS E CAUSAS ESPECIAIS	38
5.1 CAUSAS COMUNS	39
5.2 CAUSAS ESPECIAIS	40
RESUMO DO TÓPICO 2	43
AUTOATIVIDADE	45
TÓPICO 3 - FERRAMENTAS DE CONTROLE	47
1 INTRODUÇÃO	47
2 INTRODUÇÃO ÀS CARTAS DE CONTROLE	48
3 DISTRIBUIÇÃO NORMAL	49
3.1 DISTRIBUIÇÃO NORMAL E O GRÁFICO DE CONTROLE	52
3.2 GRÁFICO DE CONTROLE	54
4 EXEMPLO DE APLICAÇÃO DAS CARTAS DE CONTROLE	60
LEITURA COMPLEMENTAR	62
RESUMO DO TÓPICO 3	66
AUTOATIVIDADE	68
UNIDADE 2 - CARTAS DE CONTROLE	71
TÓPICO 1 - DESENVOLVIMENTO DE CARTAS DE CONTROLE (CC)	73
1 INTRODUÇÃO	73
2 PROCESSOS DE ELABORAÇÃO DE UMA CARTA DE CONTROLE	74
2.1 PASSOS PARA ELABORAÇÃO DE UMA CARTA DE CONTROLE	78
3 TIPIFICAÇÃO DAS CARTAS DE CONTROLE DE QUALIDADE	80
RESUMO DO TÓPICO 1	85
AUTOATIVIDADE	86
TÓPICO 2 - GRÁFICOS DE CONTROLE POR VARIÁVEIS	87
1 INTRODUÇÃO	87

2 CARTAS DE MÉDIAS E AMPLITUDE ($\bar{X}$ - R)	88
2.1 CÁLCULOS DOS LIMITES DE CONTROLE PARA OS GRÁFICOS DE $\bar{X}$ - R	93
2.1.1 Quando valores de referência não são conhecidos	93
2.1.2 Quando valores de referência são conhecidos	105
3 GRÁFICOS DE CONTROLE $\bar{X}$ - S	111
3.1 QUANDO VALORES DE REFERÊNCIA NÃO SÃO CONHECIDOS	112
3.2 QUANDO VALORES DE REFERÊNCIA SÃO CONHECIDOS	119
4 GRÁFICOS DE CONTROLE I - MR	120
4.1 QUANDO VALORES DE REFERÊNCIA NÃO SÃO CONHECIDOS	121
4.2 QUANDO VALORES DE REFERÊNCIA SÃO CONHECIDOS	128
RESUMO DO TÓPICO 2	132
AUTOATIVIDADE	137
 TÓPICO 3 - GRÁFICOS DE CONTROLE POR ATRIBUTOS	 139
1 INTRODUÇÃO	139
2 GRÁFICO DA PROPORÇÃO DE ITENS DEFEITUOSOS - GRÁFICO p E np	141
3 GRÁFICO DO NÚMERO TOTAL DE DEFEITOS - GRÁFICO C E U	151
LEITURA COMPLEMENTAR	161
RESUMO DO TÓPICO 3	163
AUTOATIVIDADE	165
 UNIDADE 3 - ANÁLISE DAS CARTAS DE CONTROLE, PROBABILIDADE E CAPABILIDADE	 167
 TÓPICO 1 - INTRODUÇÃO AO ESTUDO DA CAPACIDADE DO PROCESSO	 169
1 INTRODUÇÃO	169
2 CAPACIDADE DO PROCESSO	170
3 A ORGANIZAÇÃO INDUSTRIAL E A ENGENHARIA INDUSTRIAL	173
LEITURA COMPLEMENTAR	175
RESUMO DO TÓPICO 1	178
AUTOATIVIDADE	179
 TÓPICO 2 - CAPACIDADE DO PROCESSO	 181
1 INTRODUÇÃO	181
2 CÁLCULOS DE CAPABILIDADE (C_p , C_{pk} , P_p e P_{pk})	182
2.1 CÁLCULOS DE CAPABILIDADE (C_p , C_{pk})	185
2.2 CÁLCULOS DE ÍNDICES DE PERFORMANCE (P_p , P_{pk})	199
3 INTERPRETAÇÃO GRÁFICA DE C_p E C_{pk}	204
LEITURA COMPLEMENTAR	207
RESUMO DO TÓPICO 2	211
AUTOATIVIDADE	213
 TÓPICO 3 - APLICAÇÃO DO CEP	 215
1 INTRODUÇÃO	215
2 A FÁBRICA MODERNA E O CEP	215
3 APLICAÇÃO PRÁTICA E EXEMPLOS	217
3.1 MODELO COMPLETO DE DIMENSIONAMENTO DE CEP	222
LEITURA COMPLEMENTAR	231
RESUMO DO TÓPICO 3	236
AUTOATIVIDADE	237
REFERÊNCIAS	238
ANEXO 1	241

INTRODUÇÃO AO CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSOS E PROCESSOS INDUSTRIAIS

OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM

A partir desta unidade, você será capaz de:

- conhecer a evolução ocorrida nos processos de controle industrial;
- compreender conceitos básicos relacionados à qualidade e CEP;
- conhecer conceitos básicos relacionados à curva normal;
- aprofundar os conhecimentos acerca dos Cartas de Controle (CC);
- capacitar o acadêmico a aplicar os cartas de controle (CC) em sua vida profissional;
- identificar processos em que poderão ser aplicados gráficos de controle.

PLANO DE ESTUDOS

Esta unidade está dividida em três tópicos. No decorrer da unidade você encontrará autoatividades com o objetivo de reforçar o conteúdo apresentado.

TÓPICO 1- INTRODUÇÃO À QUALIDADE E AOS PROCESSOS INDUSTRIAIS

TÓPICO 2 – INTRODUÇÃO AO CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSOS - CEP

TÓPICO 3 – FERRAMENTAS DE CONTROLE

INTRODUÇÃO À QUALIDADE E AOS PROCESSOS INDUSTRIAIS

1 INTRODUÇÃO

“Qualidade e Produtividade são conceitos idênticos. Mas isto é entendido por um número muito pequeno de pessoas” (W. E. Deming)

Atualmente, no mundo comercial, os consumidores desejam adquirir produtos adequados à sua realidade. Eles não estão preocupados em quantos funcionários, ou métodos de análise determinada indústria tem para trabalhar a qualidade do produto, querem consumir o produto com a qualidade por eles esperada.

Hoje, vemos o embate indústria versus consumidor versus tecnologia cada vez mais premente e mais delicado, gerando muitas incertezas com relação ao futuro do consumo, e ao futuro das organizações. A única certeza que temos é que o consumidor vai consumir, mas que produto, de que organização, isto não podemos ter certeza. O que podemos afirmar é que o consumidor está cada vez mais ciente de que está à procura de produtos com mais QUALIDADE para o seu dia a dia, logo, as organizações também estão desenvolvendo sistemas cada vez mais complexos e automatizados de controle de qualidade.

Conforme apresentado por Pieritz (2016, p. 3), as organizações industriais podem ser entendidas “como organizações complexas, e particulares em seu contexto, pois dificilmente encontraremos duas unidades fabris iguais entre si em seus processos de operacionalização, [...] então podemos afirmar que duas empresas dificilmente terão processos de produção iguais, mesmo produzindo produtos similares”. Pieritz (2016, p. 3) descreve ainda que:

Assim, podemos afirmar que duas montadoras de carros, apesar de ter um produto similar: automóvel, as suas linhas de produção não serão iguais, mas poderão ter muita similaridade, porém terão características específicas imputadas pela sua equipe de engenheiros, que trabalharam para o aprimoramento da mesma. E esta situação vale para qualquer tipo de empresa industrial.

FIGURA 1 – LINHA DE MONTAGEM AUTOMATIZADA



FONTE: Disponível em: <<http://speedb.blogspot.com.br/2012/11/a-fabrica-nao-pode-parar.html>>. Acesso em: 3 maio 2017.

A Figura 1 foi apresentada para que você reflita sobre os caminhos da engenharia moderna e a importância do conhecimento e desenvolvimento de novos sistemas de garantia de qualidade e conformidade dos produtos produzidos pelas indústrias, conforme a necessidade dos consumidores. Hoje em dia, em muitos segmentos, as organizações industriais precisam tomar cuidado com as normas instituídas para a definição de um padrão mínimo para a liberação ao consumo. Essa figura ainda remete a questões importantes relacionadas à produção e à qualidade das linhas de produção automatizadas, levando a algumas ponderações importantes, como as que apresentamos a seguir:

- Qual é o limite para a automação das linhas de produção?
- Será que todas as empresas industriais poderão ser automatizadas?
- Como será a qualidade das linhas de produção automatizadas?
- Os robôs industriais erram?
- Aonde as pessoas trabalharão no futuro?
- Com a automação e robotização das linhas de produção, então a qualidade é 100%?
- Qual o futuro dos engenheiros nas indústrias?

E as duas perguntas que não querem calar:

- Aonde vamos TRABALHAR?
- Como vamos consumir os produtos devido à situação do emprego no futuro?



Prezado acadêmico, só existe um jeito de aprender, é exercitar e refletir sobre o que estudamos. Para iniciarmos, reflita sobre o que vimos acima e crie os seus próprios questionamentos sobre o futuro das organizações e a sua influência no nível de empregos e padrões de trabalho nas organizações industriais.

Esperamos que você aproveite para fazer boas análises sobre o futuro e BOAS REFLEXÕES.

A modernidade nas indústrias é fundamental para atender às exigências dos consumidores e a modernização dos parques fabris. Veremos adiante o processo de modernização da aplicação dos sistemas de controle de qualidade aplicado dentro das empresas, com hardwares e softwares especialistas e dedicados a controlar e solucionar os sistemas produtivos modernos.

Neste tópico, você aprenderá e revisará alguns conceitos importantes sobre Organização e Processos Industriais, e abordaremos ainda sobre aspectos importantes da história da Qualidade.

2 PROCESSOS INDUSTRIAIS

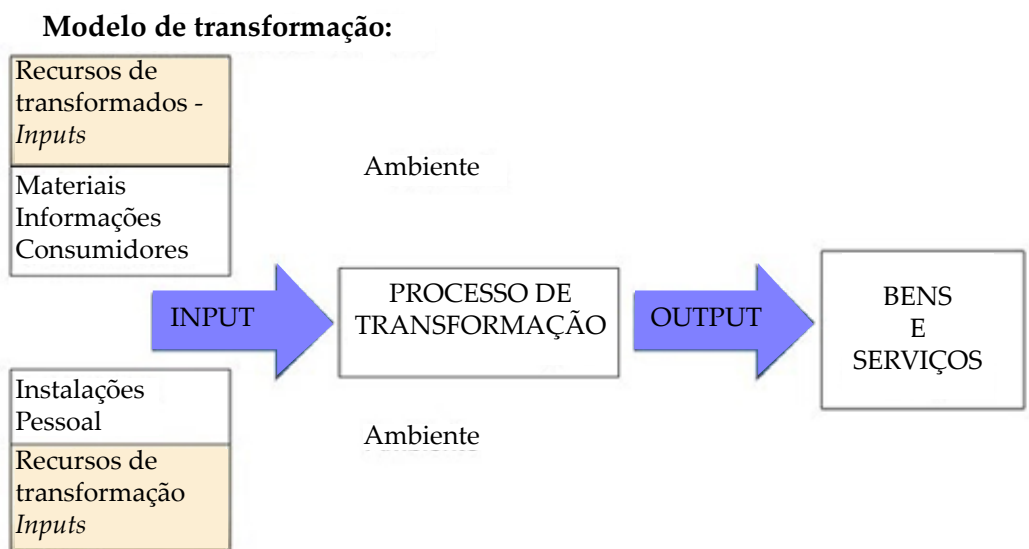
Olá, acadêmico, na introdução você foi instigado a pensar sobre o futuro das organizações, e o conduzimos a isto porque já estamos vivenciando uma ponta do futuro neste momento, com inúmeros engenheiros por todo o mundo trabalhando no desenvolvimento de tecnologias de produção, controle, controle de qualidade, entre outras situações. Voltando para nossa temática de estudo, as organizações industriais, e principalmente os processos industriais como os conhecemos hoje, são relativamente novos em relação à idade da humanidade, tendo um pouco mais de 100 anos da Revolução Industrial moderna, considerando seu início em meados dos anos de 1900.

O conhecimento de processos industriais e seus conceitos é de fundamental importância ao profissional da área, principalmente aos engenheiros que atuam nas linhas de produção das empresas industriais, por isso os autores Slack et al. (2006), Caulliraux, Clemente e Paim (2009), Martins e Laugeni (2005), Pieritz (2016), entre tantos estudiosos, têm definido **os processos industriais como sendo processos de transformação**. Pieritz (2016, p. 4-5) descreve, ainda em relação a esta definição, que:

Podemos definir processo industrial como sendo uma sequência contínua de fatos ou fenômenos que apresentam certa unidade ou se reproduzem com certa regularidade dentro das indústrias para produção de produtos ou matérias-primas para outras indústrias. As indústrias podem ter os mais diversos processos de fabricação e vemos que desde os primórdios da era industrial os engenheiros e técnicos sempre buscavam aprimorar os processos fabris, tornando as fábricas mais produtivas e menos estafantes para os operários.

O processo de transformação, conforme definido por Slack et al. (2006, p. 36), é “um sequenciamento de input, processo e output”, conforme pode-se ver na Figura 2, e serve de orientação para todo o nosso livro didático.

FIGURA 2 – MODELO DE TRANSFORMAÇÃO



FONTE: Slack et al. (2006, p. 36)

Alguns conceitos relacionados aos processos industriais e que explicam os conceitos apresentados na Figura 2 são apresentados por Moreira (2008, p. 8) como:

Os INSUMOS são os recursos a serem transformados diretamente em produtos, como as matérias-primas, e mais os recursos que movem o sistema, como a mão de obra, o capital, as máquinas e equipamentos, as instalações, o conhecimento técnico dos processos etc.

O PROCESSO DE TRANSFORMAÇÃO OU CONVERSÃO, em manufatura, muda o formato das matérias-primas ou muda a composição e a forma dos recursos. Em serviços, não há propriamente transformação: o serviço é criado. Em serviços, diferente da manufatura, a tecnologia é mais baseada em conhecimento (*know-how*) do que em equipamentos. Comparativamente, dizemos que, em geral, as atividades de serviços são mais intensivas em mão de obra (pessoal), enquanto as atividades industriais são mais intensivas em máquinas e equipamentos (capital físico).

O SISTEMA DE CONTROLE é a designação genérica que se dá ao conjunto de atividades que visa assegurar que programações sejam cumpridas, que padrões sejam obedecidos, que os recursos estejam sendo usados de forma eficaz e que a qualidade desejada seja obtida. O sistema de controle, pois, promove a monitoração dos três elementos do sistema de produção.

Pieritz (2016, p. 6) faz uma observação importante em relação aos processos industriais quando escreve:

A evolução dos processos industriais caminhou tão rápido quanto a evolução da engenharia, e ganhou maior aceleração com a evolução dos computadores e das tecnologias de informação, permitindo uma troca saudável de conhecimentos a nível mundial, onde uma evolução tecnológica quase que imediatamente fica disponível a todos através da internet.

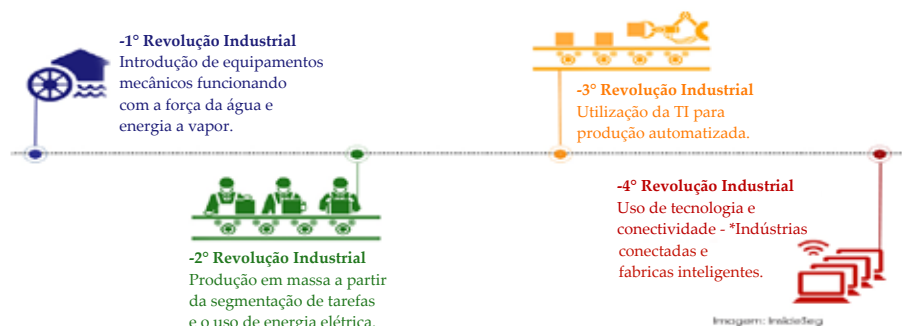
Você pode ver na figura a seguir a evolução desses conceitos, entendendo que estamos no limiar da 4ª Revolução Industrial, e ela chegará em breve também para todas as indústrias locais.



As empresas, e também seus profissionais, precisam estar atentos às tendências de evolução do mercado, pois as empresas e profissionais que não evoluírem cairão no ostracismo, e a sua tendência é fechar e desaparecerem, a exemplo de diversos exemplos existentes no mercado. Podemos citar a indústria das máquinas de escrever, o telex etc. Inclusive, na situação atual temos o exemplo das empresas bancárias, que estão tendo uma grande mudança do ambiente físico para o virtual. Não durma no ponto, evolua com o mercado, pois ele é muito dinâmico! O mundo virtual, as novas organizações estão aí.

As organizações industriais precisaram evoluir para continuarem competitivas no mercado, e como você já deve ter percebido, a evolução industrial é uma constante e cada vez mais os engenheiros e técnicos deverão acompanhar os novos desafios que o mercado nos impõe, principalmente no tocante às questões relacionadas à qualidade dos produtos e serviços.

FIGURA 3 – REVOLUÇÃO INDUSTRIAL



FONTE: Disponível em: <<http://www.insideseg.com.br/insurance-meeting-2016-sob-outro-ponto-de-vista/>>. Acesso em: 4 maio 2017.



No final do século XX todos questionavam sobre o futuro do emprego, a utilização de robôs nas indústrias, entre outros pontos alarmistas, mas hoje já estamos neste futuro, e sim, muitos robôs e máquinas substituíram a mão de obra menos especializada, mas em contrapartida, muito mais emprego foi criado para especialistas em todas as áreas, principalmente substituindo a mão de obra braçal por uma "cabeça de obra" mais "pensante e técnica". Fábricas que antes precisavam centenas, às vezes até milhares de pessoas na área fabril, hoje trabalham só com algumas dezenas de funcionários em nível técnico, como no exemplo de fábricas de papel etc.

FIGURA 4 – MÁQUINA DE PAPEL MODERNA



FONTE: Disponível em: <http://pt.bestpapermachine.com/m_product/6-Fourdrinier-Tissue-Machine.html>. Acesso em: 4 maio 2017.

Faça uma reflexão sobre como a tecnologia tem influenciado o seu ambiente de trabalho, e até como você tem aprendido. Este livro é um exemplo claro, assim como os

materiais auxiliares que são disponibilizados a você pela instituição, bem como a internet como um todo, para quem está a fim de aprender ou aprofundar seu conhecimento.

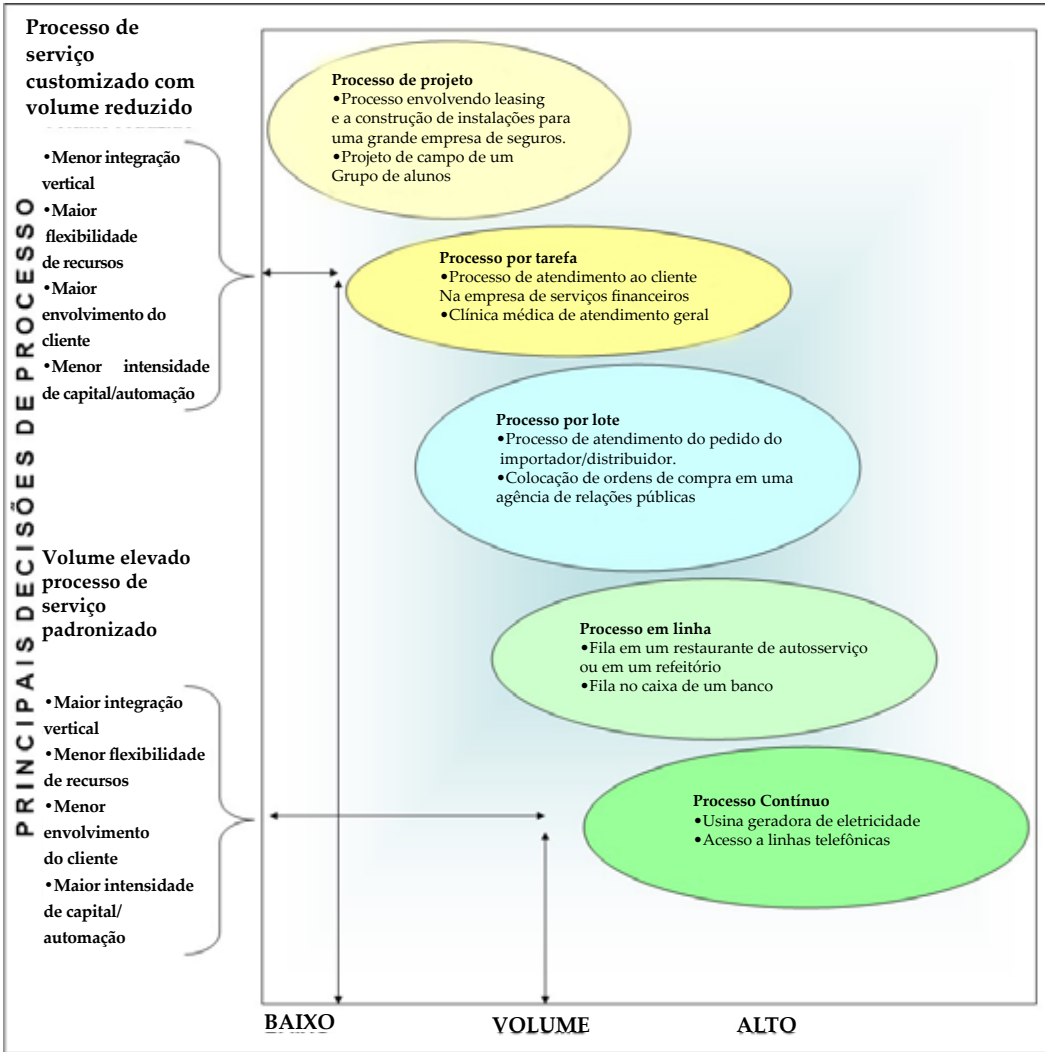
Para complementar este tema, recomendamos uma leitura rápida do texto "Insurance Meeting 2016 sob outro ponto de vista", disponível em: <<http://www.insideseg.com.br/insurance-meeting-2016-sob-outro-ponto-de-vista/>>. Acesso em: 4 maio 2017.

Continuando o nosso estudo nos conceitos organizacionais, vamos descrever uma classificação para os sistemas de produção, que são classificados em três grandes categorias, de acordo com Moreira (2008, p. 10-11):

- **Sistemas de Produção Contínua (fluxo em linha):**
Os sistemas de produção contínua, também chamados de fluxo em linha, apresentam uma sequência linear para se fazer o produto ou serviço; os produtos são bastante padronizados e fluem de um posto de trabalho a outro numa sequência prevista. [...]
- **Sistemas de Produção Intermitente (fluxo intermitente):**
A produção é feita em lotes. Terminando-se a fabricação do lote de um produto, outros produtos tomam o seu lugar nas máquinas. O produto original só voltará a ser feito depois de algum tempo, caracterizando-se assim uma produção intermitente de cada um dos produtos.
- **Sistemas de Produção para Grandes Projetos:**
Na verdade, cada projeto é único, não havendo, rigorosamente falando, um fluxo do produto.

Convém lembrar que os processos produtivos são definidos pelo que a indústria irá produzir e do lote de produção, e na figura a seguir apresentamos uma visão dos principais focos trabalhados em relação aos volumes de produção e as principais decisões tomadas em relação ao processo produtivo.

FIGURA 5 – PRINCIPAIS FOCOS PARA DEFINIÇÃO DO PROCESSO INDUSTRIAL



FONTE: Ritzman e Krajewski (2004 apud PIERITZ, 2010b, p. 136)

Este tema é bastante extenso, mas é fundamental ao engenheiro e aos profissionais que desenvolvem trabalhos nas áreas industriais. O Quadro 1 apresenta um resumo para seu conhecimento referente a diversas ferramentas para análise dos processos produtivos.

QUADRO 1 – ALGUMAS FERRAMENTAS PARA ANÁLISE DE PROCESSO INDUSTRIAL

Ferramenta	Serve para	Utilização para:
Histograma	Representação gráfica da distribuição de frequências dos resultados de medições realizadas sobre um problema.	•Selecionar oportunidades
Fluxograma	É um tipo de diagrama que apresenta esquematicamente um processo em estudo.	•Selecionar oportunidades •Gerar opções •Criar planos
Gráfico de Pareto	Utilizado para definir priorização de problemas.	•Selecionar oportunidades
Curva ABC	Utilizado para identificar prioridades, principalmente a produtos.	•Selecionar oportunidades •Gerar opções
Diagrama de Ishikawa, diagrama de causa e efeito	Identificar problemas que estão gerando o problema.	•Selecionar oportunidades •Gerar opções
Brainstorming	Ferramenta genérica para gerar ideias.	•Selecionar oportunidades •Gerar opções •Criar planos
Análise de oportunidades	Identificar oportunidades de melhoria.	•Selecionar oportunidades
Diagrama de árvores	Trabalha opções lógicas para solução de determinado problema, trabalhando as correlações.	•Gerar opções •Criar planos

Gráfico de Gantt	Trabalha controles e pode ser auxiliar no processo de definição de cronogramas de trabalho.	• Gerar opções
Gráfico de radar	Utilizado como ferramenta visual de fácil compreensão para identificação de problemas.	• Selecionar oportunidades • Gerar opções • Criar planos
PDCA	Ferramenta versátil, utilizada em processos de planejamento e execução.	• Criar planos • Testar validade
Análise do ciclo de vida do produto	Utilizado para verificar em que fase do ciclo de vida o produto se encontra.	• Selecionar oportunidades • Gerar opções • Criar planos
A casa da qualidade - QFD (<i>Quality Function Deployment</i>) ou desdobramento da função qualidade	Ferramenta importante, utilizada para ouvir a voz do cliente para trazer esta informação ao projeto, além de acompanhar todo o processo até a produção.	• Selecionar oportunidades • Gerar opções • Criar planos
Curva S	Ferramenta que trabalha a tendência tecnológica.	• Selecionar oportunidades • Gerar opções
Análise de valor/ engenharia	Muito importante para identificar qual é o valor de cada função que estamos considerando em nosso produto.	• Selecionar oportunidades • Gerar opções • Criar planos
Método Taguchi para o projeto robusto	Trabalha principalmente para evitar erros no projeto e processo, buscando assegurar a qualidade do projeto e do produto final.	• Selecionar oportunidades • Gerar opções • Criar planos • Testar validade

Método de análise e solução de problema MASP	O MASP é uma metodologia, com diversos passos predefinidos para: 1) identificar o problema; 2) buscar as características que prejudicam a solução; 3) testar as hipóteses para encontrar a causa básica do problema; 4) realizar um plano de ação; 5) verificar efetivamente a eliminação das causas básicas; 6) padronizar a operação; e 7) concluir o trabalho do MASP, assim achando o melhor resultado através da qualidade, produtos, processos ou serviços, buscando a melhoria contínua.	•Selecionar oportunidades •Gerar opções •Criar planos •Solucionar o problema •Testar validade
Ferramenta de análise de falhas FMEA	Ferramenta utilizada para desenvolvimento de análises para evitar falhas de processo e produto. A Metodologia FMEA busca a identificação das variáveis críticas nas entradas (“ <i>input</i> ”) que podem afetar a qualidade das saídas (“ <i>output</i> ”) de um processo. A partir dessa identificação são estabelecidas prioridades que guiarão o esforço de coleta de dados e a avaliação dos riscos associados aos defeitos.	•Selecionar oportunidades •Gerar opções •Criar planos
Seis Sigma (6- σ)	Conjunto de práticas originalmente desenvolvidas pela Motorola para melhorar sistematicamente os processos ao eliminar defeitos.	•Selecionar oportunidades •Gerar opções •Criar planos •Solucionar o problema •Testar validade

5w2h	É uma ferramenta de análise de processo que busca responder a sete perguntas de modo lógico, buscando a solução do problema analisado, as quais são: Who? (Quem?)/ What? (O quê?)/ Where? (Onde?)/ When? (Quando?)/ Why? (Por quê?) /How? (Como?)/ How Much (Quanto)	•Selecionar oportunidades •Gerar opções •Criar planos •Solucionar o problema •Testar validade
Lean manufacturing ou Sistema Toyota de Produção	É uma filosofia de gestão focada na redução dos sete tipos de desperdícios, os quais são a superprodução, tempo de espera, transporte, excesso de processamento, inventário, movimento e defeitos. As ferramentas "lean" incluem processos contínuos de análise (kaizen), produção "pull" ou puxar no sentido de kanban e elementos e processos à prova de falhas (Poka-Yoke).	•Selecionar oportunidades •Gerar opções •Criar planos •Solucionar o problema •Testar validade

FONTE: Adaptado de Pieritz (2010b, p. 58 a 60)

Podemos concluir que um processo industrial pode ser algo simples, como o processo de estampagem de uma arruela, como apresentado na figura a seguir, ou complexo, como a fabricação de equipamentos eletrônicos, carros, aviões etc. Assim, podemos definir processos como um conjunto de operações utilizadas para a transformação de uma matéria-prima ou componente para a obtenção de um novo produto. Como no exemplo da arruela, entra matéria-prima (chapa de aço), passa pela prensa (processo) e sai o produto final: a arruela, e tem uma sobra, ou seja, sucata.

FIGURA 6 – EXEMPLOS DE PROCESSOS INDUSTRIAIS



FONTE: O autor

Logo, tudo o que ocorre dentro da indústria podemos classificar em processos, sejam eles simples ou complexos. Precisamos abrir um pouco mais a nossa análise de processos, pois criar ideias pode ser tratado como um processo, ou ainda podemos citar o processo de limpar o quarto, organizar a sua mesa, ou seja, quase tudo pode ser tratado como um processo, e para nós, na engenharia, saber trabalhar os processos é fundamental.

A seguir, apresentamos um pequeno dicionário com alguns termos que selecionamos e que são bastante corriqueiros quando falamos de processos industriais.

DICIONÁRIO DE TERMINOLOGIAS RELACIONADAS À PRODUÇÃO E SISTEMAS PRODUTIVOS

5S - Programa de gerenciamento participativo que objetiva criar condições de trabalho adequadas a todas as pessoas em todos os níveis hierárquicos da organização. A sigla 5"S" deriva das iniciais de cinco palavras japonesas: SEIRI, senso de classificação; SEITON, senso de ordenação/organização; SEISO, senso de limpeza; SEIKETSU, senso de padronização; e SHITSUKE, senso de disciplina.

ABASTECIMENTO INDUSTRIAL – Atividade dedicada a prover à empresa todas as suas necessidades de serviços, ativos fixos, materiais, utilidades e cuidar da recuperação, venda e descarte de seus resíduos de equipamentos, materiais, efluentes e energia.

CLUSTER - São concentrações geográficas de empresas interligadas entre si, que atuam em um mesmo setor com fornecedores especializados, provedores de serviços e instituições associadas.

CONDOMÍNIO INDUSTRIAL – Instalação de unidades avançadas das empresas fornecedoras no mesmo terreno da empresa montadora.

CURVA DE APRENDIZADO – Função que reflete o ritmo de elevação das habilidades e capacidades à medida que são produzidas mais unidades de um certo item, resultando num tempo de produção menor com o decorrer do tempo.

DISTRIBUIÇÃO REVERSA – Processo pelo qual uma empresa coleta de seus usuários finais os seus produtos usados, danificados ou obsoletos, além de embalagens ou partes de seus produtos.

FÁBRICA NEGRA ou FÁBRICA ESCURA – Produção totalmente automatizada, sem operários ou iluminação.

FABRICAÇÃO PARA ESTOQUE – Sistema de administração em que se produz antes de se ter um pedido do cliente, que poderão ser produtos padrões ou montados sob ordem quando envolvem acessórios pré-estocados.

FABRICAÇÃO SOB PEDIDO – Sistema no qual o produto ou o serviço somente deverá ser providenciado depois do recebimento de um pedido do cliente.

GARGALO ou BOTTLENECK – Uma facilidade, função, departamento, ou recurso cuja capacidade é menor do que a necessidade da demanda. Ou a instalação, função, departamento ou recurso que impede a produção, pois sua capacidade é inferior ou idêntica à demanda.

JUST-IN-TIME – (1) Filosofia de manufatura baseada na eliminação planejada dos desperdícios e a elevação contínua da produtividade, somente tendo o exato material que necessita, zerando os defeitos, eliminando os tempos de *setup* e tamanho dos lotes e revisão contínua da operação. (2) - Abordagem organizacional baseada em: "produzir os produtos acabados no instante em que eles devam ser entregues, produzir os semielaborados e subcomponentes no instante da utilização/montagem, abastecer-se de matéria-prima no instante de sua utilização".

KAIZEN - (1) Kai significa mudança e Zen significa boa, sendo o aprimoramento contínuo em todas as áreas da empresa e não restrito à qualidade. (2) – Melhoria contínua envolvendo todos os membros da organização, eliminando-se desperdícios nas máquinas, na mão de obra ou nos métodos de produção.

KANBAN - (1) Cartão anexado a peças específicas na produção, significando a entrega de determinada quantidade de peças a serem utilizadas na produção. Posteriormente à utilização, o mesmo cartão é enviado de volta às origens como um comando para entrega de novo lote de peças. (2) – Um dos sistemas de produção *just-in-time*, que utiliza contentores ou lotes de materiais padronizados com uma etiqueta anexada e os centros de trabalho comandam, com uma etiqueta ou cartão, a necessidade de materiais de um centro anterior no processo ou mesmo de um fornecedor, estabelecendo-se o sistema de puxar a produção a partir do mercado.

KPI - *Key Performance Indicator*.

LEAD TIME - Tempo de processamento de um pedido, desde o momento em que é colocado na empresa até o momento em que o produto é entregue ao cliente. É o tempo necessário para o produto completar toda a transformação (da matéria-prima ao produto acabado, através das diferentes fases). É utilizado para medir a eficiência do processo produtivo.

LEAN MANUFACTURING (1) - Produção Enxuta ou manufatura enxuta. Filosofia de produção que enfatiza a minimização do montante de todos os recursos, incluindo tempo, utilizado nas várias atividades da empresa, eliminando-se as atividades que não geram valor no desenvolvimento, produção, cadeia de abastecimento e serviço ao cliente.

LEAN PRODUCTION (2) - Sistema produtivo que utiliza técnicas TPM, redução do material em processamento, envolvimento dos empregados, relações de parceria com os fornecedores, projetos de produto e de processo integrados, relacionamento próximo com os clientes. É o sistema produtivo utilizado na Toyota japonesa.

LEAN PRODUCTION (3) - Sistema produtivo que utiliza TPM, redução do material em processo, motivação, parceria, integração de projetos, relacionamento próximo com os clientes.

LEARNING ORGANIZATION - É aquela capaz de desenvolver capacidade para aprender, onde as pessoas aprendem a criar sua própria realidade, e a mudá-la, integrando como agentes de gestão as pessoas com o perfil empreendedor.

LEIAUTE ou LAYOUT - Arranjo físico dos recursos ou centros econômicos de atividades, como máquinas, grupos de pessoas, estações de trabalho, áreas de armazenamento e ilhas de descanso.

LOGÍSTICA - A arte e a ciência para abastecer, produzir e distribuir material e produtos no lugar adequado, nas quantidades corretas e nas datas necessárias. - É o processo de planejar, implementar e controlar eficientemente, ao custo correto, o fluxo e armazenagem de matérias-primas e estoque durante a produção e produtos acabados, e as informações relativas a estas atividades, desde o ponto de origem até o ponto de consumo, visando atender aos requisitos do cliente. (Definição do *Council of Logistics Management*).

LOGÍSTICA DE ABASTECIMENTO - Atividade que administra o transporte de materiais dos fornecedores para a empresa, descarregamento no recebimento e armazenamento das matérias-primas e componentes. Estruturação da modulação de abastecimento, embalagem de materiais, administração do retorno das embalagens e decisões sobre acordos com fornecedores, para mudanças no sistema de abastecimento da empresa.

LOGÍSTICA DE DISTRIBUIÇÃO - Administração do centro de distribuição, localização de unidades de movimentação nos seus endereços, abastecimento da área de separação de pedidos, controle da expedição, transporte de cargas entre fábricas e centros de distribuição e coordenação dos roteiros de transporte urbano.

LOGÍSTICA DE MANUFATURA - Atividade que administra a movimentação para abastecer os postos de conformação e montagem, segundo ordens e cronogramas estabelecidos pela programação da produção. Desova das peças conformadas como semiacabados e componentes, e armazenamento

nos almoxarifados de semiacabados. Deslocamento dos produtos acabados no final das linhas de montagem, para os armazéns de produtos acabados.

LOGÍSTICA INDUSTRIAL – Conjunto de atividades visando racionalizar as atividades industriais pela administração dos fluxos de materiais e produtos.

LOGÍSTICA REVERSA - O processo de movimentação de produtos de seu típico destino final para um outro local para fins de elevar o valor ora indisponível, ou para a adequada disposição dos produtos. (Definição do RLEC - *Reverse Logistics Executive Council*). (1) No mercado é considerada como o caminho que a embalagem toma após a entrega dos materiais, no sentido da reciclagem da mesma. Nunca voltando para a origem. Muitos profissionais também utilizam esta expressão para considerar o caminho inverso feito para a entrega, voltando para a origem, só que agora somente com as embalagens. Neste caso, tratam-se de embalagens reutilizáveis ou retornáveis, que são mais caras e específicas/próprias para acondicionar determinados materiais. Ocorre muito no setor automotivo para o transporte, por exemplo, de para-choques, painéis etc.

MELHORIA CONTÍNUA – Técnicas que garantem a melhoria contínua sistemática do processo/produto e das operações administrativas através da utilização de metodologias para este fim.

PDCA – Aplicado aos processos nos quais se deseja melhoria.

MÉTODO SEGURO – POKA YOKE – Método de fabricação ou montagem em que não se permite que o operador passe ao próximo posto de trabalho uma peça ou produto se a mesma estiver incorreta.

MRP - *Manufacturing Resource Planning*.

MRP - MATERIAL REQUIREMENT PLANNING ou Planejamento das Necessidades de Materiais (1) – Sistema de processamento de dados para o controle das existências, cadastro de produtos, programação da produção dos produtos, carga de máquinas e controle das necessidades líquidas de matérias-primas.

MRP – MATERIAL REQUIREMENT PLANNING (2) – Planejamento das necessidades de material a partir do plano mestre de produção, pela desagregação das fichas de engenharia, multiplicação pelas quantidades a serem produzidas, apurações das necessidades líquidas a comprar, considerando os estoques existentes.

MRP II - "MANUFACTURING RESOURCE PLANNING" - Planejamento que determina os recursos de pessoal e equipamentos necessários para atingir os objetivos previstos no MRP. Sistema de produção escalonado e computadorizado baseado em pesquisa sobre demandas futuras e tempo de entrega de pedidos, assim como em dados colhidos no chão de fábrica em tempo real. Exerce forte pressão no chão de fábrica, aprimorando a disciplina e desenvolvendo melhores dados e informações.

MRP III - é o MRP II em conjunto com o Kanban.

POKA – YOKE (1) – Técnica à prova de erros, onde o *setup* ou a manufatura é desenvolvida para se prevenir um erro, que possa resultar em um defeito no produto, resultando na paralisação da produção automaticamente, caso o erro ocorra.

POKA-YOKE - Palavra japonesa que significa métodos simples, que servem como a prova de falhas no processo.

POKA-YOKE (2) - Dispositivos simples e baratos para prevenir erros ou detectá-los em seguida à sua ocorrência.

PROCESSO DE MANUFATURA – Série de conformações realizadas no material para convertê-lo de matéria-prima ou de semiacabado em produto acabado.

PRODUÇÃO CONTÍNUA – Sistema de produção onde os equipamentos são dispostos numa sequência determinada pela estrutura do produto.

PRODUÇÃO DE FLUXO CONTÍNUO – Sistema em que o fluxo de materiais é contínuo, não dividido e não se caracterizando lotes de produção.

PRODUÇÃO DE MASSA – Produção em grandes quantidades, pela utilização de plantas e equipamentos dedicados e especializados naquela atividade.

PRODUÇÃO ENXUTA - Sistema para eliminar os desperdícios de forma sistemática e atendimento somente contra pedidos em carteira.

SEIS SIGMA – Sigma é uma letra do alfabeto grego. O termo sigma é usado para designar a quantidade de desvios padrões sobre a média de qualquer processo ou procedimento. Para os negócios ou processos de manufatura, o valor do sigma é uma métrica que indica quão bem o processo é desempenhado. O sigma mede a capacidade do processo de não gerar defeitos. A escala sigma de medição está perfeitamente correlacionada a algumas características, como: defeito por unidades, peças por milhão defeituosas, e a probabilidade de falha e erro. A capacidade seis sigma significa não mais do que três/quatro defeitos por milhão de peças.

TEORIA DAS RESTRIÇÕES (THEORY OF CONSTRAINTS-TOC) – Técnica administrativa desenvolvida pelo físico israelense Eliyahu Goldratt, que consiste em identificar e explorar as restrições (ou “gargalos”) em todas as atividades do negócio.

TERCEIRIZAÇÃO (OUTSOURCING) – Uso de terceiro, subcontratado, transportador, armazém ou operador logístico para realizar funções normalmente realizadas pela própria empresa. Transferir as operações ou ativos de uma empresa para outra, para sua gestão e abastecimento.

FONTE: Adaptado de <http://www.portaldomarketing.com.br/dicionario_de_logistica/Z.htm>. Acesso em: 5 maio 2017.

O processo industrial é bastante extenso, e cada dia surgem novidades, por esta razão trazemos o conteúdo de forma sucinta. Para alguns é uma revisão de matéria aprendida, para outros pode ter sido o primeiro contato com o tema.

3 HISTÓRIA DA QUALIDADE

Vamos voltar aqui à nossa temática de estudo, pois as organizações industriais, e principalmente os processos industriais como os conhecemos hoje, são relativamente novos em relação à idade da humanidade, tendo um pouco mais de 100 anos, e a indústria moderna, com linhas de produção seriada, organizada, sendo que podemos considerar o seu início em meados dos anos de 1900. Neste período começou uma migração para as grandes cidades, e percebeu-se uma maior necessidade de produtos para vestir e alimentar as pessoas, além de outras necessidades, gerando a necessidade de plantas industriais produzindo produtos em larga escala para a população, e aí começa a se falar mais profissionalmente dentro das indústrias sobre a qualidade dos produtos.

Conforme Barçante (1998, p. 1), os processos de qualidade nas indústrias evoluíram até nossos dias, desenvolvendo-se através de quatro eras distintas, as quais são:

- Era da Inspeção – Qualidade com foco no produto.
- Era do Controle Estatístico da Qualidade – Qualidade com foco no processo.
- Era da Garantia da Qualidade – Qualidade com foco no sistema.
- Era da Gestão da Qualidade Total (*Total Quality Management* - TQM) – Qualidade com foco no negócio.

Sobre a primeira era, Barçante (1998) ressalta que o seu grande foco de trabalho é a inspeção de qualidade, e ela surge devido aos novos movimentos industriais, principalmente durante as guerras mundiais, onde havia necessidade de produção seriada em grandes volumes.

Aos poucos o sistema taylorista gerou alguns efeitos indesejáveis devido à ênfase dada pela alta gerência à produtividade. Supervisores e operários priorizaram a produtividade e relegaram a qualidade a segundo plano. Nesta época, a inspeção estava centrada no produto, o primeiro nível de complexidade.

Durante a primeira grande guerra, com o aumento da atividade industrial, surge a figura do inspetor em tempo integral. Em 1922, a atividade de inspeção é formalmente incorporada ao Controle da Qualidade, sendo, pela primeira vez, a qualidade vista como responsabilidade gerencial e independente. Mas, ainda, a função do Controle da Qualidade permanece limitada à inspeção. A atividade dos inspetores se restringia à identificação e quantificação dos produtos defeituosos, que, muitas vezes, resultava em medidas punitivas. Os fabricantes removiam as peças defeituosas sem que fosse feito um estudo prévio sobre as causas.

A criação dos departamentos da qualidade gerou dois problemas básicos: A Alta Direção das empresas concluiu que qualidade era responsabilidade exclusiva do departamento da qualidade e se distanciou da função qualidade, delegando-a aos gerentes, ficando cada vez menos informada sobre o assunto. Quando havia uma situação de crise, não tinham os conhecimentos necessários, com presteza e confiabilidade, para adotar as ações adequadas. É a

típica postura dos “apagadores de incêndio”. Desta forma, nunca são removidas as causas reais das não conformidades. A solução é, apenas, momentânea, por ser baixo o nível de aprendizado adquirido nesta prática.

Esta abordagem prevaleceu por muitos anos, durante os quais a Qualidade era obtida através de inspeção, controle e separação dos “bons” e dos “maus” produtos. Aos inspetores cabia a tarefa de identificação e quantificação das peças defeituosas; estas eram removidas e trocadas sem que se fizesse uma avaliação das causas reais do problema para prevenir sua repetição. O objetivo principal era obter Qualidade igual e uniforme em todos os produtos. Ênfase à conformidade (BARÇANTE, 1998, p. 2).

Os processos industriais e a qualidade, conforme Moreira (2008) e Martins e Laugeni (2005), sempre evoluíram conjuntamente, ou seja, novos processos industriais exigiam novas formas de controle, e desde Taylor e Fayol a qualidade dos produtos industriais é cada vez mais apurada. Frederick W. Taylor analisa os sistemas produtivos e separa o processo de inspeção final dos produtos do processo de fabricação, atribuindo-a a profissionais especializados. Esse fato fez com que as atividades de inspeção se transformassem num processo independente do processo produtivo e atribuído ao setor independente do controle da qualidade.

Na década de 20, o Dr. W. Edwards Deming, em visita a algumas empresas, verificou que estas realizavam inspeção nos produtos somente ao final do processo, para identificar erros. Na sua visão, aquele procedimento estava incorreto, pois era apenas uma ação corretiva e não preventiva, gerando custos maiores. Logo a seguir, Dr. Deming conheceu Walter A. Shewhart, engenheiro do departamento de controle de qualidade da empresa americana Western Electric, que foi o precursor na identificação da causa de variações nos processos de produção e desenvolveu métodos estatísticos que permitiam o controle das variações do produto (SASHKIN; KISER, 1994 apud CAMARGO, 2011, p. 16).

Assim evoluíram os sistemas de qualidade para o acréscimo de análises estatísticas dos processos produtivos, surgindo nesta época o Controle Estatístico de Processos e inaugurando a Era do Controle Estatístico da Qualidade, em que o foco principal está na qualidade nos processos industriais.

A terceira era surgiu, conforme Barçante (1998), próximo ao final da II Guerra Mundial, com a reestruturação das indústrias e necessidades de processos e produtos com melhor qualidade, trabalhando e desenvolvendo técnicas específicas. Um marco desta nova era é o ano de 1950, quando William E. Deming vai ao Japão, a convite da Juse, realizar uma palestra para líderes industriais focado em melhorar a baixa qualidade dos produtos japoneses.

Conforme Barçante (1998), os quatro principais pontos trabalhados na terceira era são:

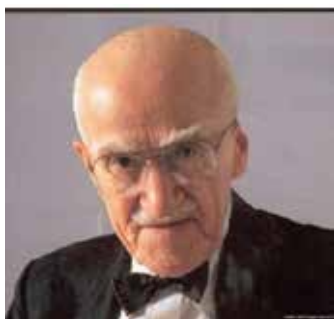
- A quantificação dos custos da qualidade.
- O controle total da qualidade.
- As técnicas de confiabilidade.
- O programa Zero Defeitos.



No período da terceira era surgiram alguns estudiosos com foco em desenvolver melhorias nos processos industriais e de qualidade, desenvolvendo metodologias e ferramentas utilizadas até hoje.

Alguns desses estudiosos listamos a seguir, e deixamos um desafio, instigando você a conhecer um pouco melhor essas personalidades. Pesquise para conhecer um pouco mais sobre eles e as suas contribuições. Boa pesquisa!

Joseph Juran



Willian Edwards Deming



Philip Crosby



Kaoru Ishikawa



Fonte das imagens: Disponível em: <<https://www.simplilearn.com/deming-vs-juran-vs-crosby-comparison-article>>. Acesso em: 8 maio 2017.

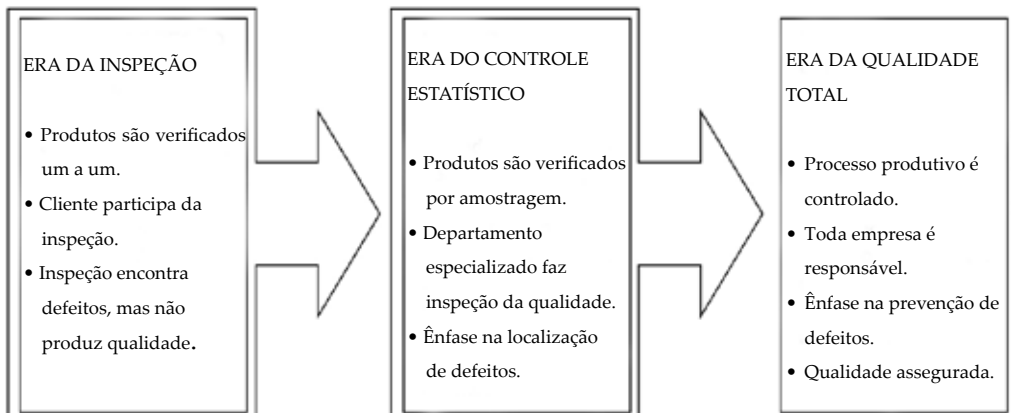
LUCINDA, Marco Antônio. Qualidade: fundamentos e práticas para cursos de graduação. Rio de Janeiro: Brasport, 2010

A quarta era, conforme Barçante (1998), é a Era da Gestão da Qualidade Total (*Total Quality Management* - TQM), ou seja, a qualidade trabalhada com foco no negócio. Toda empresa precisa ser responsável pela qualidade dos produtos. Vemos no Brasil Vicente Falconi ser um expoente desta era e contribuir grandemente para a evolução da qualidade no país. Barçante (1998, p. 11) descreve esta era da Gestão da Qualidade Total:

Em 1956, A. Feigenbaum introduz os princípios do Controle Total da Qualidade – TQC. Segundo estes princípios, a qualidade de produtos e serviços é "um trabalho de todos". O controle inicia-se na elaboração do projeto e termina somente quando o produto está nas mãos do consumidor, que fica satisfeito. Nesta nova abordagem, procura-se atuar sobre todas as causas potenciais da não conformidade. As ações são conduzidas sobre todo o sistema, o terceiro nível de complexidade. É o que se caracteriza como visão sistêmica, cujo objetivo básico era o de prover um controle preventivo, desde o início do projeto dos produtos até seu fornecimento aos clientes, com base num trabalho multifuncional. Feigenbaum definiu sua filosofia básica da seguinte forma: a alta qualidade dos produtos é difícil de ser alcançada se o trabalho for feito de maneira isolada. Desta forma, para prevenir a ocorrência de falhas futuras, era necessário o envolvimento de mais de uma área da empresa, desde o projeto do produto. Seu trabalho foi o nucleador das normas de sistemas de Garantia da Qualidade em vários países, que mais tarde, já na década de 80, deram origem às normas internacionais ISO 9000.

Para encerrarmos este tópico, apresentamos a Figura 7, que traz as principais características dessas eras da qualidade.

FIGURA 7 – EXEMPLOS DE PROCESSOS INDUSTRIAIS



FONTE: Maximiniano (2000 apud OLIVEIRA, 2004, p. 4)

Espero que você, futuro engenheiro, tenha aprendido ou revisto alguns conceitos que são importantes para a sua vida profissional e aprenda cada vez mais sobre organizações, a sua estrutura e evoluções.



Refleta e nunca esqueça: CONHECER O PASSADO É FUNDAMENTAL PARA ESCREVER O FUTURO.

Estamos chegando ao final do primeiro tópico da primeira unidade, esperamos que você tenha aprendido mais sobre os temas abordados e o convidamos a completar o seu conhecimento com a leitura complementar que apresentamos a seguir.

LEITURA COMPLEMENTAR

Gestão da Qualidade Total

Luiz Cesar Barçante

A Gestão da Qualidade Total envolve a aplicação progressiva da qualidade em todos os aspectos do negócio. Neste sentido, a gestão da qualidade é aplicada em tudo o que se faz na empresa e em todos os seus níveis e áreas, incluindo vendas, finanças, compras e outras atividades não ligadas à produção propriamente dita.

Nesta era, a alta direção reconhece o impacto da qualidade no sucesso competitivo da empresa, passando a merecer a sua atenção rotineira e integrando-se na gestão estratégica do negócio.

A partir da constatação de que a empresa era um sistema aberto e que sofria as mais variadas pressões e influências, e num momento histórico caracterizado por rápidas mudanças – globalização da economia, internet, formação de blocos econômicos –, os empresários buscaram novas estratégias que lhes permitissem a sobrevivência e expansão dos negócios.

Segundo os princípios da Teoria Contingencial, não existe uma única maneira de organizar as empresas – cada caso é um caso. A elaboração de estratégias empresariais, a partir da abordagem sistêmica, deve focar a interdependência entre tarefa, estrutura, pessoas, tecnologia e ambiente.

A elaboração de estratégias para qualquer atividade empresarial cada vez mais parte da definição do ponto de vista do cliente. Esta premissa, em alguns casos, amparada por mecanismos legais de defesa do consumidor, ou por força das cláusulas contratuais, requer um planejamento estratégico do processo produtivo cada vez mais rigoroso.

Identificar o cliente e traduzir suas necessidades em especificações do produto e do processo é um fator crítico de sucesso para qualquer organização.

Dentro deste novo cenário, complexo e mutante, a responsabilidade pela definição de estratégias da qualidade pertence à alta gerência empresarial, e é vista, atualmente, como o resultado do desempenho gerencial em todas as fases do processo produtivo. Para as empresas que incorporaram esta nova forma de administração, a qualidade dos produtos possui grande potencial competitivo, na medida em que suas ações são orientadas pela satisfação do cliente.

Este fato tem levado os administradores a buscarem meios de quantificação, não apenas das características do produto, para garantir o atendimento às especificações, mas, também, para permitir a compreensão e o monitoramento das complexas atividades gerenciais que lhes são impostas na atualidade.

Modelos de administração do negócio com um enfoque estratégico, como o TQM, vêm sendo adotados para dar respostas à necessidade de aprimoramento imposta pelo mercado.

A autoavaliação, utilizando os critérios do Prêmio Nacional da Qualidade – PNQ, por exemplo, passou a ser um meio eficaz para ajudar as empresas a identificarem seus pontos fortes e fracos. Os sistemas de gestão devem ser desenvolvidos de forma a adequar-se aos requisitos de gestão, os quais se caracterizam pelos seguintes aspectos:

- liderança da alta direção;
- visão sistêmica;
- aprimoramento contínuo;
- abordagem preditiva nas ações administrativas;
- desenvolvimento das pessoas participantes do processo de produção;
- foco no cliente;
- conhecimento do processo;
- sistema de informações confiável.

Para que seja possível atingir a qualidade de padrão mundial, algumas mudanças revolucionárias devem ser feitas na gestão dos negócios:

- criar meios para medir os resultados obtidos;
- rever as metas de qualidade e compará-las às alcançadas pela concorrência (benchmarking);
- implantar sistemas de reconhecimento e recompensas para motivar e buscar o comprometimento dos profissionais com a conquista do nível de qualidade internacional;
- treinar os gerentes nos princípios da gestão da qualidade;
- o planejamento empresarial deve englobar os objetivos da qualidade;
- novos indicadores devem permitir que a alta gerência acompanhe o progresso de parâmetros como satisfação dos consumidores, qualidade competitiva, desempenho dos processos empresariais, custos da "não qualidade", entre outros.



FONTE: Barçante (1998, p. 12)

RESUMO DO TÓPICO 1

Neste tópico, você aprendeu que:

- As organizações industriais são organizações complexas e com características particulares.
- A modernidade nas indústrias é fundamental, para atender às exigências dos consumidores, que influenciam diretamente na modernização dos sistemas de controle de qualidade.
- A Revolução Industrial moderna tem pouco mais de 100 anos e podemos considerar o seu início em meados dos anos de 1900. (Não é a Revolução Industrial, que teve o seu início no século XVIII).
- As indústrias podem ter os mais diversos processos de fabricação e vemos que, desde os primórdios da era industrial, os engenheiros e técnicos sempre buscam aprimorar os processos fabris, tornando as fábricas mais produtivas e menos estafantes para os operários.
- São três grandes famílias de sistemas de produção:
 - Sistemas de Produção Contínua (fluxo em linha)
 - Sistemas de Produção Intermitente (fluxo intermitente)
 - Sistemas de Produção para Grandes Projetos
- Podemos entender processos como um conjunto de operações utilizado para a transformação de uma matéria-prima ou componente para a obtenção de um novo produto.
- São quatro eras distintas em relação à qualidade nas indústrias:
 - Era da Inspeção – Qualidade com foco no produto
 - Era do Controle Estatístico da Qualidade – Qualidade com foco no processo
 - Era da Garantia da Qualidade – Qualidade com foco no sistema
 - Era da Gestão da Qualidade Total.

AUTOATIVIDADE



- 1 Os sistemas de produção existentes são os mais distintos possíveis, pois cada tipo de produto possui características específicas, logo os processos de produção também são específicos. Descreva como são os três principais tipos de sistemas de produção existentes no mercado.
- 2 Cite cinco mudanças que devem ser feitas na gestão dos negócios para que seja possível atingir um padrão mundial de qualidade.

INTRODUÇÃO AO CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSOS - CEP

1 INTRODUÇÃO

"Para ter sucesso, uma empresa precisa querer sobreviver e deve acreditar que, se não agir para melhorar seus produtos, o mais provável é que fracasse". (John L. Hradesky)

"O CEP (Controle Estatístico de Processo) eficaz é 10% de estatística e 90% de ação gerencial". (John L. Hradesky)

Prezado acadêmico, muitas vezes o consumidor dos produtos não sabe a mão de obra que dá para se chegar ao produto final que está em sua mão. É matéria-prima, máquinas, ferramentas, processos produtivos, inspeção de qualidade, pessoas, embalagem, estoque, transporte, exposição etc.

Agora iremos focar em nosso objetivo principal, que é o CEP, ou seja, o Controle Estatístico de Processo, o qual trabalha com ferramentas estatísticas para entender e achar soluções para os processos industriais.

O Controle Estatístico de Processos (CEP), atualmente, está no conjunto das ferramentas essenciais da qualidade, é um método que coleta dados de uma amostra de dados, trabalha uma verificação das amostras de resultados do processo que se está analisando, permitindo assim controlar seu funcionamento de modo a diminuir as possíveis falhas que possam ocorrer devido ao seu processo de execução.



O conjunto de ferramentas da qualidade aplicadas aos processos para a resolução de problemas é formado por:

1. Fluxograma
2. Diagrama de Ishikawa (Espinha de Peixe)
3. Folhas de Verificação
4. Diagrama de Pareto
5. Histograma
6. Diagrama de Dispersão
7. Controle Estatístico de Processo (CEP)

Sucintamente, podemos afirmar que o CEP procura identificar o que aconteceu de errado no processo de fabricação e onde podemos agir para solucionarmos a não conformidade.

Martins e Laugeni (2005, p. 524) descrevem que “não há dois produtos exatamente iguais, já que os processos que os geram podem apresentar inúmeras fontes de variação”. E neste ponto é fundamental que você saiba que o CEP busca realmente ter processos de produção mais confiáveis e melhores, gerando assim menos variabilidade na peça/produto, ocasionando melhores níveis de qualidade na produção. Só para nos sintonizarmos na origem histórica do CEP, Barçante (1998, p. 9) apresenta:

Em 16 de maio de 1924, Shewhart, aplicando conhecimentos estatísticos, desenvolve poderosa técnica com a finalidade de solucionar problemas de controle da qualidade da Bell Telephone Laboratories: o Gráfico de Controle de Processo, até hoje utilizado na indústria. Ao publicar um livro, em 1931, sob o título *Economic Control of Quality of Manufactured Product*, forneceu um método preciso e mensurável para definição do controle do processo, estabelecendo princípios para monitorar e avaliar a produção.

Shewart, o mestre de W. E. Deming, foi o primeiro a reconhecer a variabilidade, segundo nível de complexidade, como inerente aos processos industriais e a utilizar técnicas estatísticas para o controle de processos.

Começa a se estruturar o estilo de gestão corretiva: identificar as causas reais e agir sobre elas. Matéria-prima, operador e equipamento são algumas das fontes de variabilidade (causas) que podem apresentar variações no seu desempenho e característica e, portanto, afetar o produto (efeito). O conhecimento destas variações permite que a partir da sua quantificação e do estabelecimento de limites estatísticos seja possível manter o processo sob o estado de controle. Através dos gráficos de controle de processo é possível identificar, minimizar e, algumas vezes, remover as causas especiais de variação.

Atualmente, os famosos gráficos de controle, ou melhor, o CEP, podem ser encontrados nas mais diversas formas de aplicação para análise de diversos aspectos em uma organização, seja ela industrial ou não, e as suas aplicações são muito amplas dentro das organizações. E foi Deming que popularizou o uso desta técnica, quando a introduziu na indústria japonesa nos anos de 1950, logo após a Segunda Guerra Mundial, e vem sendo utilizada até hoje nas organizações.

Vamos agora aprofundar um pouco mais os conhecimentos em CEP. Vamos lá!

2 INTRODUÇÃO AO CEP

Desde os primórdios da produção moderna, temos grandes lotes, linhas de produção complexas, utilização de mão de obra extensiva (atualmente, vemos um processo de robotização das linhas de produção). Um dos problemas está na qualidade gerada pelos processos produtivos.

Paladini (2012) e Slack et al. (2006) afirmam que a qualidade deve ser obtida no processo produtivo, pois com o controle do processo podemos controlar a qualidade na construção/fabricação do produto em vez de ser inspecionada no final, quando todos os custos estão auferidos ao produto e, conseqüentemente, o prejuízo é maior.

Todos os processos de produção, conforme Paladini (2012), apresentam variações, gerando produtos ou serviços diferentes entre si, já que nenhum processo produtivo consegue garantir que duas peças sejam exatamente iguais, ou seja, existe uma variabilidade entre elas.

Podemos afirmar, conforme Montgomery (2006), que cada produto possui um número de dimensões e características que através de suas combinações descrevem sua adequação ao uso. O autor ainda afirma que esses elementos são conhecidos pelos engenheiros como características da qualidade ou indicadores de desempenho, e podem ter características:

- Físicas: comprimento, largura, altura, peso, voltagem, amperagem, viscosidade etc.
- Sensoriais: gosto, aparência, cor etc.
- Orientação temporal: confiabilidade, manutenção, utilidade, durabilidade etc.



Prezado acadêmico, não existe nenhum processo de fabricação que consegue fabricar dois produtos exatamente iguais, sempre vai existir algo que os diferencia, seja uma dimensão, uma diferença no material, entre diversos fatores que podem gerar essa diferenciação, mesmo que o consumidor não consiga perceber esta diferença, pois não precisa entender de engenharia, de tolerâncias, ajustes etc. Para isto é que estamos estudando sobre CEP, para que os problemas sejam minimizados, pois para o consumidor só existe produto com qualidade e produto sem qualidade (aquele que deu problema ao consumidor).

FIGURA 8 – PRODUTO COM PROBLEMA DE QUALIDADE PARA O CONSUMIDOR



FONTE: Disponível em: <<https://poupaeganha.pt/sapatos-ma-qualidade-2/>>. Acesso em: 8 maio 2017.

Podemos afirmar que qualquer processo de fabricação não irá gerar produtos iguais, mas sim produtos idênticos/similares, com determinada variação aceitável, e seus limites de aceitabilidade são definidos pelo projeto da engenharia. Assim, o conceito central está em aceitar a variabilidade do processo, e esta variabilidade no processo pode ser descrita em termos estatísticos. Como Montgomery (2006) descreve, os métodos estatísticos desempenham papel central nos esforços para a melhoria da qualidade, e a metodologia do Controle Estatístico do Processo (CEP) utiliza diversas análises e procedimentos estatísticos para identificar o comportamento do processo de fabricação, realiza ações corretivas de modo a mantê-lo dentro de padrões preestabelecidas, objetivando a redução da produção de itens com qualidade insatisfatória, e ainda buscando pontos para melhoria, assegurando assim a qualidade dos produtos produzidos.

O CEP foi um dos primeiros métodos de inferência analítica com uso de procedimentos matemáticos (estatística) a ser utilizado nas linhas de produção. Para Paladini (2012), ainda é normal a existência de fábricas em que os processos industriais não estejam otimizados, ou seja, com altos níveis de eficiência, mas ele descreve que o CEP tem ferramentas para o seu monitoramento e pode auxiliar no processo de sua melhoria.

FIGURA 9 – PROCESSOS COM PROBLEMA DE QUALIDADE



FONTE: O autor

Lima et al. (2006, p. 178) descrevem a importância e a complementaridade do CEP para os sistemas de qualidades como:

A utilização de métodos estatísticos não garante a solução de todos os problemas de um processo, porém é uma maneira racional, lógica e organizada de determinar onde eles existem, sua extensão e a forma de solucioná-los. Esses métodos podem ajudar na obtenção de sistemas que assegurem uma melhoria contínua da qualidade e da produtividade ao mesmo tempo.

Paladini (2012) complementa o exposto por Lima et al. (2006) quando acresce a palavra contínua à melhoria, querendo que você entenda que continuamente os processos deverão ser melhorados.

Slack et al. (2006) afirma que o controle estatístico do processo é preferencialmente utilizado pelas organizações como o método preferido para controlar a qualidade, quando a qualidade está sendo construída no processo industrial em si, e não só pela inspeção no final do processo fabril.

E para encerrarmos esta discussão, Ribeiro e Caten (2012, p. 5) descrevem que os principais objetivos do CEP são:

O principal objetivo do CEP é possibilitar um controle eficaz da qualidade, feito pelo próprio operador em tempo real. Isso aumenta o comprometimento do operador com a qualidade do que está sendo produzido e libera a gerência para as tarefas de melhoria.

O CEP possibilita o monitoramento das características de interesse, assegurando que elas irão se manter dentro de limites preestabelecidos e indicando quando devem ser tomadas ações de correção e melhoria. É importante ressaltar a importância de se detectar os defeitos o mais cedo possível, para evitar a adição de matéria-prima e mão de obra a um produto defeituoso.

O CEP objetiva aumentar a capacidade dos processos, reduzindo refugo e retrabalho, e, por consequência, o custo da má qualidade.

Assim, ele proporciona às empresas a base para melhorar a qualidade de produtos e serviços e, simultaneamente, reduzir substancialmente o custo da má qualidade.

Como você está aprendendo, o CEP não é uma ferramenta nova nos meios industriais, mas ainda hoje ele pode contribuir para que as fábricas possam trabalhar com padrões de qualidade e excelência. Vamos, a seguir, aprender alguns conceitos básicos que permeiam este tema e que é comum falar dentro das organizações industriais.

3 CONCEITOS BÁSICOS RELACIONADOS AO CEP

É comum, nos dias atuais, o surgimento e adaptação de conceitos técnicos dentro das organizações industriais. Vamos agora conhecer alguns conceitos relacionados à qualidade e ao Controle Estatístico de Processo (CEP).

Inicialmente, vamos comentar que existem dois conceitos muito similares que podem ser utilizados: um deles é o CEP, nomenclatura usada por nós neste livro, mas alguns autores também têm chamado de CEQ, ou seja, Controle Estatístico da Qualidade.

Um conceito que estamos trabalhando direto neste livro didático é o de qualidade, e Montgomery (2004) nos traz uma definição bem lógica e simples, na qual descreve a qualidade como um **conjunto de atributos que tornam um bem ou serviço plenamente adequado ao uso para o qual foi concebido**.

Fala-se de qualidade do produto na visão do cliente e dentro das organizações é atribuída a qualidade dentro da área de produção, mas Garvin (2002, p. 45) destaca que “em sua versão original, a qualidade era responsabilidade do departamento de produção; hoje saiu da fábrica e entrou na sala de alta gerência”. E o CEP acompanhou para a área da gestão.



Para você compreender um pouco mais sobre o tema qualidade e seus enfoques em diversas visões (cliente, indústria e gestão), recomendamos a leitura do artigo Gestão da qualidade, de Ronaldo Guedes, publicado em 2008, disponível em: <<http://www.administradores.com.br/artigos/negocios/gestao-da-qualidade/25638/>>. Acesso em: 25 maio 2017.

Conforme Paranthaman (1990 apud LIMA et al., 2006, p. 177), podemos entender Controle Estatístico de Processo (CEP) como “a coleta, a análise e a interpretação de dados com a finalidade de resolver um problema particular”. Lima et al. (2006, p. 177) descrevem o Controle Estatístico de Processo como:

Um conjunto de ferramentas de monitoramento *on-line* da qualidade. Com tais ferramentas consegue-se uma descrição detalhada do comportamento do processo, identificando sua variabilidade e possibilitando seu controle ao longo do tempo, através da coleta continuada de dados e da análise e bloqueio de possíveis causas especiais, responsáveis pelas instabilidades do processo em estudo.



Tomar cuidado com o termo *on-line* utilizado no conceito, pois ele não tem o significado atual tão corriqueiro relacionado à internet, mas quer dizer a sua transcrição literal de: na linha, no momento em que está ocorrendo o problema.

Para Montgomery (2004), o CEP pode ser entendido como um conjunto de ferramentas focado na solução de problemas que visa trabalhar para atingir e manter a estabilidade de um processo, ou seja, visa manter constante ao longo do tempo a distribuição da variável analisada de forma controlada, buscando melhorar a performance do processo devido à busca constante da redução de sua variabilidade.

O Controle Estatístico do Processo (CEP), conforme definido por Ribeiro e Caten (2012, p. 5), pode ser entendido como “uma técnica estatística aplicada à produção que permite a redução sistemática da variabilidade nas características da qualidade de interesse, contribuindo para a melhoria da qualidade intrínseca, da produtividade, da confiabilidade e do custo do que está sendo produzido”.

Assim, o CEP é um sistema de inspeção dos processos realizados por amostragem, operando em todo o desenvolvimento do processo com o objetivo de acompanhar e verificar a presença de causas especiais (causas que não são naturais ao processo) que possa prejudicar a qualidade do produto. Se for identificada alguma causa especial, pode-se agir sobre ela, eliminando-a e assim entrando em um processo de melhoria contínua de produção e na qualidade do produto manufaturado.

Um ponto importante exposto por Paladini (2012) é que o CEP tem um enfoque mais preventivo de resolução dos problemas do que a visão imediatista da gestão.

Para Ribeiro e Caten (2012, p. 7), o controle da qualidade depende de quatro elementos fundamentais que constituem um sistema de controle do processo, que são:

- O processo em si é uma combinação de equipamentos, insumos, métodos, procedimentos e pessoas, tendo como objetivo a fabricação de um bem ou o fornecimento de um serviço (efeito).
- As informações sobre o desempenho de um processo são obtidas a partir do estudo cruzado dos itens a seguir: a) qualidade das características do produto final; b) qualidade das características intermediárias; e c) ajuste dos parâmetros do processo.
- A coleta de dados e as ações ao longo do processo são orientadas para o futuro, pois permitem detectar o defeito assim que ele é gerado, possibilitando a atuação sobre o processo no momento e local adequados.
- Ações sobre o produto final: as inspeções sobre o produto final são orientadas para o passado, pois elas permitem apenas separar o produto conforme o produto não conforme (refugo), que pode eventualmente ser retrabalhado. As inspeções têm algumas vantagens, pois impedem que produtos defeituosos cheguem ao cliente, mas não são uma forma eficiente de ação. Agir sobre o processo é mais eficaz, pois impede que novas peças defeituosas sejam produzidas.

Conforme vimos anteriormente, o CEP está diretamente ligado à estatística e também à probabilidade. Paladini (2012) descreve que a estatística que devemos buscar conhecimentos é a estatística descritiva, lembrando o seu conceito: é a que se refere a procedimentos que resumem e apresentam dados quantitativos, principalmente servindo para revelar características da distribuição de dados analisados.



Este livro de estudo, apesar de trabalhar com alguma teoria para compreensão da disciplina, envolverá muitos cálculos estatísticos. Ressaltamos que para um melhor aprendizado o acadêmico deve sempre estar com sua calculadora científica em mãos e refazer os cálculos nos exemplos que serão apresentados, bem como os exercícios sugeridos, pois as disciplinas que envolvem cálculos não têm outra forma de aprender a não ser exercitando. Calculadoras em mãos e bom aprendizado!

FIGURA 10 – CALCULADORAS CIENTÍFICAS



FONTE: O autor

4 ALGUNS CONCEITOS DA ESTATÍSTICA

Vamos conhecer agora alguns conceitos da estatística, e que comumente são utilizados também no CEP. Este glossário de termos técnicos foi retirado de Oliveira (2013, p. 7-8, grifos do original), extraímos os principais termos utilizados neste livro de estudos:

Aleatoriedade: condições nas quais os valores individuais não são previsíveis.

Amplitude: diferença entre o maior e o menor valor de um subgrupo.

Cartas de controle: gráficos que mostram a variação da grandeza ou característica de interesse (variabilidade do processo) em função do tempo para avaliar atributos ou desempenho de métodos ou de instrumentos de medição.

Causas comuns ou aleatórias: fontes de variação inerentes a um processo que se encontra sob controle estatístico, as quais são difíceis de identificar, porém, juntas criam um sistema constante de variação. Exemplos: mudanças na temperatura, umidade, vibrações, falhas na sistemática do processo, dentre outras. Diz-se que um processo que opera na presença de causas comuns está sob controle estatístico.

Causas especiais ou assinaláveis: fontes relativamente grandes de variação quando comparadas com a variabilidade natural, as quais são identificáveis, frequentemente imprevisíveis e ocorrem fora do sistema constante de variação. Exemplos: analista inexperiente, insumos inadequados, erros de operação, equipamentos não qualificados, instrumentos de medição não calibrados, dentre outras. Diz-se que um processo que opera na presença de causas especiais está fora de controle estatístico.

Desvio padrão: dispersão dos resultados das medições ou do processo, denotado pela letra grega sigma (σ) ou pela letra (s).

Desvio padrão de precisão intermediária: desvio padrão dos resultados das medições obtidas sob condições de precisão intermediária.

Desvio padrão de repetibilidade: desvio padrão dos resultados das medições obtidas sob condições de repetibilidade.

Incerteza de medição: parâmetro não negativo que caracteriza a dispersão dos valores atribuídos a um mensurando, com base nas informações utilizadas.

Média: valor de medida central de um conjunto de dados, calculado pelo somatório de todos os resultados dividido pelo número total de resultados do conjunto.

Valor p: probabilidade de que a estatística do teste tenha valor extremo em relação ao valor observado quando a hipótese nula é verdadeira.

Repetibilidade: Grau de concordância entre indicações ou valores medidos, obtidos por medições repetidas, no mesmo material ou em materiais similares, empregando o mesmo procedimento de medição, mesmo analista, mesmo sistema de medição, do mesmo modo de operação, no mesmo local, no menor intervalo de tempo possível.

Variabilidade: conjunto de diferenças nas variáveis (concentrações, massas, densidades etc.) presentes universalmente em qualquer atividade analítica. É possível classificá-las em comuns (ou aleatórias) e especiais (ou assinaláveis).

É importante ressaltar que temos muitos outros conceitos relacionados à estatística, mas que, inicialmente, os apresentados acima são os mais comumente usados em CEP.

5 VARIABILIDADE: CAUSAS COMUNS E CAUSAS ESPECIAIS

É fato notório que não importa o processo de produção, ou produto que você possa imaginar, não existem dois produtos exatamente iguais, e nenhum processo produtivo conseguirá fabricar dois produtos iguais, mesmo que os leigos possam pegar dois produtos similares e dizer que eles são iguais. Vide o exemplo a seguir.

FIGURA 11 – PRODUTOS SIMILARES, NÃO IGUAIS



FONTE: O autor

Podemos afirmar que a variabilidade está sempre presente em todos os processos produtivos, não importando o quão bom seja o seu projeto e operação; mesmo os processos automatizados, ou robotizados, apresentarão variabilidade em seus produtos. Logo, reforçando o que já expusemos: Comparando duas unidades de um mesmo produto e produzidas pelo mesmo processo fabril, mesmo assim elas nunca serão exatamente idênticas. Ribeiro e Caten (2012, p. 9) descrevem sobre a variabilidade:

Contudo, a diferença entre peças pode ser grande, provocando o aparecimento de produtos defeituosos, ou pode ser praticamente imperceptível. Além disso, as fontes de variabilidade podem agir de forma diferente sobre o processo. Conforme a fonte de variabilidade, o resultado pode ser:

- a) pequenas diferenças peça a peça (habilidade do operador, diferenças na matéria-prima etc.);
- b) alteração gradual no processo (desgaste de ferramentas, temperatura do dia etc.); e
- c) alteração brusca no processo (mudança de procedimento, queda de corrente, troca de *setup* etc.).

Para o gerenciamento do processo e redução da variabilidade, é importante investigar as causas da variabilidade no processo. O primeiro passo é distinguir entre causas comuns e causas especiais. Deming (1986) explica que a confusão entre causas comuns e especiais leva à maior variabilidade e a custos mais elevados. A atuação em causas comuns como se fossem causas especiais pode levar a um aumento indesejado da variação, além de representar um custo desnecessário.

Por outro lado, se causas especiais passarem despercebidas, elas podem ser incorporadas ao resultado do processo, tornando aceitável o que deveria ser rejeitado, além de se perder uma oportunidade de melhoria do produto.

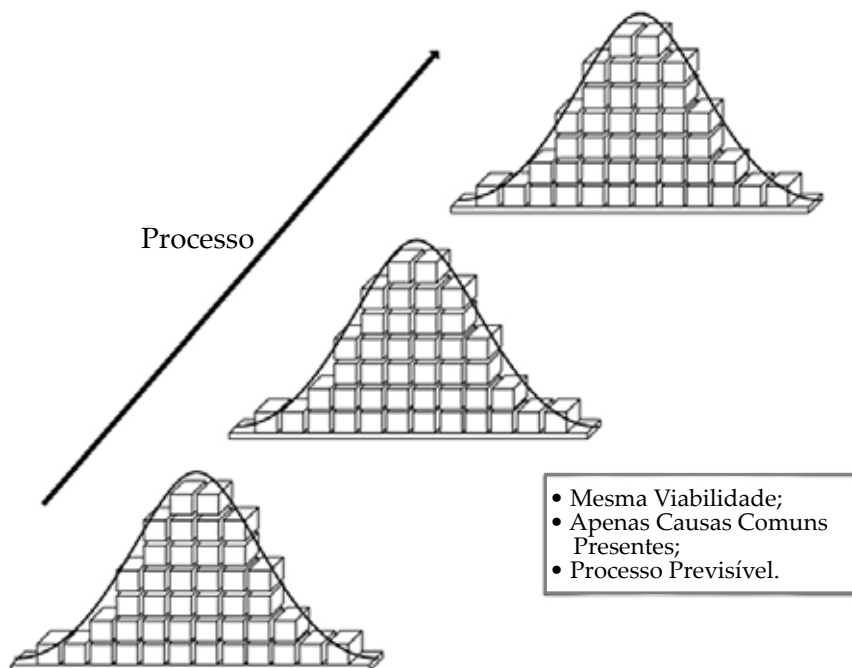
Vamos agora detalhar um pouco mais as causas comuns e as causas especiais, mas para você realmente identificar o que é uma causa comum de uma causa especial, precisará estudar a fundo o tema.

5.1 CAUSAS COMUNS

As causas comuns podem ser geradas por diversas fontes, ou também por diversas causas, que podem gerar variação no objeto observado, mas que principalmente atuam de forma aleatória no processo, gerando assim uma variabilidade inerente ao processo analisado. Quando analisamos a variabilidade gerada pelas causas comuns, verificamos um padrão natural do processo, pois é resultante de pequenas fontes de variabilidade (causas) que acontecem cotidianamente devido ao processo estar trabalhando sob condições normais de operação.

Conforme Montgomery (2004), um processo que apresenta apenas causas comuns atuando é um processo estável ou sob controle, pois apresenta sempre a mesma variabilidade ao longo do tempo. O autor ainda reforça que devido à variabilidade inerente do processo, as medidas individuais de uma característica de qualidade são diferentes entre si, mas quando agrupadas estas medições tendem a formar um certo padrão estatístico, e quando o processo é estável, esse padrão pode ser descrito por uma distribuição de probabilidade, como podemos ver na figura a seguir.

FIGURA 12 – PADRÃO ESTATÍSTICO DE CAUSAS COMUNS

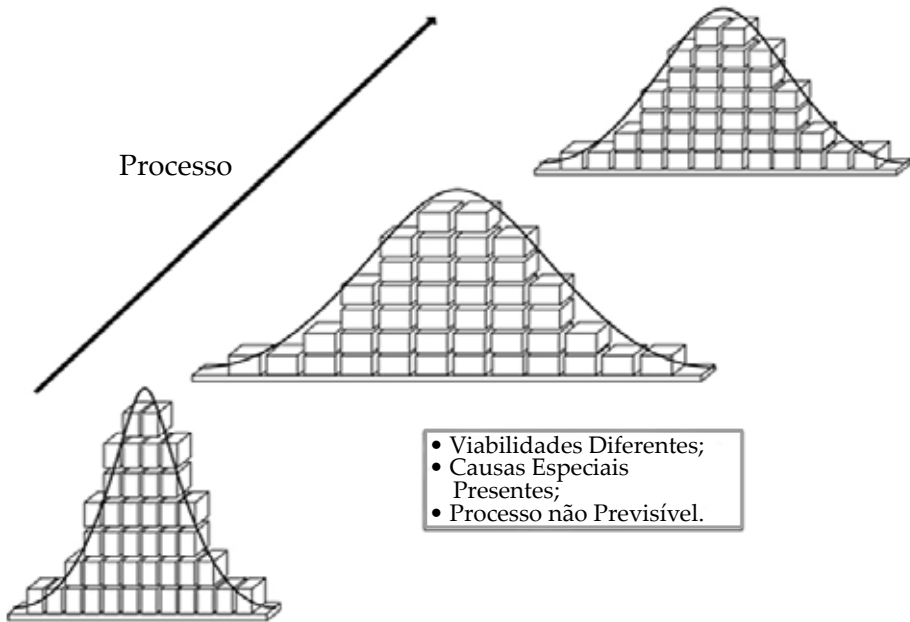


FONTE: Disponível em: <<http://www.portallaction.com.br/controle-estatistico-do-processo/introducao>>. Acesso em: 5 jun. 2017.

5.2 CAUSAS ESPECIAIS

As causas especiais são causas que não seguem um padrão aleatório, mas sim ocasional, gerado por uma fonte externa ou dentro de um padrão estatístico. Podem ser ocasionadas por diversas fontes, como problemas devido à matéria-prima com propriedades diferentes das projetadas, erros de setup do ferramental ou equipamentos etc. Por isso são também conhecidas como causas assinaláveis, pois são bem específicas e geradas de forma não estatística, muitas vezes são falhas de operação, fazendo com que o processo saia fora de seu padrão natural de operação. Desta forma, elas provocam alterações na forma ou na distribuição da tendência central do processo ou geram variabilidade das características de qualidade. Vide figura a seguir.

FIGURA 13 – PADRÃO ALEATÓRIO DE CAUSAS ESPECIAIS E IDENTIFICAÇÃO DE PROCESSO NÃO PREVISÍVEL

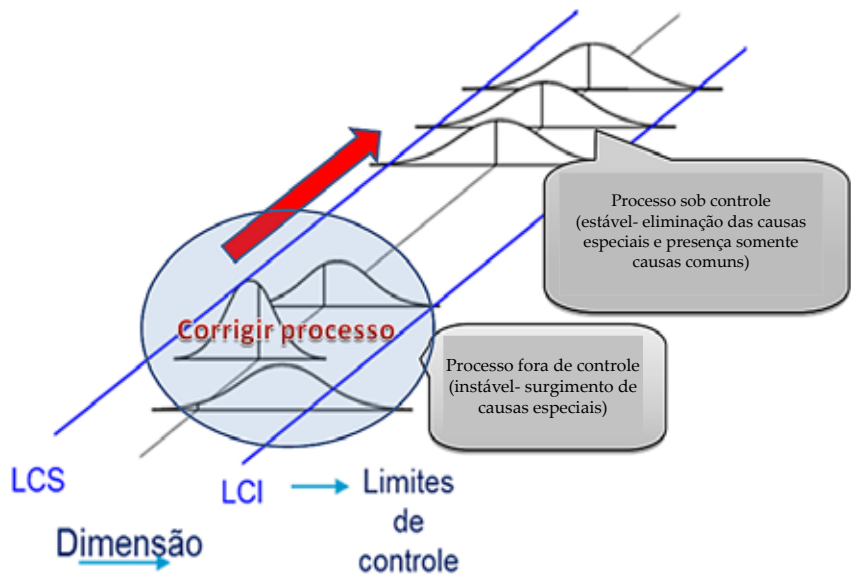


FONTE: Disponível em: <<http://www.portalaaction.com.br/controle-estatistico-do-processo/introducao>>. Acesso em: 5 jun. 2017.

Como você deve ter percebido, em processos especiais é muito mais difícil de se identificar a possível causa do que pode estar influenciando o processo. Como apresentado por Montgomery (2004), as causas especiais diminuem significativamente o desempenho do processo e por isto devem ser identificadas o mais rapidamente possível e eliminadas, pois geralmente podem ser corrigidas por ação local pelo operador.

Ribeiro e Caten (2012, p. 13) apresentam uma figura que expressa bem a questão de correção de um processo de causas especiais, tornando-o um processo de causas comuns.

FIGURA 14 – CORREÇÃO DE PROBLEMAS



FONTE: Disponível em: <<http://www.portallaction.com.br/controle-estatistico-do-processo/introducao>>. Acesso em: 5 jun. 2017.



Se você tiver alguma dificuldade nos conceitos e fórmulas estatísticas, revise a disciplina que já estudou ou consulte a indicação de leitura:

MONTGOMERY, Douglas C. **Introdução ao controle estatístico da qualidade**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004.

CRESPO, Antônio Arnot. **Estatística fácil**. 17. ed. São Paulo: Saraiva, 1999.



São muitos os conceitos que o engenheiro que irá trabalhar com produção, qualidade ou CEP precisa conhecer, e esperamos que a última dica de leitura lhe ajude, assim como os temas abordados neste livro.

RESUMO DO TÓPICO 2

Neste tópico, você aprendeu que:

- Shewhart desenvolveu o CEP e apresentou-o ao mundo em maio de 1924, aplicando conhecimentos estatísticos, desenvolvendo poderosa técnica com a finalidade de solucionar problemas de controle da qualidade. Ao publicar um livro, em 1931, sob o título *Economic Control of Quality of Manufactured Product*, forneceu um método preciso e mensurável para definição do controle do processo, estabelecendo princípios para monitorar e avaliar a produção.
- A qualidade deve ser obtida no processo produtivo.
- Todos os processos de produção apresentam variações, gerando produtos ou serviços diferentes entre si, já que nenhum processo produtivo consegue garantir que duas peças sejam exatamente iguais, ou seja, existe uma variabilidade entre elas.
- O CEP foi um dos primeiros métodos de inferência analítica com uso de procedimentos matemáticos (estatística) a ser utilizado nas linhas de produção.
- A utilização de métodos estatísticos não garante a solução de todos os problemas de um processo, porém é uma maneira racional, lógica e organizada de determinar onde eles existem, sua extensão e a forma de solucioná-los.
- Qualidade pode ser entendido como um conjunto de atributos que tornam um bem ou serviço plenamente adequado ao uso para o qual foi concebido.
- O Controle Estatístico do Processo (CEP) é uma técnica estatística aplicada à produção que permite trabalhar a redução sistemática da variabilidade nas características da qualidade de interesse no produto ou peça, contribuindo para a melhoria da qualidade intrínseca, da produtividade, da confiabilidade e do custo do que está sendo produzido.
- Cartas de controle: são gráficos que mostram a variação da grandeza ou característica de interesse (variabilidade do processo) em função do tempo para avaliar atributos ou desempenho de métodos ou de instrumentos de medição.
- Causas comuns ou aleatórias são fontes de variação inerentes a um processo que se encontra sob controle estatístico, as quais são difíceis de identificar, porém, juntas criam um sistema constante de variação. Diz-se que um processo que opera na presença de causas comuns está sob controle estatístico.

- Causas especiais ou assinaláveis são fontes relativamente grandes de variação quando comparadas com a variabilidade natural, as quais são identificáveis, frequentemente imprevisíveis e ocorrem fora do sistema constante de variação. Diz-se que um processo que opera na presença de causas especiais está fora de controle estatístico.

CAUSAS COMUNS	CAUSAS ESPECIAIS OU ASSINALÁVEIS
Inerentes ao processo	Intermitentes
Surgem de forma aleatória	Detectável
São indetectáveis	Removível
Seguem padrão estatístico (curva normal)	Fora de controle estatístico

AUTOATIVIDADE



Este tópico trabalhou com diversos conceitos relacionados ao CEP e à estatística. Apresentamos abaixo algumas definições dos conceitos que você aprendeu. Identifique o conceito relacionado às definições e resolva a palavra-cruzada.

- 1 Cartas de _____: gráficos que mostram a variação da grandeza ou característica de interesse (variabilidade do processo) em função do tempo para avaliar atributos ou desempenho de métodos ou de instrumentos de medição.
- 2 São fontes de variação inerentes a um processo que se encontra sob controle estatístico.
- 3 Condições nas quais os valores individuais não são previsíveis.
- 4 _____ de medição: parâmetro não negativo que caracteriza a dispersão dos valores atribuídos a um mensurando, com base nas informações utilizadas.
- 5 Grau de concordância entre indicações ou valores medidos, obtidos por medições repetidas, no mesmo material ou em materiais similares, empregando o mesmo procedimento de medição, mesmo analista, mesmo sistema de medição, do mesmo modo de operação, no mesmo local, no menor intervalo de tempo possível.
- 6 Conjunto de diferenças nas variáveis.
- 7 _____ padrão: dispersão dos resultados das medições ou do processo, denotado pela letra grega sigma (σ) ou pela letra (s).
- 8 Causas especiais ou _____.
- 9 Valor de medida central de um conjunto de dados, calculado pelo somatório de todos os resultados dividido pelo número total de resultados do conjunto.

FERRAMENTAS DE CONTROLE

1 INTRODUÇÃO

Sem medição não tem resultados.

Sem um controle dos processos não existem resultados confiáveis. Verifique, faça medições, controle e faça ajustes em sua trajetória para atingir a sua meta.

Prezado acadêmico, embora pareça óbvia a importância do controle, em todas as áreas relacionadas à vivência do ser humano, muitas vezes deixamos o controle de lado, e quando nos damos conta, somos surpreendidos com resultados que não gostaríamos de ter. Podemos exemplificar com o estudante que, de forma relapsa, não controla as suas notas durante o semestre, e chega ao final do mesmo e pega recuperação, ou até mesmo repete na disciplina; ou da mãe que vai preparar o bolo de final de semana, não mede a quantidade de trigo e outros componentes e os mistura de forma não controlada, não seguindo uma receita (padrão), e quando o retira do forno, o bolo não cresceu, por falta de fermento. Muito mais importante é o controle dentro das indústrias. Uma empresa sem controle dos seus processos e, principalmente, sem a qualidade de seus produtos, poderá ter surpresas desagradáveis em relação à qualidade de seus produtos e em seus resultados financeiros, ocasionando, muitas vezes, o seu fechamento. Assim, voltamos à frase: TUDO QUE PODE SER MEDIDO, PODE SER CONTROLADO.

Conforme definido no Dicionário Aurélio, temos que a palavra “Controle” é um substantivo utilizado para definir **o domínio ou poder de fiscalizar, inspecionar, administrar** determinada coisa; **ter o controle** da situação, ter sob o seu **domínio**, ou ainda, **ter o poder** sobre o que está acontecendo.

O Portal Action (2017) define controle como: “é o conjunto de decisões que tem por objetivo a satisfação de determinados padrões ou especificações por parte dos produtos focados no cliente”. Esta definição parece mais adequada ao nosso uso.

Vamos, neste tópico, começar a estudar as cartas de controle, que são a fundamentação principal do CEP.

2 INTRODUÇÃO ÀS CARTAS DE CONTROLE

Conforme apresentado na introdução deste tópico e nos tópicos anteriores, deve ter ficado claro ao acadêmico que é importante controlar os processos de produção de um produto, pois como colocado no conceito de controle apresentado, precisamos satisfazer determinados padrões ou especificações por parte dos produtos, e assim devemos trabalhar os processos de produção, para evitar que itens (produtos) não conformes/defeituosos ou a porcentagem de defeituosos surjam no processo produtivo.

Analisando os processos produtivos, podemos identificar o que causa a produção de itens defeituosos, em sua maioria pode ser proveniente de:

- Variação na matéria-prima
- Condições do equipamento
- Ferramental
- Métodos de trabalho
- Mão de obra
- Processo industrial etc.

Como são inúmeros os pontos que podem influir nas características de nosso produto final, é fundamental que os operadores de produção (veja que aqui estão inclusos os robôs de produção) necessitam possuir ferramentas que os ajudem a controlar as peças/produtos fabricados, objetivando manter o padrão de qualidade especificado em projeto, e prevenindo a fabricação de itens em desacordo com o especificado.

Precisamos sempre atentar que a coleta de informações sobre o processo tem um custo, e precisamos verificar se o que estamos coletando realmente é útil, uma vez que as informações devem servir para controlar o processo em si, além de possibilitar alavancagem de ações de melhoria.



Se você não pretende tomar ações sobre o processo, coletar informações é inútil e caro para a empresa.

Um dos pontos que gera muitas dúvidas aos especialistas da qualidade é: quais informações de desempenho do processo deverei utilizar? A resposta a esta questão é dada por Ribeiro e Caten (2012, p. 8), quando descrevem que as informações devem ser obtidas a partir do estudo cruzado dos itens a seguir:

- a) qualidade das características do produto final;
- b) qualidade das características intermediárias; e
- c) ajuste dos parâmetros do processo.

E os autores complementam:

A coleta de dados e as ações ao longo do processo são orientadas para o futuro, pois permitem detectar o defeito assim que ele é gerado, possibilitando a atuação sobre o processo no momento e local adequados. Essas ações podem envolver: controle sobre as matérias-primas; ajuste nos parâmetros do processo; manutenção periódica; treinamento de operadores etc. Corrigindo-se o processo, evita-se que novas peças defeituosas sejam produzidas (RIBEIRO; CATEN, 2012, p. 8).

Para verificar se um processo está sob controle são necessárias inspeções periódicas através de coleta de amostras. Logo, se diz que um processo está sob controle se a variabilidade identificada nas amostras extraídas do processo se comporta conforme uma distribuição normal, ou seja, a variabilidade é apenas devido ao acaso. Assim, o processo sob controle supõe que as características de qualidade analisadas possuam uma distribuição normal.

Precisamos ainda salientar que existem inúmeras formas de se controlar um processo, e como exemplos podemos citar:

- Controle por inspeção (manual, amostral, 100%, automatizadas etc.)
- Poka Yoke
- Controle Estatístico de Processo
- Controle automático de processo (instrumentos) etc.

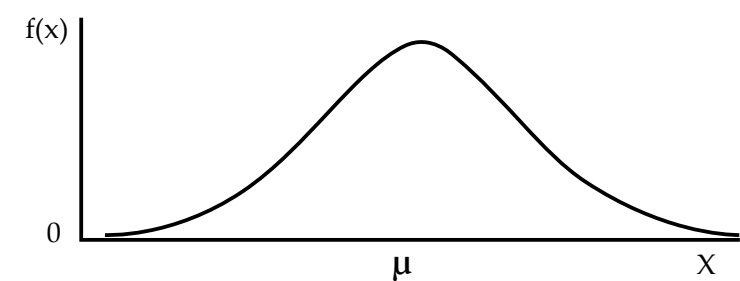
Nós iremos estudar sobre o Controle Estatístico de Processo, e para isto vamos conhecer um pouco mais a fundamentação que lhe dá a base teórica de seu funcionamento.

3 DISTRIBUIÇÃO NORMAL

A distribuição normal, distribuição gaussiana, distribuição de Gauss ou distribuição de Laplace-Gauss é a mais importante distribuição contínua. Podemos utilizar a distribuição normal para modelar fenômenos naturais, e também para nos ajudar a entender e trabalhar estatisticamente os processos, desde que sejam de variabilidade comum.

A distribuição normal é uma distribuição de probabilidade cuja curva de densidade é chamada de curva de Gauss ou de curva de sino, a qual apresentamos na figura a seguir.

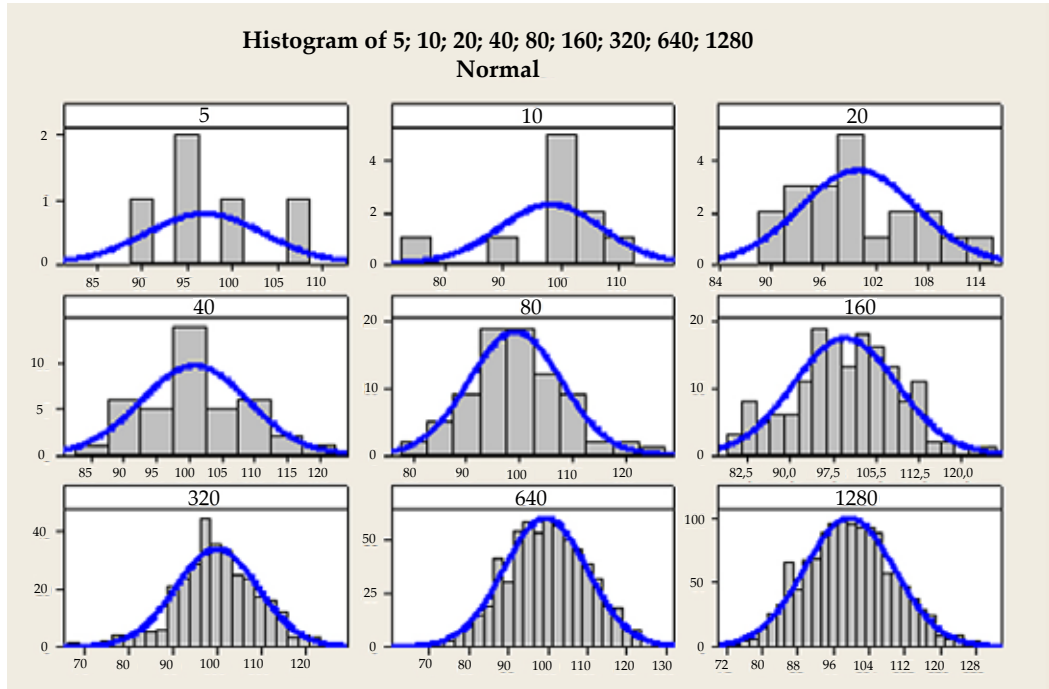
FIGURA 15 – CURVA NORMAL



FONTE: O autor

Conforme o Portal Action (2017, s.p.), a importância da distribuição normal se deve a vários fatores, mas o principal é referente ao **teorema central do limite**, “o qual é um resultado fundamental em aplicações práticas e teóricas, pois ele garante que mesmo que os dados não sejam distribuídos segundo uma normal, a média dos dados converge para uma distribuição normal conforme o número de dados aumenta”. No Gráfico 1 apresentamos diversos exemplos mostrando esta realidade, ou seja, quanto mais dados possuímos de um evento probabilístico, mais ele tende a uma curva normal de distribuição.

GRÁFICO 1 – VOLUME DE DADOS VERSUS CURVA NORMAL



FONTE: Disponível em: <<https://sites.google.com/site/qualidadeeprodutividade/six-sigma/dmaic/measure/2-1-2-2-estatistica-basica/2-1-2-2-4-histogramas-e-a-distribuicao-normal>>. Acesso em: 5 jun. 2017.

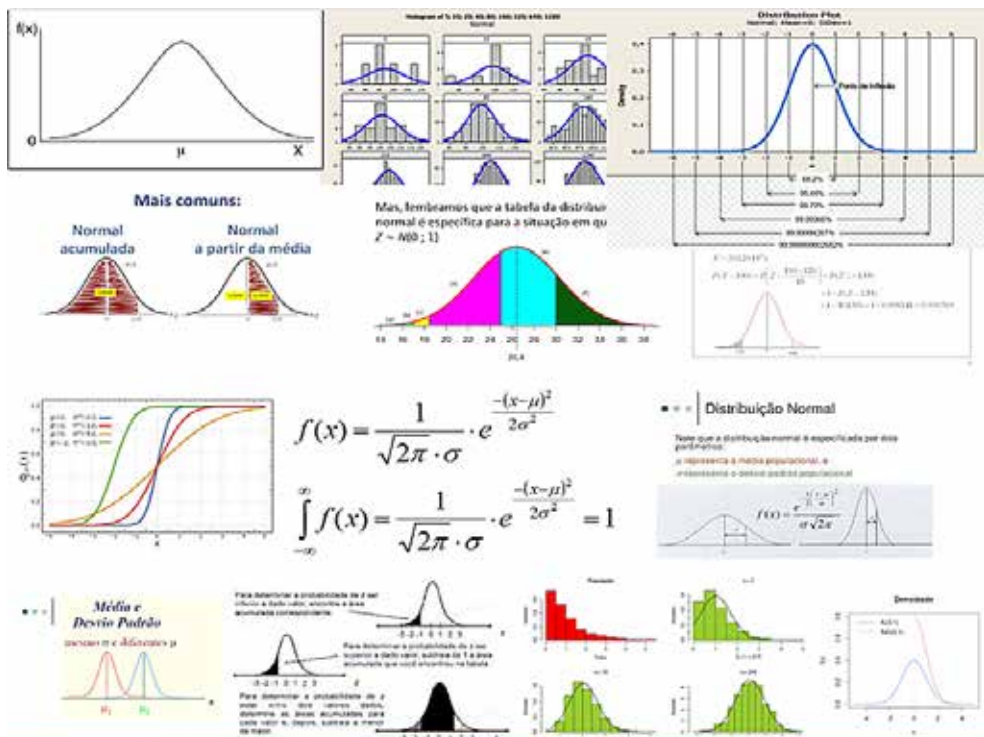


Já apresentamos algumas dicas de revisão para a estatística e probabilidade, mas os três sites listados a seguir têm informações bem focadas e lhe darão maior subsídios para estudar e aprofundar os seus conhecimentos em distribuição normal. Disponível em: <<http://www.portalaction.com.br/probabilidades/62-distribuicao-normal>>.

Resolva e compreenda bem os exemplos apresentados no site acima, pois eles são bem práticos e exemplificam bem os conceitos bases, pois você já deve ter estudado em estatística. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Distribui%C3%A7%C3%A3o_normal> e <<https://sites.google.com/site/qualidadeeprodutividade/six-sigma/dmaic/measure/2-1-2-2-estatistica-basica/2-1-2-2-4-histogramas-e-a-distribuicao-normal>>.

Você poderá buscar outras fontes, inclusive, há bons vídeos no youtube para se aprender a calcular e trabalhar com distribuições normais. Seguem alguns links para você assistir.

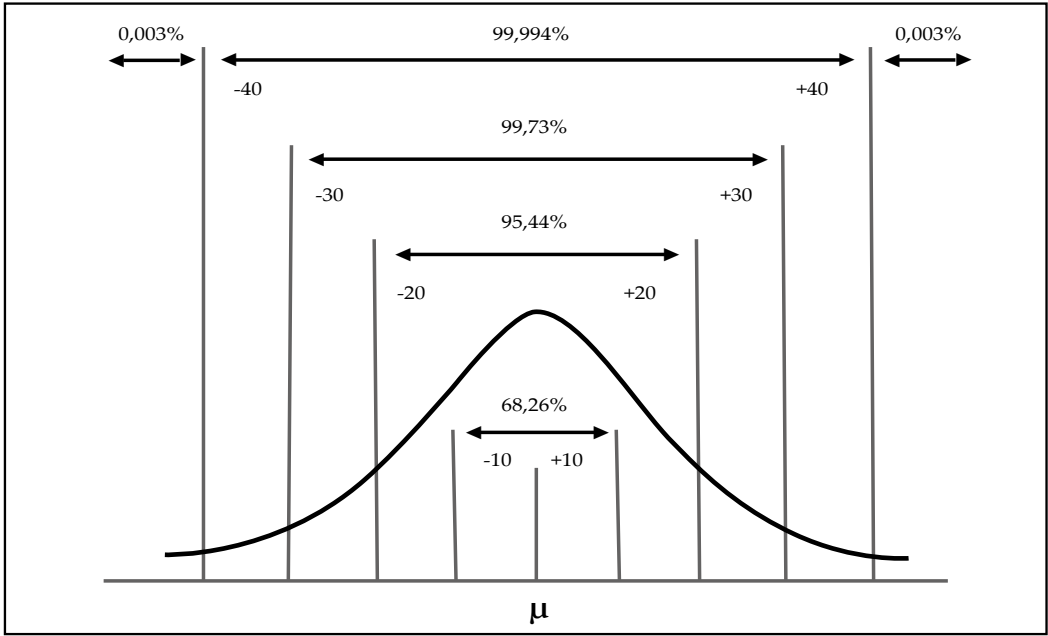
Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=BFu8smEp-Cc>> e <<https://www.youtube.com/watch?v=yhfODPGaMmY>>.



3.1 DISTRIBUIÇÃO NORMAL E O GRÁFICO DE CONTROLE

A distribuição normal é a base para desenvolvimento dos gráficos de controle, pois constitui a base estatística essencial para que se possa trabalhar o controle dos processos. A distribuição normal trabalha com os parâmetros do universo relacionados à média (μ) e ao desvio padrão (σ) e que se distribuem em torno da média nas proporções apresentadas a seguir.

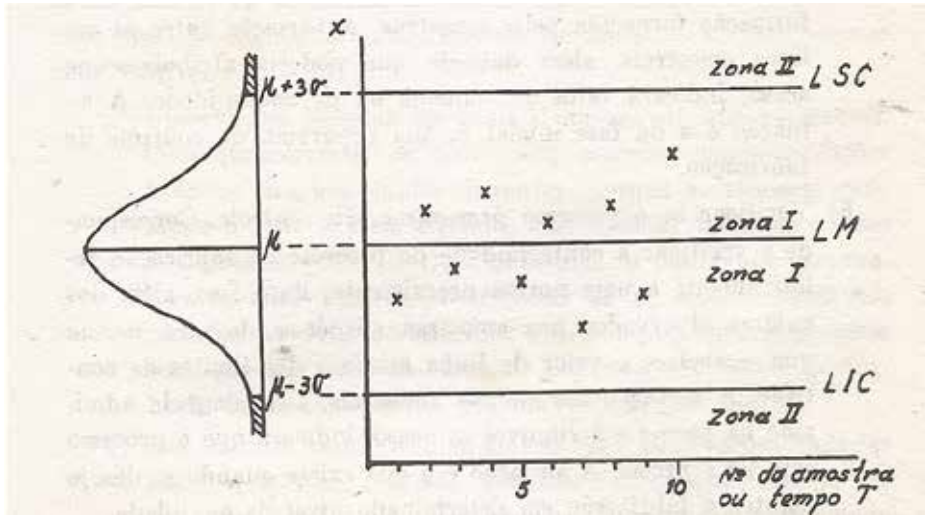
FIGURA 16 – CURVA NORMAL E ANÁLISE DE DESVIOS PADRÕES



FONTE: Disponível em: <<http://www.portalaction.com.br/probabilidades/62-distribuicao-normal>>. Acesso em: 6 jun. 2017.

Geralmente, trabalhamos nos gráficos de controle com um desvio padrão de mais ou menos três desvios padrões ($\pm 3 \sigma$), ou seja, com um intervalo de confiança de 99,73% ou corremos um risco de 0,27% de chance de erro no processo. Assim, conseguimos definir o nosso gráfico de controle:

GRÁFICO 2 – CURVA NORMAL E O GRÁFICO DE CONTROLE



FONTE: Lourenço (1987, p. 37)

No gráfico de controle temos apresentadas as seguintes variáveis, conforme Lourenço (1987, p. 37):

- A média μ , que determina a linha média (ou linha central) do gráfico, indicada por LM.
- O limite superior de controle, $\mu+3\sigma$, correspondente à linha superior de controle, LSC.
- O limite inferior de controle, $\mu-3\sigma$, correspondente à linha inferior de controle, LIC.

Podemos afirmar que os produtos com a dimensão “x” dentro da zona I são produtos conformes, e se tivesse algum item com dimensão “x” na zona II, estes seriam produtos com problemas ou não conformes.

Estude o gráfico apresentado e você entenderá melhor a correlação da estatística, através da curva normal de eventos, centrando os dados coletados, próximos da média, ou seja, da linha LM, além da aleatoriedade dos dados, como pode ser visto com dados ora acima da linha LM, ora abaixo da linha, de forma aleatória.



Para você entender melhor o gráfico de controle, sugerimos que volte e reveja as imagens deste tópico, pois tratam de uma construção de conhecimento importante para que você entenda melhor a construção do gráfico de controle, lembrando:

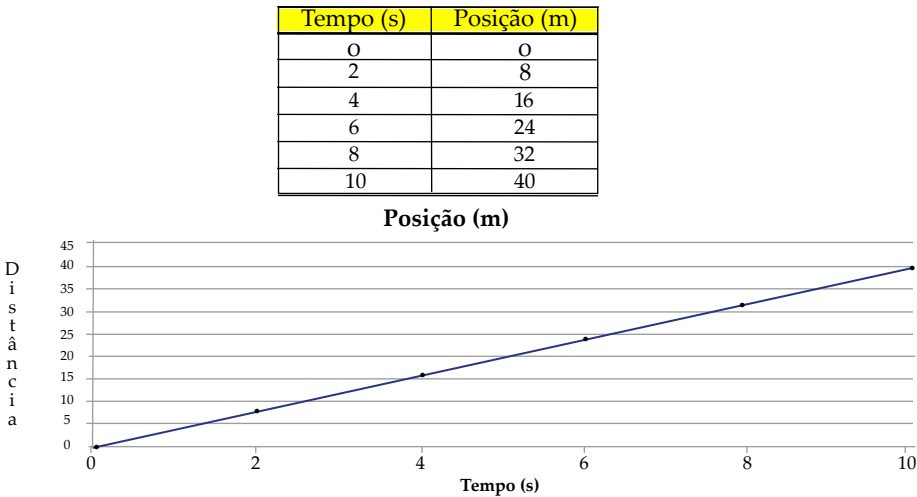
CAUSAS COMUNS
Inerentes ao processo
Surgem de forma aleatória
São indetectáveis
Seguem padrão estatístico (curva normal)

Vamos agora conhecer um pouco mais do gráfico de controle.

3.2 GRÁFICO DE CONTROLE

Prezado acadêmico de engenharia, você já deve estar acostumado a trabalhar e desenvolver gráficos para ajudá-lo a entender o que está estudando. Isto deve ter ocorrido em física em diversos momentos, como os gráficos de distância *versus* tempo, apresentados a seguir.

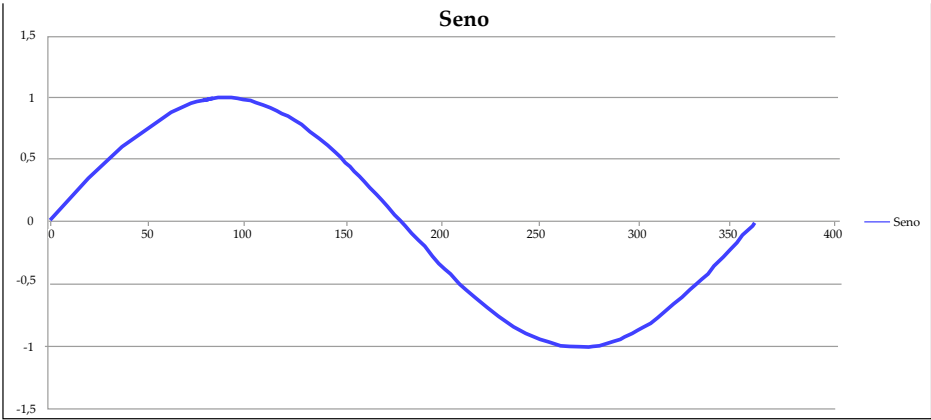
FIGURA 17 – TEMPO X DISTÂNCIA



FONTE: O autor

Assim como os gráficos de uma senoidal, apresentado a seguir, que você deve ter aprendido na disciplina de Cálculo.

GRÁFICO 3 - SENO



FONTE: O autor

O gráfico de controle é muito importante para o engenheiro, sendo utilizado em muitas frentes de trabalho, desde acompanhamento de processos de atendimento, acompanhamento de aferições de material técnico, a processos de controle de qualidade.

Vamos agora aprender a montar um gráfico de controle simples, através de um exemplo simples relacionado a atendimento em uma central de *telemarketing*.

Uma empresa de *telemarketing* contratou um engenheiro de produção para estudar a sua linha de ligações ativas de vendas. O engenheiro identificou que, em média, no turno matutino eram realizadas 43 ligações por período de quatro horas do turno. As ligações variavam entre mais 8 e menos 8 ligações pelo período. Foi analisado um mês com 22 dias úteis, em que se trabalhou com cinco funcionários chamados de X1, X2, X3, X4 e X5, e obteve-se a seguinte tabela de ligações:

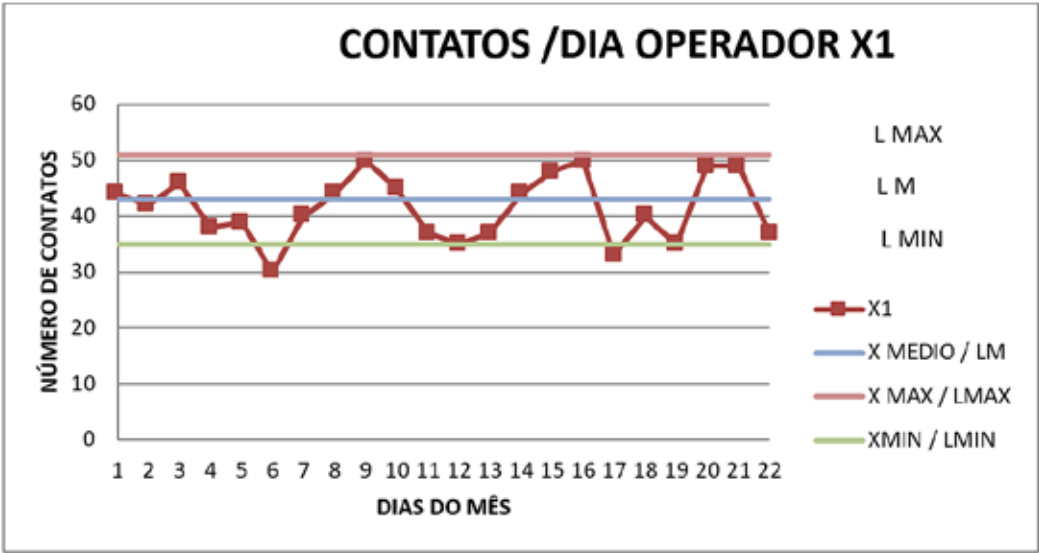
DIA	X1	X2	X3	X4	X5
1	44	43	38	42	35
2	42	44	39	42	38
3	46	39	40	44	44
4	38	45	43	45	40
5	39	38	35	38	42
6	30	37	50	50	47
7	40	43	39	38	39
8	44	48	49	37	37
9	50	40	35	43	49
10	45	39	34	44	45
11	37	46	44	44	44
12	35	42	40	45	45

13	37	47	38	46	46
14	44	40	47	49	47
15	48	44	44	43	44
16	50	44	44	44	48
17	33	48	43	47	47
18	40	38	39	44	46
19	35	40	39	49	45
20	49	44	38	50	39
21	49	44	40	48	39
22	37	40	44	44	44

X MÉDIA=	43	CONTATOS
X MAX=	51	CONTATOS
X MIN=	35	CONTATOS

Vamos agora construir o nosso primeiro gráfico de controle, ou seja, vamos considerar somente o operador X1 e faremos um gráfico, colocando na abcissa X os dias de 1 a 22, e na abcissa Y, vamos inicialmente dividir em escala e colocaremos o número de contatos diários do operador. Fazendo isso e depois plotando os dados diários para o operador X1, teremos o seguinte gráfico:

GRÁFICO 4 – CONTATOS OPERADOR X1



FONTE: O autor

Poderíamos estar melhorando a apresentação. Eliminando os espaços em branco, resultando em um gráfico mais condensado e focado, conforme apresentado a seguir, porém ele apresenta os mesmos resultados que o anterior.

GRÁFICO 5 – CONTATOS/DIA OPERADOR X1



FONTE: O autor

Caro acadêmico, veja como o Gráfico 5, além de mais compacto, está maior e mais inteligível a quem for analisá-lo, por isto, tenha cuidado ao elaborar e apresentar os seus dados e gráficos.



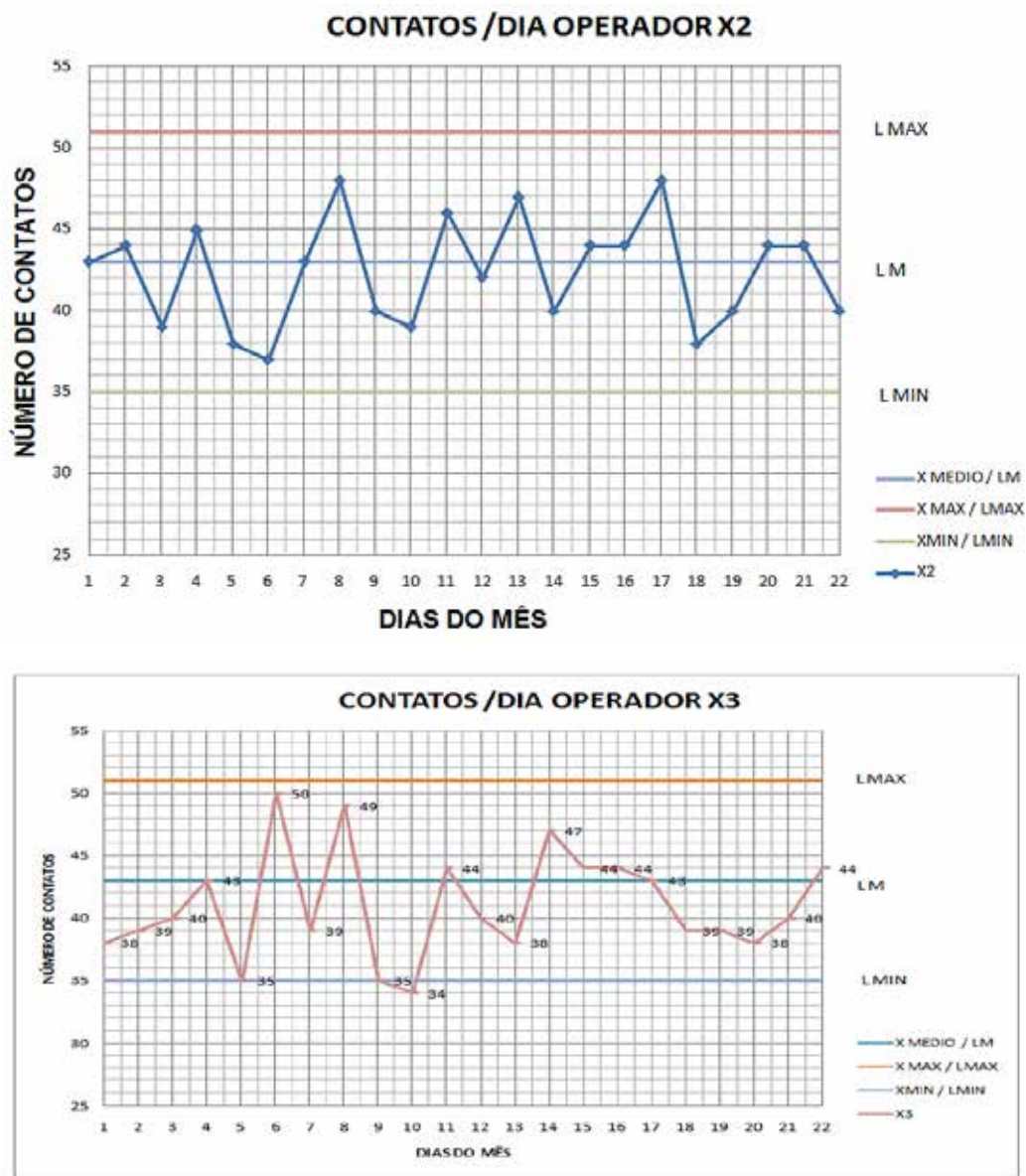
Os gráficos apresentados foram elaborados no aplicativo Excel, mas recomendo ao acadêmico que faça inicialmente os seus gráficos manualmente, para aprender bem a sua confecção e, conseqüentemente, a sua interpretação, pois a apresentação gráfica permite às pessoas visualizar e tirar conclusões mais fáceis do que olhar simplesmente uma tabela de números como a mostrada na tabela de dados apresentados acima. Uma das ferramentas mais simples de trabalho é o Excel, mas existem outras ferramentas disponíveis no mercado. Recomendamos que o acadêmico utilize a ferramenta gráfica com a qual já esteja ambientado a trabalhar.



Nós ainda não estamos trabalhando a interpretação dos gráficos, somente a sua construção.

Vamos agora construir os gráficos para X2 e X3, deixando os campos para o acadêmico montar os gráficos para X4 e X5.

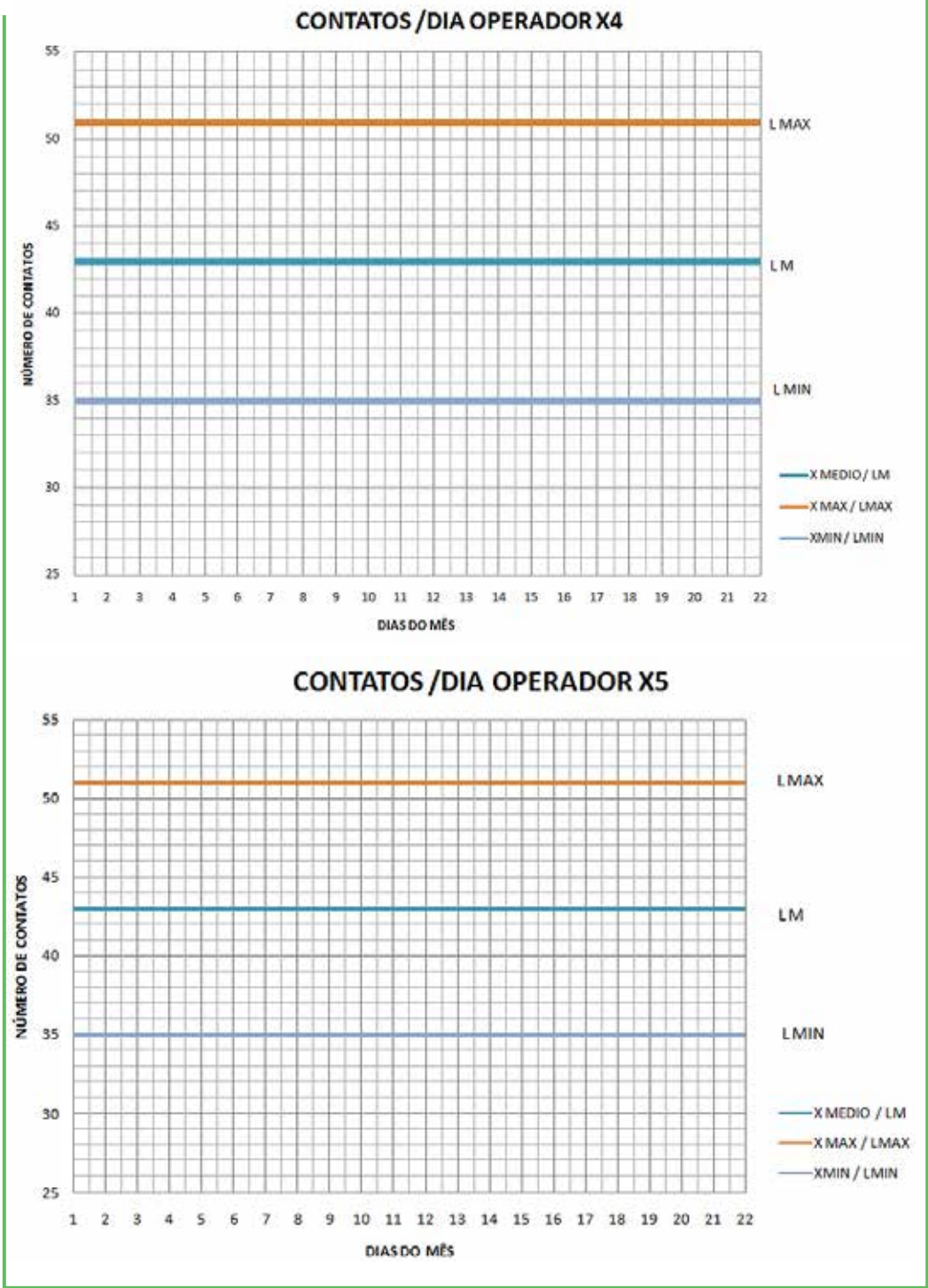
GRÁFICO 6 – CONTATOS OPERADOR X2 E X3



FONTE: O autor



Preencha agora os gráficos de controle para os operadores X4 e X5.



Você deve ter percebido que mesmo que simples, estas cartas de controle de processo desenvolvidas pelo engenheiro trazem informações importantes aos gestores para melhorar a atuação dos operadores de telemarketing, mas as cartas de controle e a sua metodologia deverão ser melhor dimensionadas/especificadas, para que elas possam nos ajudar efetivamente de forma técnica dentro das linhas de produção, e é o que você aprenderá adiante, a elaborar as cartas de controle para aplicar no CEP.

4 EXEMPLO DE APLICAÇÃO DAS CARTAS DE CONTROLE

Como você deve ter percebido, as cartas de controle são bastantes úteis aos gestores e engenheiros que desejam aprimorar os seus processos produtivos ou operacionais, como iniciamos a ver.

O CEP e as cartas de controle, como ferramentas de controle de processos, conforme Montgomery (2004), são comumente usadas em um processo objetivando:

- Desenvolver um estado de controle estatístico do processo analisado.
- Monitorar e acompanhar o processo.
- Determinar a capacidade (capacidade) do processo.
- Identificar variações excessivas no processo.

A distribuição normal é a base para desenvolvimento dos gráficos de controle, pois constitui a base estatística essencial para que se possa trabalhar o controle dos processos. A distribuição normal trabalha com os parâmetros do universo relacionados à média (μ) e ao desvio padrão (σ) e que se distribuem em torno da média nas proporções apresentadas na Figura 16.

Todos os processos podem ser controlados e analisados com cartas de controle, não importando se é um processo baseado em serviços, como o exemplo do atendimento em um telemarketing ativo, ou um processo produtivo de um parafuso ou de uma linha de produção de um celular, a verdade é que podemos utilizar as cartas de controle em qualquer tipo de processo.

Assim, podemos exemplificar com a aplicação de cartas de controle na linha de produção, como no controle de dimensões de peças obtidas pelos mais diversos processos de fabricação (estampagem, conformação, injeção de plástico, usinagem etc.).

FIGURA 18 – INSPEÇÃO DE PEÇAS



FONTE: Disponível em: <<http://www.mixinspecao.com.br/>>. Acesso em: 15 jun. 2017.

Podemos ainda utilizar as cartas de controle para controlar a produção horária de uma linha de produção, o atendimento de um caixa de banco etc. As cartas de controle têm uma aplicação muito grande nas empresas, sejam elas industriais ou de serviço. Vamos agora revisar o que estudamos neste tópico, e realizar a autoatividade exercitando um pouco mais a execução de uma carta de controle.

LEITURA COMPLEMENTAR

ANÁLISE DE CARTAS DE CONTROLE

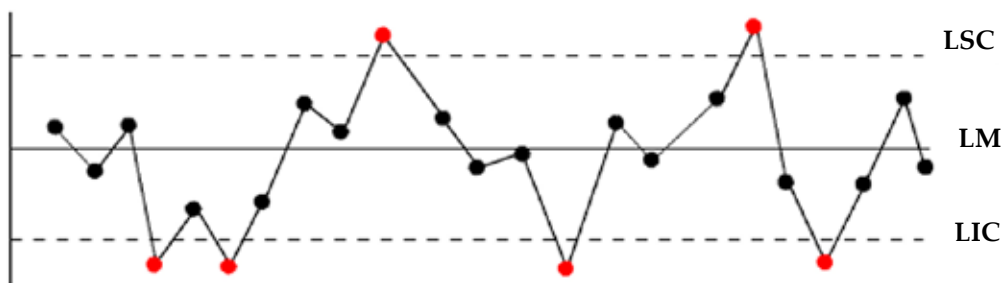
Muitas vezes coletamos os dados, criamos a carta de controle, porém não sabemos analisar essa ferramenta essencial para o controle estatístico de processo.

Werkema (1995b, p. 209-212) sugere uma sequência de passos para análise das cartas de controle:

- 1) Construir limites de controle experimentais após a coleta de dados segundo o Plano de Amostragem.
- 2) Verificar se todos os pontos estão dentro dos limites de controle e nenhuma configuração aleatória está presente. Se essas duas condições forem satisfeitas, pode-se afirmar que o processo está sob controle estatístico, e o próximo passo é avaliar a capacidade do processo.
- 3) Caso haja pontos fora dos limites de controle e/ou alguma configuração não aleatória, pode-se concluir que o processo está fora do estado de controle estatístico. Neste caso, devem ser identificadas as causas especiais que causaram cada ponto. Após isso, esses pontos devem ser eliminados da amostragem, novos limites experimentais devem ser calculados e a análise deve ser realizada novamente. Esses passos devem ser executados até que se conclua que o processo está fora ou sob controle estatístico. Em alguns casos, se os passos forem executados continuamente, podem restar poucos pontos para análise, o que diminui a representatividade do processo. A solução nesses casos é coletar novas amostras e reiniciar a análise.

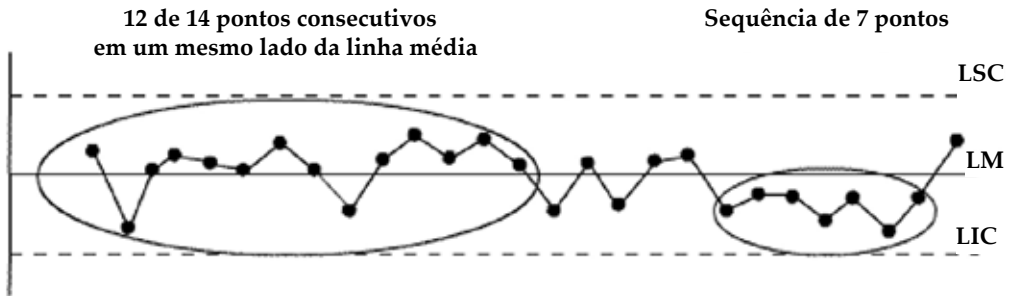
Encontrar os pontos fora dos limites de controle é uma tarefa fácil, mas identificar configurações não aleatórias é uma tarefa que gera muitas dúvidas. Para esclarecê-las, mostraremos logo abaixo os padrões apresentados por Werkema (1995, p. 218-222): “Os padrões de referência relativos às configurações não aleatórias foram estabelecidos para facilitar a detecção de variações relativas a causas especiais. Esses padrões foram elaborados a partir das propriedades da distribuição normal, através de regras estatísticas relativamente simples”.

a) Pontos fora dos limites de controle



É uma das formas mais evidentes da falta de controle estatístico de um processo. Neste caso, as causas especiais podem estar relacionadas a dados gerados por procedimentos incorretos de coleta de dados ou equipamentos descalibrados.

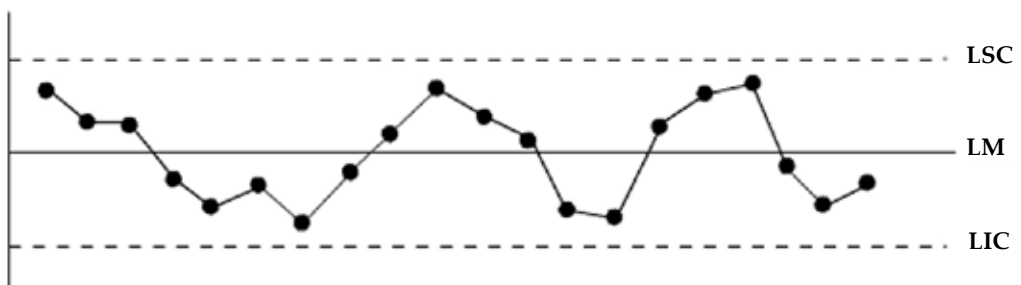
b) Sequência



O principal padrão de sequência é quando 7 ou mais pontos consecutivos aparecem em apenas um dos lados, abaixo ou acima da linha média.

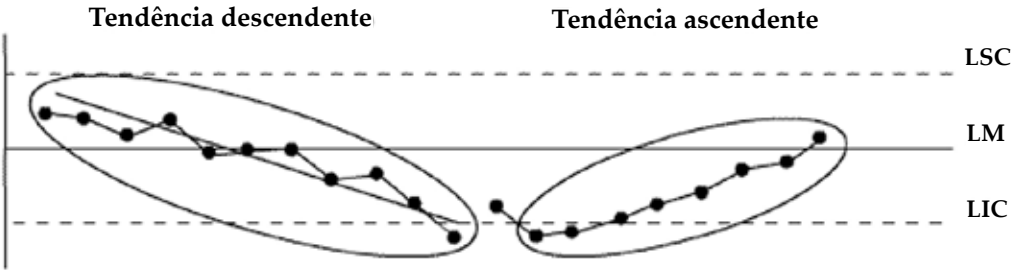
As sequências são mais difíceis de serem detectadas, pois é necessário analisar se as causas especiais que ocorrerem no processo irão melhorá-lo ou prejudicá-lo. Geralmente, as sequências estão relacionadas a mudanças significativas no processo, causadas por matéria-prima, mudanças de equipamentos, alterações de procedimentos operacionais etc.

c) Periodicidade



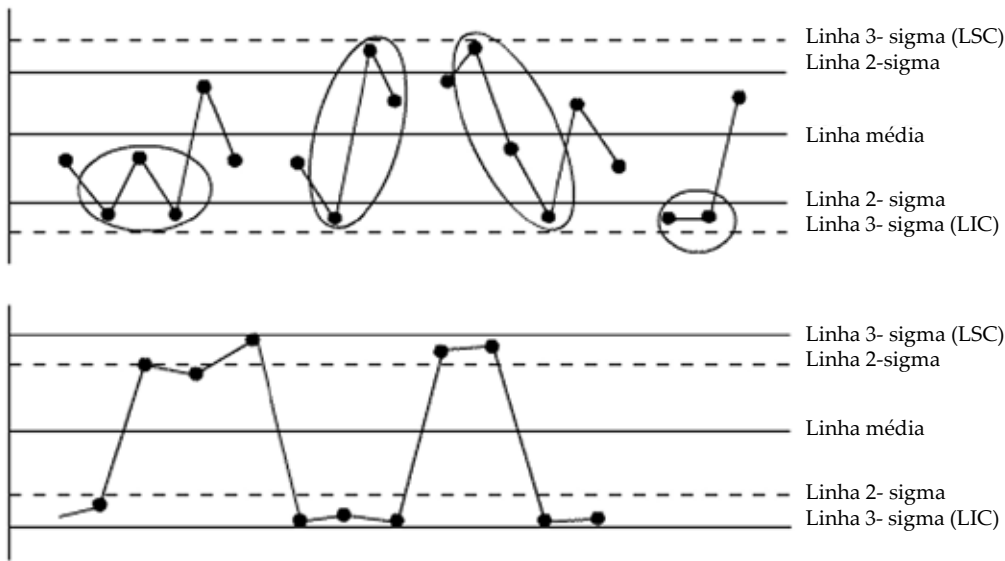
A periodicidade é uma configuração detectável a longo prazo. Os pontos são distribuídos no gráfico como uma curva que apresenta uma tendência alternada para cima e para baixo. Essa variação pode ser associada, por exemplo, à rotatividade de operadores.

d) Tendências



Uma tendência pode ser detectada por 7 ou mais pontos, ascendentes ou descendentes. Algumas causas dessa configuração são: desgaste de ferramentas, mudança nas condições ambientais (temperatura, umidade, pressão etc.).

e) Aproximação dos limites de controle



Essa configuração é caracterizada por dois ou mais pontos fora dos limites 2-sigma da carta de controle. As aproximações dos limites de controle são típicas de grandes ajustes no processo. Isso ocorre quando os operadores tentam ajustar o processo frequentemente de acordo com as causas comuns, e não as especiais

f) Aproximação da média

Essa configuração é perigosa, pois apesar de aparentar estabilidade, pode representar instabilidades do processo.

As configurações exibidas anteriormente são válidas para todas as cartas de controle convencionais: X-R, X-S, carta p, carta np, carta c e carta u. No caso da carta X-AM, a única configuração válida é a existência de pontos fora dos limites de controle, pois os pontos nesta carta guardam uma correlação entre si.

Outro ponto a ser observado é que esses padrões não serão regras para todos os processos, pois, em um determinado processo, sete pontos consecutivos podem ser considerados normais.

FONTE: Disponível em: <http://www.datalyzer.com.br/site/suporte/administrador/info/arquivos/info_78/78.html>. Acesso em: 20 jun. 2017.

RESUMO DO TÓPICO 3

Neste tópico, você aprendeu que:

- TUDO QUE PODE SER MEDIDO, PODE SER CONTROLADO.
- Controle pode ser entendido como o conjunto de decisões que tem por objetivo a satisfação de determinados padrões ou especificações por parte dos produtos ou dos processos.
- Analisando os processos produtivos, podemos identificar o que causa a produção de itens defeituosos, em sua maioria pode ser proveniente de: Variação na matéria-prima, Condições do equipamento, Ferramental, Métodos de trabalho, Mão de obra, Processo industrial etc.
- Se você não pretende tomar ações sobre o processo, coletar informações é inútil e caro para a empresa.
- A coleta de dados e as ações ao longo do processo são orientadas para o futuro, pois permitem detectar o defeito assim que ele é gerado, possibilitando a atuação sobre o processo no momento e local adequado, enquanto que as inspeções sobre o produto final são orientadas para o passado.
- As inspeções, em geral, impedem que produtos defeituosos cheguem ao cliente, mas são ineficientes. Agir sobre o processo é mais eficaz, pois impedirá que novas peças defeituosas sejam produzidas.
- A distribuição normal, distribuição gaussiana, distribuição de Gauss ou distribuição de Laplace-Gauss é a mais importante distribuição contínua, ela é utilizada para modelar fenômenos naturais, e também para nos ajudar a entender e trabalhar estatisticamente os processos, desde que sejam de variabilidade comum. A distribuição normal é uma distribuição de probabilidade cuja curva de densidade é chamada de curva de Gauss ou curva de sino.
- A importância da distribuição normal se deve a vários fatores, mas o principal é referente ao teorema central do limite, “ele garante que mesmo que os dados não sejam distribuídos segundo uma normal, a média dos dados converge para uma distribuição normal conforme o número de dados aumenta” (PORTAL ACTION, 2017, s.p.).

- A distribuição normal é a base para desenvolvimento dos gráficos de controle. A distribuição normal trabalha com os parâmetros do universo relacionados à média (μ) e ao desvio padrão (σ) e que se distribuem em torno da média.
- O gráfico de controle simples é definido pelos parâmetros de linha média (LM), que é a dimensão do processo objetivo, juntamente aos limites máximos e mínimos aceitáveis, ou seja, o LMAX e LMIN.

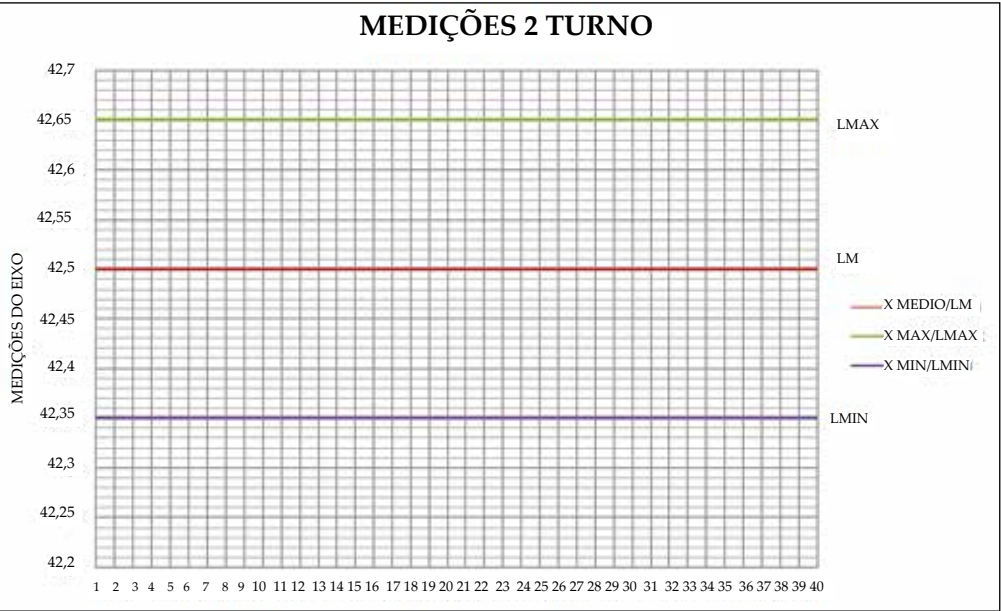
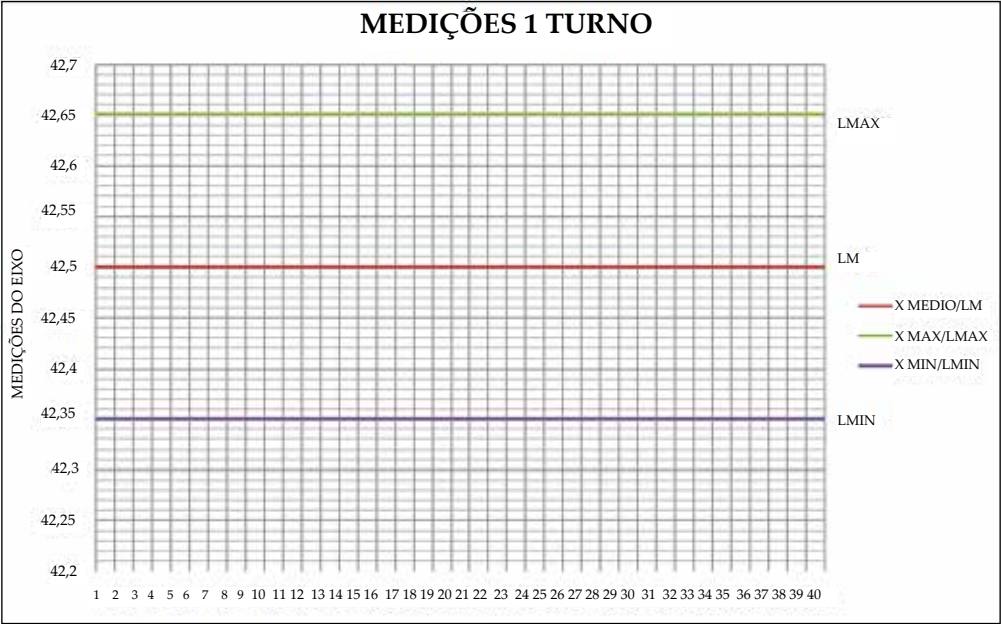


1 A metalúrgica Só Usinagem trabalha com peças automotivas e a peça eixo é uma das mais importantes produzidas. No Torno 01, trabalha-se em dois turnos de oito horas cada, sendo que as medições são registradas na carta de controle a cada hora, e são apresentadas nos quadros abaixo, sendo apresentados os dados de uma semana, ou seja, 40 horas de cada turno (considerá-los de forma contínua de 1 a 40h por turno). A dimensão que irá ser acompanhada é um diâmetro, cuja dimensão nominal é de 42,5 mm e com uma tolerância de $\pm 0,15$ mm.

Tabela com dados levantados por turno da medição do eixo:

DIA	1º turno	2º turno	DIA	1º turno	2º turno
1	42,35	42,44	21	42,57	42,57
2	42,42	42,68	22	42,44	42,52
3	42,62	42,51	23	42,45	42,3
4	42,53	42,66	24	42,5	42,63
5	42,43	42,38	25	42,43	42,35
6	42,62	42,43	26	42,56	42,53
7	42,59	42,39	27	42,52	42,51
8	42,46	42,32	28	42,56	42,68
9	42,64	42,33	29	42,55	42,39
10	42,65	42,65	30	42,35	42,59
11	42,53	42,65	31	42,39	42,65
12	42,41	42,54	32	42,44	42,4
13	42,35	42,34	33	42,44	42,45
14	42,55	42,31	34	42,5	42,31
15	42,56	42,38	35	42,42	42,45
16	42,43	42,33	36	42,52	42,47
17	42,61	42,55	37	42,37	42,4
18	42,38	42,38	38	42,49	42,62
19	42,43	42,45	39	42,59	42,3
20	42,62	42,54	40	42,41	42,37

Elabore os gráficos de controle para os dois turnos das medições realizadas.



CARTAS DE CONTROLE

OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM

A partir desta unidade você será capaz de:

- conhecer os processos de desenvolvimento de uma carta de controle;
- identificar processos que devem ser controlados por cartas de controle;
- desenhar cartas de controle;
- selecionar o tipo ideal de carta de controle a ser utilizado para o controle de um processo;
- identificar os principais tipos de cartas de controle (CC) que podem ser utilizados para análise de processos;
- calcular os limites de controle de uma carta de controle.

PLANO DE ESTUDOS

Esta unidade está dividida em três tópicos. No decorrer da unidade você encontrará autoatividades com o objetivo de reforçar o conteúdo apresentado.

TÓPICO 1 – DESENVOLVIMENTO DE CARTAS DE CONTROLE (CC)

TÓPICO 2 – GRÁFICOS DE CONTROLE POR VARIÁVEIS

TÓPICO 3 – GRÁFICOS DE CONTROLE POR ATRIBUTOS

DESENVOLVIMENTO DE CARTAS DE CONTROLE (CC)

1 INTRODUÇÃO

Um **processo** sem controle ocasionará um custo enorme para a empresa, a qual terá que arcar com as suas consequências (custo de não qualidade, perda de clientes, fechamento de unidades etc.). As **cartas de controle** são o primeiro passo para as empresas melhorarem os seus resultados.

Prezado acadêmico, atualmente estamos constantemente envolvidos por “processos” operacionais, seja de forma profissional, seja em nossa vida pessoal. Vamos começar a estudar, nesta unidade, como montar cartas de controle baseadas em análises estatísticas, para que possamos melhorar os processos operacionais por meio das análises e informações obtidas com as cartas de controle.

A aleatoriedade de um processo e a sua normalidade é que nos permitem desenvolver gráficos de controle para auxiliar-nos a compreender o processo e inferir melhorias e ajustes para que ele gere resultados dentro da normalidade esperada.

Um dos pontos importantes para a elaboração das cartas de controle está na coleta de dados, que precisa ser realizada com certa frequência, e no tamanho de amostra a ser coletada, a qual precisa seguir determinado padrão, a ser definido de acordo com a característica que se quer estudar e controlar.

Assim, as cartas (ou gráficos) de controle são uma metodologia utilizada para monitorar o desempenho de um processo, desde que o mesmo possa ser medido, sendo importante seu controle e ajustamento.

Ribeiro e Caten (2012, p. 18) descrevem pontos importantes a serem considerados para implantação do CEP, como:

- A coleta de dados para o preenchimento das cartas de controle exige investimentos em tempo, recursos e mudança na filosofia da empresa. Assim, a implantação do controle estatístico de processo somente pode ser justificada quando os seguintes aspectos são observados:
- a) não utilizar um número excessivo de cartas de controle, sob risco do CEP transformar-se em atividade-gargalo na produção;
 - b) aplicar o CEP em etapas prioritárias do processo, determinadas sob o ponto de vista da demanda de qualidade dos clientes;
 - c) associar o CEP a uma estratégia de ação; coletar dados e não agir implica em desperdício de tempo e recursos.

Na fase de planejamento, é importante a participação das pessoas envolvidas com a linha de produção: elas devem sentir-se corresponsáveis e comprometidas com a implantação do sistema. Deve-se, assim, investir um maior tempo na fase de planejamento, para minimizar a necessidade de alterações posteriores à implantação. Inicialmente, é necessária a identificação dos processos críticos para a qualidade e produtividade da empresa: estes serão os processos nos quais será aplicado o CEP. Deve-se utilizar um método consistente para determinação dos processos críticos sob o ponto de vista do cliente. Nesta etapa, também é necessário definir:

- (i) Características de qualidade importantes para o cliente;
- (ii) Processos nos quais as características determinadas em (i) são construídas.
- (iii) Variáveis a serem controladas em cada processo.
- (iv) Capacidade do sistema de medição.
- (v) Indivíduos responsáveis pela ação sobre o sistema quando este sinalizar um estado de descontrole estatístico.
- (vi) Ações a serem tomadas quando o sistema estiver fora de controle.

Geralmente, quando iniciamos os estudos de um processo com a utilização das cartas de controle, o processo é colocado em funcionamento e então analisamos quais características queremos controlar, e começamos a coletar os dados referentes à característica em estudo para dimensionarmos as especificações das cartas de controle.

Vamos, agora, aprender a montar uma carta de controle.

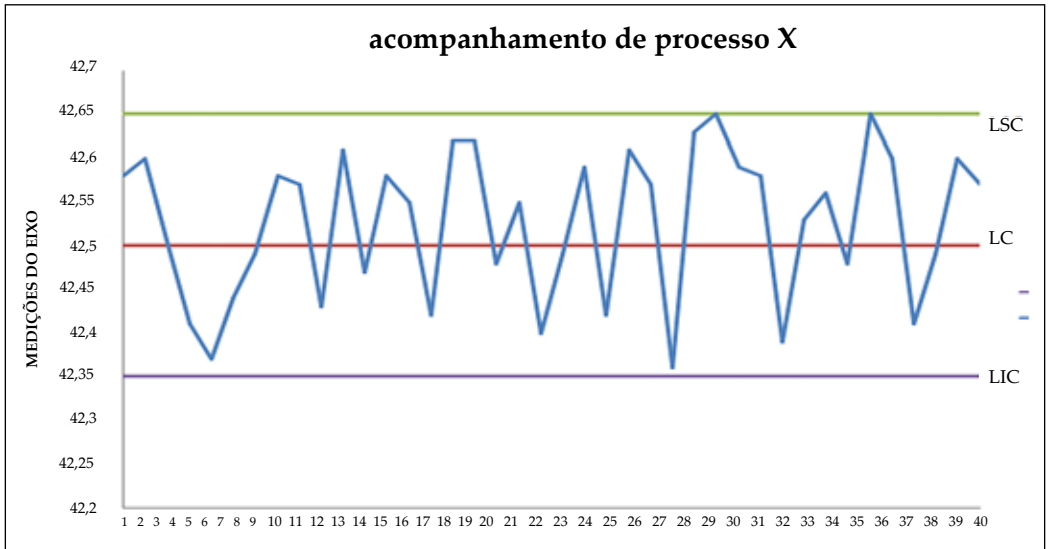
2 PROCESSOS DE ELABORAÇÃO DE UMA CARTA DE CONTROLE

Prezado acadêmico, os “processos” operacionais estão presentes em todas as áreas profissionais ou pessoais em nosso cotidiano, a partir deste momento estaremos aprendendo a desenvolver cartas de controle que são baseadas em princípios estatísticos, que buscarão identificar possíveis desvios de processos de modo que se possa interagir sobre o mesmo para controlá-lo antes que saia do domínio e ocasione falhas no mesmo.

Em um gráfico de controle, buscamos a qualidade (dimensional) de conformidade do produto manufaturado em relação ao valor especificado no projeto, logo podemos entender que um produto é defeituoso se não é conforme a dimensão especificada. Assim, toda medição de uma dimensão característica do produto está baseada em uma especificação de projeto, o qual representa o valor-alvo a ser atingido para que o seu desempenho seja o adequado e possa ser controlado pelas cartas de controle.

As cartas de controle (CC) têm, geralmente, um padrão de definição estatístico, o qual é definido por uma faixa de controle que denominamos de limites de controle, que compreendem uma linha superior, denominada como limite superior de controle (LSC), e uma linha inferior chamada de limite inferior de controle (LIC), além de uma linha central referencial chamada de limite central (LC), conforme podemos ver no gráfico a seguir.

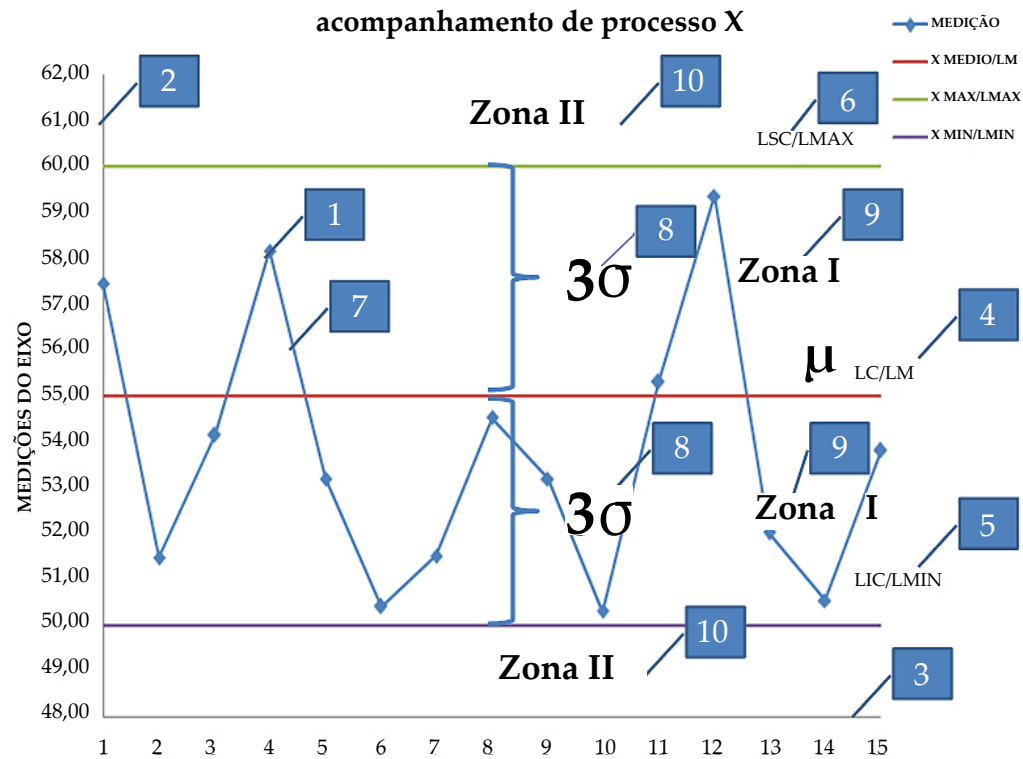
GRÁFICO 7 – PADRÃO DE DESENHO DE UMA CARTA DE CONTROLE



FONTE: O autor

Um gráfico de controle ou carta de controle (CC) tem muito mais elementos que o compõem, conforme é apresentado no gráfico a seguir, os quais descrevemos na sequência e iremos aprender a dimensionar e analisar.

GRÁFICO 8 – ELEMENTOS QUE COMPÕEM UMA CARTA DE CONTROLE



FONTE: O autor

Apresentamos a seguir o significado de cada um dos pontos identificados no gráfico:

- 1) Medida: É o elemento central da carta de controle, ou seja, são as dimensões coletadas de nosso processo e podem ser classificadas por dois grandes grupos, que são:
 - a) Medida Variável: se a característica a ser controlada for expressa como um número em uma escala contínua de medida. São exemplos de características da qualidade mensuráveis: peso, dimensão, volume, pH, dureza etc. São denominadas variáveis, devido à sua escala contínua de medida. Estes gráficos são chamados de cartas de controle por variáveis (CCV).
 - b) Medida por Atributo: Muitos processos não possuem características que possam ser medidas em uma escala contínua, muitas vezes nem em escala quantitativa, temos que contar o número de defeitos existentes no produto/processo, ou ainda, se o processo é conforme ou não conforme, logo, podemos entender como características que são comparadas com um padrão/especificação, assumindo assim apenas valores discretos. São exemplos de medições por atributo: existência de manchas na peça; continuidade de uma

costura; número de atendimentos por hora; número de reclamações por hora; número de ligações do telemarketing por hora; número de acidentes por hora etc. Conforme Paladini (2012), as medições são realizadas via inspeção visual, calibradores passa não passa, painéis de testes, dentre outros meios. Estes gráficos são chamados de cartas de controle por atributos (CCA).

- 2) Eixo Y – Abscissa com as dimensões da característica controlada.
- 3) Eixo X – Abscissa com as especificações da amostra ou tempo de análise.
- 4) LC ou LM – Linha (Limite) de Controle ou também conhecido como linha média da medição.
- 5) LIC ou LMIN – Limite Inferior de Controle ou Limite mínimo de controle ($LC - 3\sigma$).
- 6) LSC ou LMAX – Limite Superior de Controle ou Limite Máximo de controle ($LC + 3\sigma$).
- 7) Linhas que unem dois pontos consecutivos do gráfico. Auxiliam para entender e analisar os gráficos de controle.
- 8) 3σ – Três desvios padrões. Geralmente é o valor que utilizamos para definir a variação (ou tolerância) da dimensão de controle (LM) com o LIC e o LSC.
- 9) ZONA I - É a zona de dimensões que estão dentro do padrão especificado.
- 10) ZONA II – É a zona de dimensões que ultrapassaram os limites de controle (estão fora do padrão especificado).



– Prezado acadêmico, apesar de simples, o gráfico de controle é uma importante ferramenta para a engenharia e por isso recomendo que você analise melhor o gráfico anterior, pois logo iremos calcular e montar um gráfico de controle dentro dos padrões utilizados no CEP.

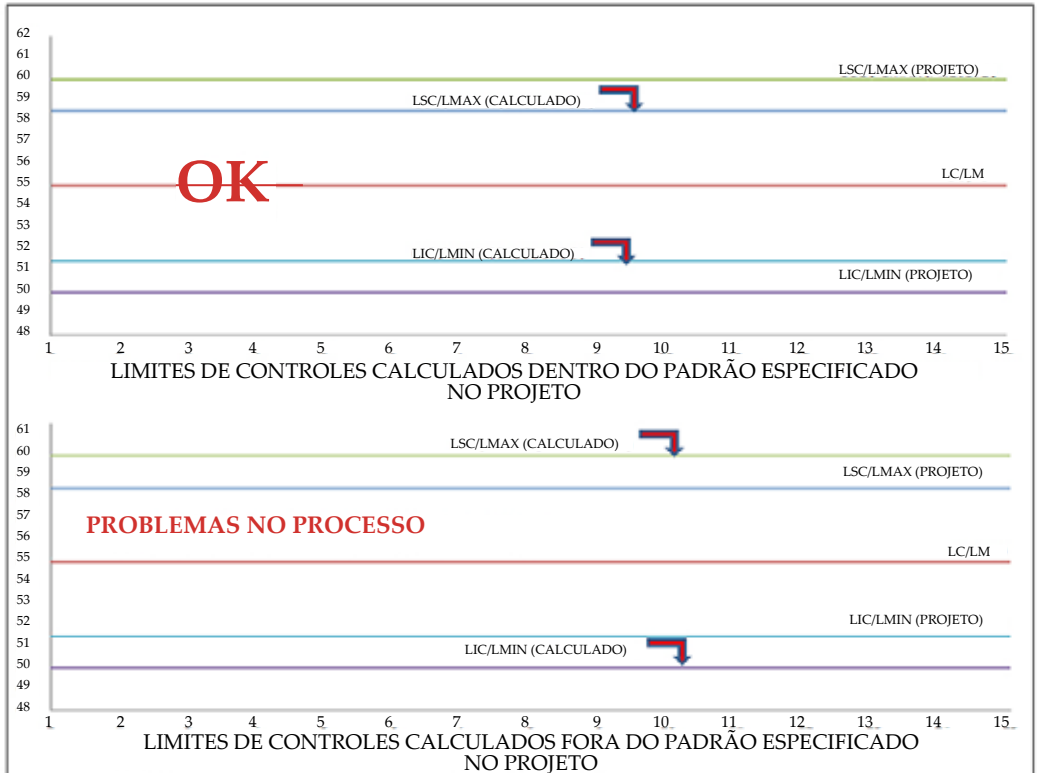
Vamos, a seguir, aprender os passos básicos para construção de um gráfico de controle.

2.1 PASSOS PARA ELABORAÇÃO DE UMA CARTA DE CONTROLE

Para a construção dos Gráficos de Controle existem alguns passos básicos apresentados por diversos autores, como Montgomery (2004), Paladini (2012), Oliveira et al. (2013), Ribeiro e Caten (2012), entre outros tantos autores. Eles descrevem que precisamos seguir uma sequência básica para montagem das CC, as quais são:

1. Conscientização e treinamento dos funcionários envolvidos no processo, tanto operacionais quanto gestores.
2. Definição e descrição do processo.
3. Escolher as características da qualidade/dimensões a serem controladas.
4. Definição de ferramentas de medição adequadas para as dimensões a serem controladas.
5. Escolha dos pontos do processo em que serão efetuadas as medições.
6. Definir formulário de controle.
7. Escolha do tipo de gráfico a ser utilizado conforme o processo e dimensões controladas.
8. Coleta dos dados.
9. Escolher os limites de controle conforme projeto do processo.
10. Calcular a linha central e os limites de controle (que podem ser diferentes dos especificados acima*).
11. Observação do estado (estabilidade) do processo mediante interpretação dos gráficos.
12. Determinação da capacidade do processo após ser atingido o estado de controle.
13. Acompanhamento contínuo.
14. Gestão do processo e ajustes de processo quando necessário.

*Se os limites calculados estão dentro dos limites especificados, o processo está sob controle, porém, se um ou mais dos limites estão fora dos limites especificados no projeto, precisamos ajustar o processo, buscando trazer os limites calculados para dentro do controle.

GRÁFICO 9 – LIMITES CALCULADOS *VERSUS* LIMITES DE PROJETOS

FONTE: O autor



Prezado acadêmico, na próxima unidade você estudará sobre os fatores que afetam e orientam os profissionais indicando que um gráfico de controle está dentro da normalidade ou não. Nesta unidade, você está aprendendo a calcular e montar os gráficos e, junto com a análise que irá aprender, poderá identificar os diversos fatores que influenciam no processo, e isso permitirá agir para corrigir os rumos do mesmo.

Como você pode ver no gráfico, pode ocorrer que os LSC e os LIC calculados fiquem além dos limites estabelecidos pelos limites de projeto, indicando que o processo em análise não está conforme, necessitando então ajustá-lo, trazendo para os limites de projeto, ou, em última instância, deverão ser revistos os limites definidos no projeto. À mesma conclusão se chega quando ocorre que somente um dos limites calculados estiver além dos limites de projeto/processo.

3 TIPIFICAÇÃO DAS CARTAS DE CONTROLE DE QUALIDADE

As cartas de controle apresentadas até agora, neste livro, são muito similares em sua forma, tendo as abscissas, as linhas LSC, LC, LIC, as medições, mas fica o questionamento: TODAS AS CARTAS DE CONTROLE SÃO IGUAIS? A resposta é não!

As cartas de controle são tipificadas conforme o tipo de medição realizada, logo, existem duas grandes famílias de CC, ou seja, as cartas de controle para medições por variáveis e as cartas de controle por medições por atributo. O que as define?

A verdade é que a sua definição de escolha é dada pela forma de aplicação da estatística em seus dados para a obtenção das cartas de controle de modo que possam ser úteis aos gestores para a tomada de decisão no processo.

Conforme Montgomery (2004), são sete os principais tipos de gráficos de controle mais utilizados no CEP, os quais estão apresentados na tabela a seguir.

TABELA 1 – TIPOS DE GRÁFICOS MAIS COMUNS UTILIZADOS NO CEP

DIMENSÃO	TIPO DE GRÁFICO
VARIÁVEL (CONTÍNUO)	Gráfico $\bar{X}$ (Valor Individual) Gráfico $\bar{X}$ -R (Média e Amplitude) (quando $3 \leq n \leq 9$) Gráfico $\bar{X}$ -s (Média e Desvio Padrão) (quando $n > 9$)
ATRIBUTO (DISCRETO)	Gráfico pn (número de itens defeituosos) Gráfico p (fração defeituosa) Gráfico c (número de defeitos) Gráfico u (número de defeitos por unidade)

Fonte: O autor

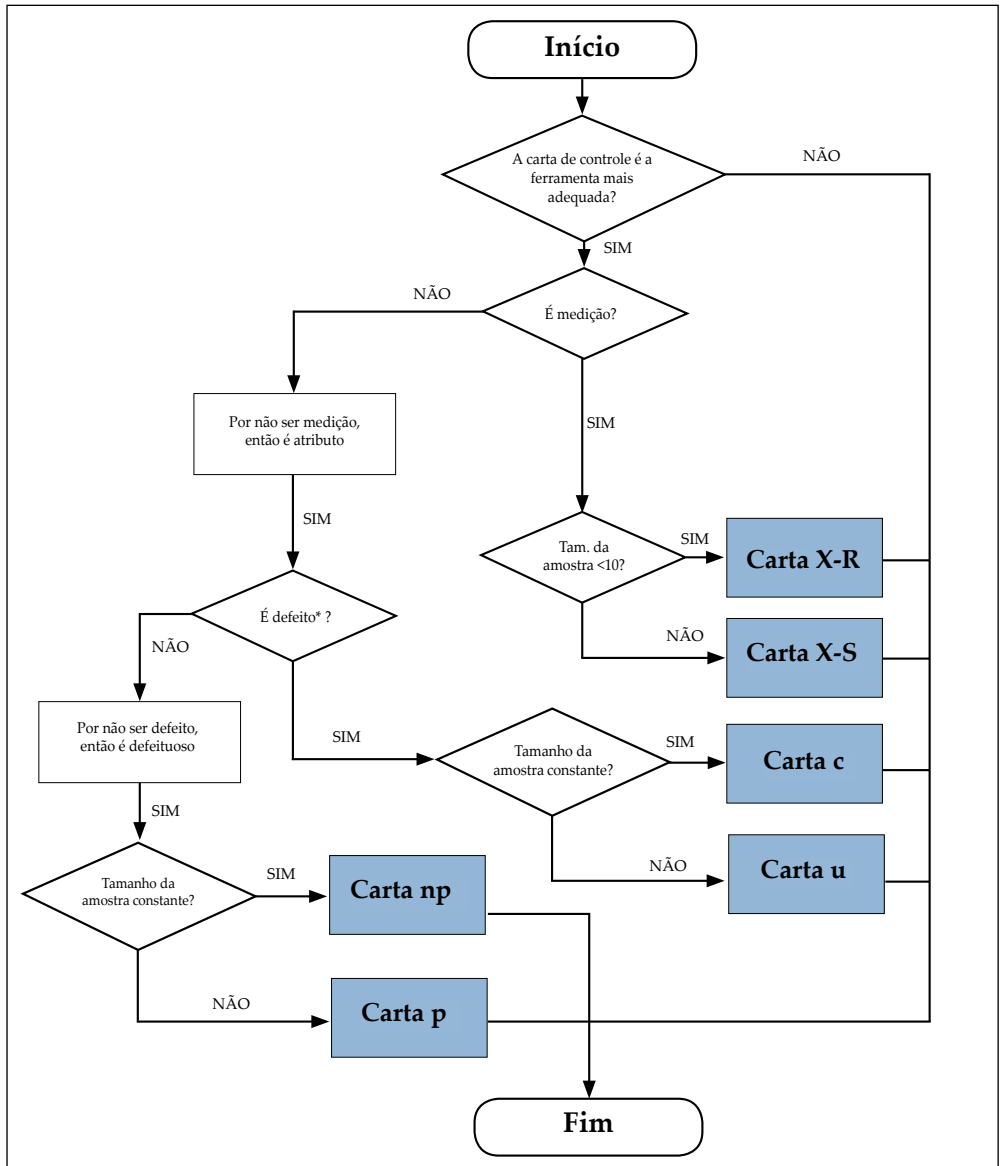


Prezado acadêmico, como você pode ver na tabela acima, apresentamos os sete principais tipos de gráficos de controle, ou também conhecidos como cartas de controle (CC), mas existem mais modelos destas cartas, como as CC de Gráficos de Valores Individuais com variação entre e dentro dos subgrupos; Cartas de Controle para Pequenos Lotes, que

são a Carta Nominal - DNOM e a Carta Padronizada $\bar{X}$ e R. Temos ainda as CC Gráficos de Controle Multivariados, que podem ser do tipo Gráficos de controle multivariados para observações individuais e os Gráficos de controle multivariados para observações com réplicas, Gráfico de Controle de Soma Acumulada (CUSUM) etc.

Bertulucci (2016) apresenta um fluxograma para auxiliar na identificação do tipo ideal de gráfico de controle a ser utilizado, conforme as características das medições disponíveis, que são apresentadas a seguir.

FIGURA 19 – FLUXOGRAMA DE AUXÍLIO PARA DEFINIÇÃO DO TIPO DE GRÁFICO DE CONTROLE A SER UTILIZADO



FONTE: Bertulucci (2016)

A interpretação deste fluxograma é bastante simples, ele simplesmente mostra os caminhos que temos que tomar para definir o gráfico de controle adequado para o processo que estamos analisando e que pretendemos controlar, mas antes vamos a um conceito apresentado no fluxograma que ainda não aprendemos: defeito e defeituoso. Bertulucci (2016) define esses conceitos como:

Defeito: É o subconjunto de defeituosos. São diversos os tipos de defeitos que um produto ou peça pode possuir, e são exemplos: peças riscadas, tolerância dimensional (exemplo medido pelo passa/não passa, cor, dureza etc.) que são medidos por atributos e não de forma contínua.

Defeituosos: Fica mais fácil entender o conceito com a seguinte frase: O produto “X” é defeituoso, ou seja, não é possível utilizá-lo, seja por um defeito existente, ou mais de um.

Logo, destes conceitos podemos identificar que de repente uma peça que tenha um defeito de risco superficial pode não ser uma peça defeituosa sem poder utilizá-la. Vamos a um exemplo:

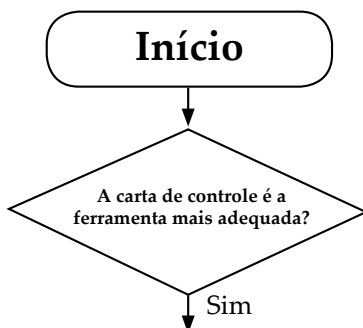
Uma linha de produção de pintura de peças tem como avaliação três pontos principais, ou seja:

- 1) Se a peça está riscada ou não.
- 2) Se a peça está brilhante ou fosca.
- 3) Se a camada de tinta tem a espessura mínima ou não.

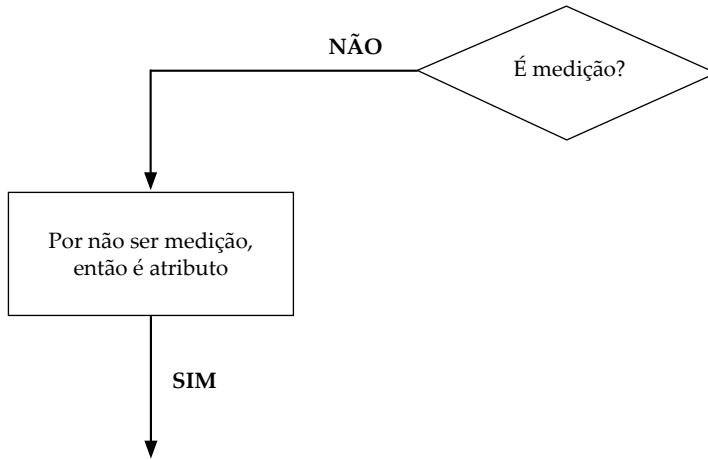
E em cada peça são feitos os controles visuais e a medição de camada, definindo em cada caso passa ou não passa, e se identificada uma falha, é contado o número de falhas. Se o processo está sob controle, o formulário de CEP é preenchido a cada 15 minutos pelo operador, e se identificada uma peça defeituosa nesta inspeção, são retiradas mais cinco amostras sequenciais da linha de produção para a averiguação, e se necessário, ajuste do processo. Qual o tipo de CC que deveríamos utilizar?

Vamos começar a análise:

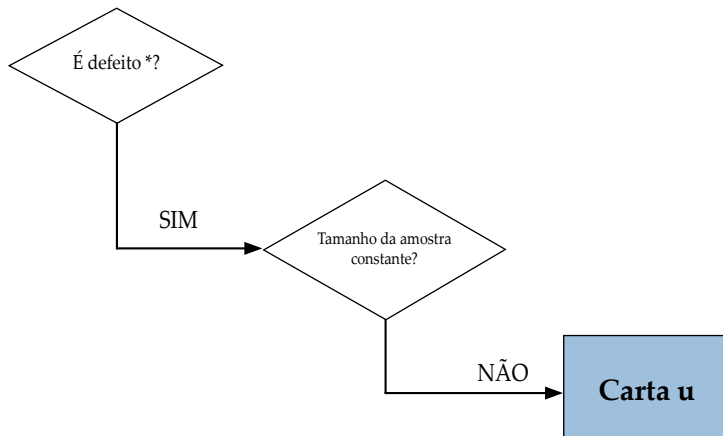
- 1) Vamos utilizar as CC, e é a mais indicada para este caso de análise.



- 2) É uma medição? Não, apesar de um dos elementos poder ser medido, será tratado como atributo, pois o que importa é se passa ou não passa (caso da camada de tinta na peça).



- 3) Analisar se é defeito; e neste nosso caso assim o é. É uma peça com defeito ou defeitos, mas ainda funciona.



- 4) Como não sabemos quantos defeitos tem na peça, podemos afirmar que a quantidade de defeitos na amostra analisada não é constante, logo, devemos utilizar uma carta u. Volte à tabela anterior se ficou alguma dúvida.

Assim definimos o tipo de CC que iremos utilizar. A prática e a experiência profissional farão com que você entenda e aplique facilmente este fluxograma de decisão para definição do tipo de CC a ser utilizado.



Prezado acadêmico, só existe um jeito de aprender, é fazendo exercícios, então vamos exercitar um pouco a aplicação do que você acabou de aprender! Para isso, faça o exercício sugerido:

A empresa Só Eixo vai implantar um processo de CEP em sua linha de produção seriada de usinagem de eixo. Inicialmente, para começar o processo, ficou definido que se iria trabalhar com o operador retirando cinco amostras de eixos produzidos de forma sequencial a cada 30 minutos. A dimensão a ser trabalhada é o diâmetro principal do eixo, cuja dimensão nominal é de 15 mm $\pm 0,15$ mm. Qual o tipo de CC indicado para se trabalhar neste caso?

BOM TRABALHO



Prezado acadêmico, você foi apresentado, neste tópico, aos principais tipos de Cartas de Controle, mas queremos lhe indicar uma leitura complementar do artigo: "Aplicação individual e combinada dos gráficos de controle Shewhart e CUSUM: uma aplicação no setor metal-mecânico". Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/gp/v20n2/v20n2a03.pdf>>.

O presente artigo traz uma descrição do método de controle utilizando o método CUSUM - Somas Acumuladas, apresentando um exemplo prático em uma aplicação no setor metal-mecânico. BOA LEITURA!

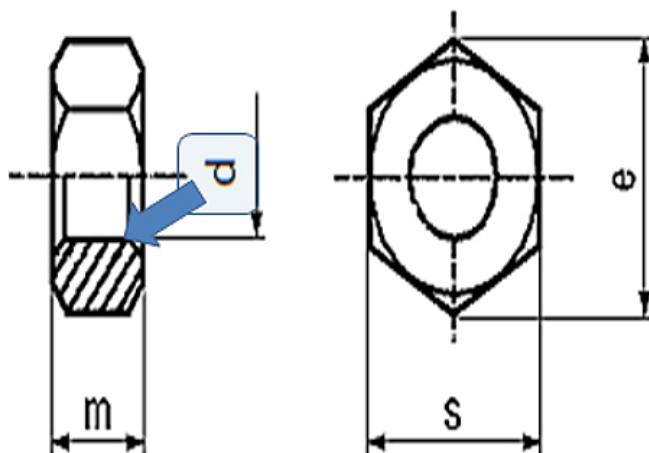
RESUMO DO TÓPICO 1

Neste tópico, você aprendeu que:

- A coleta de dados para o preenchimento das cartas de controle exige investimentos em tempo, recursos e, muitas vezes, mudança na filosofia da empresa.
- Não devemos utilizar um número excessivo de cartas de controle.
- Aplicar o CEP em pontos prioritários do processo, na visão de qualidade dos clientes.
- O CEP é uma estratégia de ação e não agir implica em desperdício de tempo e recursos.
- As cartas de controle (CC) têm, geralmente, um padrão de definição estatístico, o qual é definido por uma faixa de controle que denominamos de limites de controle, compreendendo uma linha superior denominada como limite superior de controle (LSC) e uma linha inferior chamada de limite inferior de controle (LIC), além de uma linha central referencial chamada de limite central (LC).
- Elementos básicos de uma carta de controle:
 - o Medida Variável: se a característica a ser controlada for expressa como um número em uma escala contínua de medida. São exemplos de características da qualidade mensuráveis: peso, dimensão, volume, pH, dureza etc. São denominadas variáveis, devido à sua escala contínua de medida.
 - o Medida por Atributo: Muitos processos não possuem características que possam ser medidas em uma escala contínua, muitas vezes, nem em escala quantitativa. Temos que contar o número de defeitos existentes no produto/processo, ou ainda, se o processo é conforme ou não conforme, logo, podemos entender como características que são comparadas com um padrão/especificação, assumindo assim apenas valores discretos.
- São exemplos de medições por atributo: existência de manchas na peça; continuidade de uma costura; número de atendimentos por hora; número de reclamações por hora; número de ligações do telemarketing por hora; número de acidentes por hora etc.
- Tipos de gráficos mais comuns utilizados no CEP:
 - o Defeito, são os diversos tipos de defeitos que um produto ou peça pode possuir. São medidos por atributos e não de forma contínua.
 - o Defeituosos: um produto é defeituoso quando não é possível utilizá-lo por motivo do defeito existente, ou mais de um.



- 1 O engenheiro da empresa PRODUÇÃO LTDA., fabricante de parafusos e porcas para a indústria automotiva, tem uma máquina de rosqueamento de porcas cuja produção é de 80 peças por minuto. Ele está querendo implantar controle via CEP, e está definindo o tipo de CC que irá utilizar. Inicialmente, está prevista a retirada de amostras a cada 15 minutos, num total de 20 peças sequenciais, e a dimensão a ser medida é um diâmetro interno de uma porca antes do rosqueamento. Analise utilizando o fluxograma da Figura 19.



- 2 Considerando a empresa do exercício anterior, o setor de vendas reclamou à engenharia de qualidade que os seus clientes estavam insatisfeitos com os aspectos externos das porcas, ou seja, elas vinham sendo entregues muito arranhadas e amassadas. Considerando esta informação, que tipo de medição teríamos que utilizar para trabalharmos uma carta de controle com estas peças, por quê?

GRÁFICOS DE CONTROLE POR VARIÁVEIS

1 INTRODUÇÃO

Prezado acadêmico, neste novo tópico você aprenderá a elaborar as cartas de controle por variáveis, iremos aprender a realizar todos os cálculos para se chegar à definição correta de todos os parâmetros de controle.

Uma medição (por exemplo = 16,54) contém muito mais informação do que a simples classificação da peça como “dentro ou fora de especificação”. Obter um valor medido é mais caro do que simplesmente classificar uma peça como boa/ruim. Contudo, as medições fornecem mais informações e, portanto, exigem uma amostra menor. Assim, o custo total de amostragem pode ser menor (RIBEIRO; CATEN, 2012, p. 30).

Ressaltamos a importância de, a partir deste tópico, o acadêmico realizar os cálculos que são apresentados para o bom aprendizado, assim como é conveniente, em algumas situações, revisar a base da estatística e da probabilidade.

As cartas de controle (CC), ou gráficos de controle, que trabalham com variável, devido à sua maior precisão de dados, e as medições contínuas (as dimensões provêm de medições que podem variar de forma contínua) necessitam manter o controle, geralmente em relação a duas situações, a primeira sobre a média das medições. Comumente trabalhamos com o controle da média do processo e então utilizamos uma carta de controle para médias ($\bar{x}$), mas podemos ainda utilizar uma carta de controle para valores individuais (I ou X), quando não houver medidas replicadas dentro dos subgrupos. A segunda é em relação à variabilidade do processo, e as cartas geradas devem ser trabalhadas/analizadas em conjunto. A variabilidade do processo pode ser controlada através da carta de controle para amplitudes (R), ou pela carta de controle para desvios padrão (s). Quando não tivermos medidas replicadas dentro dos subgrupos, poderemos desenvolver e trabalhar com carta de controle para amplitudes móveis (AM ou MR).

Uma das hipóteses fundamentais para que se possa trabalhar o desenvolvimento das cartas de controle por variáveis é que a distribuição das medidas a serem controladas possua sua forma normal, e para isto é conveniente testar a normalidade dos resultados tanto para os dados de medidas individuais quanto de suas médias, podendo ser aplicadas várias técnicas que estudaremos na sequência.



– Seguem mais alguns conceitos importantes advindos da estatística:

Replicata: valor obtido executando-se o procedimento completo de um método de ensaio, onde cada replicata é, preferencialmente, um resultado de ensaio independente (pode ser a medição da peça).

Subgrupo: conjunto de replicatas utilizado para analisar o desempenho de um processo. Por exemplo: dez conjuntos de resultados (dados/medições) contendo (cinco) replicatas (é a medição em si) implica que a quantidade de subgrupos (m) é 10 e que o tamanho da replicata (n) é 5. (OLIVEIRA et al. 2013, p. 8)

Vamos trabalhar neste tópico os gráficos:

- Gráfico I - MR (Valor Individual e Amplitude Móvel);
- Gráfico $\bar{X}$ -R (Média e Amplitude) e;
- Gráfico $\bar{X}$ -s (Média e desvio padrão).

2 CARTAS DE MÉDIAS E AMPLITUDE ($\bar{X}$ - R)

Vamos agora entender os pontos que sustentam o desenvolvimento das CC de médias e amplitude, para isto precisamos buscar alguns elementos da estatística.

Considerando que uma característica que pretendemos controlar possua uma distribuição normal e a sua média é μ e o seu desvio padrão σ e seja finito, sendo ambos conhecidos, logo, se tirarmos amostras de tamanho n dessa população, teremos que:

A distribuição das médias amostrais será normal e a sua média será dada por: $\mu_{\bar{X}} = \mu(1)$

E o seu desvio padrão por: $\sigma_{\bar{X}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}(2)$

Assim, o intervalo com $\left(1 - \frac{\alpha}{2}\right)\%$ de confiança para a média amostral é dado por: $\mu \pm z_{\frac{\alpha}{2}} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}(3)$

Temos da estatística, em relação à curva normal, que $Z_{\frac{\alpha}{2}}$ corresponde ao valor da distribuição normal padrão com determinado nível de significância α e para $\alpha = 0,3\%$ temos o limite de 3σ .

Estamos assumindo que a distribuição da característica analisada é normal, porém, de acordo com o Teorema do Limite Central, conforme Oliveira et al. (2013, p. 24), “a distribuição das médias amostrais é aproximadamente normal com média $\mu_{\bar{X}} = \mu$ e desvio padrão $\sigma_{\bar{X}} = \frac{\rho}{\sqrt{n}}$, independentemente da distribuição da característica ser normal, até mesmo quando são tomadas amostras de tamanho pequeno ($n=4$ ou $n=5$)”.

Em geral, quando estamos trabalhando nos processos, μ e σ não são conhecidos por nós, e, conseqüentemente, precisamos estimá-los a partir de amostras ou subgrupos de medições obtidos preliminarmente, assim como realizamos medições no processo quando ele supostamente estava sob controle.



Prezado acadêmico, ante a situação apresentada: “precisamos estimá-los, μ e σ , a partir de amostras ou subgrupos de medições obtidos preliminarmente, assim como realizamos medições no processo quando ele supostamente estava sob controle”, isso pode ser obtido, geralmente, quando estamos iniciando os processos e temos aí uma situação mais controlada para a obtenção dos dados iniciais para o cálculo de μ e σ . Se o processo não está controlado, irão aparecer dados medidos fora dos parâmetros estipulados ao processo. Da estatística temos que as estimativas iniciais devem se basear em, pelo menos, 20 ou 25 amostras.

Vamos a um exemplo:

Considerando a linha de produção de um eixo, a mesma tem um diâmetro crítico, que deverá possuir a dimensão de $38 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$. Os engenheiros estão querendo implantar uma carta de controle de $\bar{X}$ -R e retiraram (mediram) 80 amostras, separadas em 20 subgrupos com quatro replicatas cada, as quais estão apresentadas na tabela a seguir.

TABELA 2 – DADOS DE MEDIÇÃO DO DIÂMETRO DO EIXO

Subgrupo	AMOSTRA				MÉDIA DA AMOSTRA	AMPLITUDE
	1	2	3	4		
1	38,0	38,4	37,3	38,1	38,0	1,1
2	37,8	38,4	37,4	37,8	37,9	1,0
3	38,0	37,9	38,4	37,8	38,0	0,6
4	38,0	38,2	38,2	37,6	38,0	0,6
5	37,2	38,0	37,5	38,1	37,7	0,9
6	38,3	37,9	37,8	38,2	38,1	0,5
7	38,2	38,4	38,0	38,2	38,2	0,4
8	37,5	37,8	37,7	37,4	37,6	0,4
9	37,7	38,2	37,6	37,9	37,9	0,6
10	37,8	37,4	37,3	38,0	37,6	0,7
11	37,7	37,7	37,7	37,8	37,7	0,1
12	37,3	37,4	38,0	38,2	37,7	0,9
13	38,3	38,0	38,5	37,2	38,0	1,3
14	37,0	37,5	37,6	38,0	37,5	1,0
15	37,5	37,6	37,3	38,4	37,7	1,1
16	37,5	38,3	38,2	38,5	38,1	1,0
17	38,3	38,9	37,8	37,4	38,1	1,5
18	37,9	37,5	37,5	37,3	37,6	0,6
19	37,5	37,2	38,0	38,3	37,8	1,1
20	37,1	37,8	38,0	37,8	37,7	0,9

FONTE: O autor

Analisando a tabela e considerando a observação apresentada, em que precisamos ter uma amostra mínima de 20 a 25 elementos e as medições/dados precisam estar dentro dos limites estipulados, temos a tolerância especificada pela engenharia de 38 mm $\pm 0,5$ mm, logo, concluímos que o processo não está sob controle, portanto não poderemos considerar estes dados para dimensionar a carta de controle, pois temos diversas medições que extrapolaram o limite, observe a tabela a seguir.

TABELA 3 – IDENTIFICAÇÃO DOS DADOS DE MEDIÇÃO DO DIÂMETRO DO EIXO FORA DA TOLERÂNCIA ESPECIFICADA

Subgrupo	AMOSTRA				MÉDIA DA AMOSTRA	AMPLITUDE
	1	2	3	4		
1	38,0	38,4	37,3	38,1	38,0	1,1
2	37,8	38,4	37,4	37,8	37,9	1,0
3	38,0	37,9	38,4	37,8	38,0	0,6
4	38,0	38,2	38,2	37,6	38,0	0,6
5	37,2	38,0	37,5	38,1	37,7	0,9
6	38,3	37,9	37,8	38,2	38,1	0,5
7	38,2	38,4	38,0	38,2	38,2	0,4
8	37,5	37,8	37,7	37,4	37,6	0,4
9	37,7	38,2	37,6	37,9	37,9	0,6
10	37,8	37,4	37,3	38,0	37,6	0,7
11	37,7	37,7	37,7	37,8	37,7	0,1
12	37,3	37,4	38,0	38,2	37,7	0,9
13	38,3	38,0	38,5	37,2	38,0	1,3
14	37,0	37,5	37,6	38,0	37,5	1,0
15	37,5	37,6	37,3	38,4	37,7	1,1
16	37,5	38,3	38,2	38,5	38,1	1,0
17	38,3	38,9	37,8	37,4	38,1	1,5
18	37,9	37,5	37,5	37,3	37,6	0,6
19	37,5	37,2	38,0	38,3	37,8	1,1
20	37,1	37,8	38,0	37,8	37,7	0,9

FORA DE CONTROLE

FONTE: O autor

Poderíamos, na condição apresentada, retirar as amostras que extrapolaram os limites de tolerância e fazer os cálculos só com os dados que sobraram, mas no exemplo acima há muitos dados que fugiram do padrão (tolerância especificada), logo, o ideal será a engenharia e os responsáveis da produção ajustarem novamente

o equipamento e retirar novas amostras para desenvolver os trabalhos com dados mais confiáveis. Esse procedimento foi realizado em nosso exemplo e as novas medições estão apresentadas na tabela a seguir.

TABELA 4 – NOVOS DADOS DE MEDIÇÃO DO DIÂMETRO DO EIXO

Subgrupo	AMOSTRA				MÉDIA DA AMOSTRA	AMPLITUDE
	1	2	3	4		
1	37,5	38,5	37,9	38,1	38,0	1,0
2	38,3	38,2	37,9	37,7	38,0	0,6
3	38,2	37,5	38,0	38,3	38,0	0,8
4	38,0	38,0	38,1	38,1	38,1	0,1
5	38,0	37,7	38,2	37,9	38,0	0,5
6	37,9	37,5	37,8	38,5	37,9	1,0
7	37,5	37,6	37,7	37,5	37,6	0,2
8	38,3	38,5	37,7	38,3	38,2	0,8
9	38,0	38,2	37,8	37,8	38,0	0,4
10	37,7	38,4	38,2	37,6	38,0	0,8
11	38,4	38,0	38,5	38,3	38,3	0,5
12	38,5	38,5	37,6	38,4	38,3	0,9
13	37,7	37,8	38,3	37,9	37,9	0,6
14	38,3	38,0	38,0	38,2	38,1	0,3
15	38,1	38,0	37,6	38,4	38,0	0,8
16	37,8	38,4	38,3	37,9	38,1	0,6
17	37,9	38,2	38,3	38,0	38,1	0,4
18	37,6	38,5	37,7	38,0	38,0	0,9
19	38,0	37,7	38,3	38,4	38,1	0,7
20	37,8	37,7	38,3	38,4	38,1	0,7

FONTE: O autor

Analisando os novos dados, agora verificamos que os pré-requisitos para dimensionamento da carta de controle são atendidos, ou seja, uma amostra mínima de 20 a 25 elementos e as medições/dados precisam estar dentro dos limites estipulados.

Assim, podemos partir para o dimensionamento dos limites de controle, que aprenderemos a seguir. Algumas considerações relacionadas à estatística são dadas por Oliveira et al. (2013, p. 24):

- As distribuições das amplitudes e dos desvios padrão não são normais, embora tenham sido consideradas aproximadamente normais na estimação das constantes para o cálculo dos limites de controle.
- Outra pressuposição para o uso de cartas de controle $\bar{X}$ e R (média e amplitude) ou $\bar{X}$ e s (média e desvio padrão) é que a variabilidade das medidas permaneça constante e aceitável. Esta suposição é verificada por meio da carta de controle de amplitude (carta R) ou de desvio padrão (carta s). Por isso, os gráficos $\bar{X}$ devem ser implementados simultaneamente com R ou s .
- As cartas $\bar{X}$ e R são utilizadas em subgrupos que possuem número de replicatas entre 2 e 9. Na prática, este número situa-se entre 4 e 6 geralmente.
- À medida que o tamanho do subgrupo aumenta, a sensibilidade da amplitude como estimador do desvio padrão do processo diminui. Assim, a carta $\bar{X}$ e s é mais adequada do que a carta $\bar{X}$ e R quando o número de replicatas é maior ou igual a 10. Se a carta de controle de amplitudes for usada quando $n=10$ replicatas, toda informação da amostra compreendida entre os dois valores extremos será ignorada.

Veremos os cálculos dos limites de controle para os gráficos de $\bar{X} - R$.

2.1 CÁLCULOS DOS LIMITES DE CONTROLE PARA OS GRÁFICOS DE $\bar{X} - R$

Existem duas situações que podem ser trabalhadas para elaboração dos gráficos de controle de $\bar{X} - R$, quando valores de referência não são conhecidos, e quando eles são conhecidos. Vamos ao primeiro modelo.

2.1.1 Quando valores de referência não são conhecidos

Vamos supor que há m subgrupos de medições e cada uma com n replicatas da característica que está sendo controlada. Sejam $\bar{X}_1, \bar{X}_2, \bar{X}_3, \dots, \bar{X}_m$ os valores das médias calculadas das replicatas de cada subgrupo, assim se calcula um estimador de μ , conhecido como $\bar{\bar{X}}$ ou como a média do processo, e é dado pela equação:

$$\mu \cong \bar{\bar{X}} = \frac{\bar{X}_1 + \bar{X}_2 + \bar{X}_3 + \dots + \bar{X}_m}{m} \quad (4)$$
 $\bar{\bar{X}}$ é igual a LC, ou seja, a linha de controle do nosso gráfico de controle da média.

$$\bar{\bar{X}} = LC \quad (5)$$

Para se obter a estimativa do desvio padrão, podemos calcular as amplitudes dos m subgrupos, com as n replicatas, que é dado pela equação:

$$R = X_{MAX} - X_{MIN} \quad (6)$$

E o melhor estimador de R pode ser dado por: $\bar{R} = \frac{R1 + R2 + R3 + \dots + Rm}{m}$ (7)

$\bar{R}$ é igual a LC , ou seja, a linha de controle do nosso gráfico de controle do R .

$$\bar{R} = LC \quad (8)$$

Para descobrirmos os LSC e LIC , precisamos mais alguns valores que advêm do estimador de σ que é $\frac{\bar{R}}{d_2}$, em que d_2 se obtém da tabela apresentada no Anexo 1, a qual está disponível na ISO 8258, e está relacionada ao número de replicatas utilizadas na coleta de dados.



Prezado acadêmico, como são valores estatísticos tabelados, e que iremos usar constantemente na vigência deste livro, procure ter uma cópia desse anexo, bem como verifique com seu professor/tutor externo a possibilidade de uso desta tabela nas avaliações. Mas para que isto seja possível, não escreva nesta cópia, nem rasure.

Considerando a equação 3 que já apresentamos, e considerando $\frac{z_{\alpha}}{2} = 3$, conseguimos definir os limites de controle do gráfico $\bar{X}$ com a equação:

$$LC = \mu = (\bar{\bar{X}}) \quad (9)$$

$$LSC = \mu + 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \bar{\bar{X}} + 3 \frac{\bar{R}}{d_2 \sqrt{n}} \quad (10)$$

$$LIC = \mu - 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \bar{\bar{X}} - 3 \frac{\bar{R}}{d_2 \sqrt{n}} \quad (11)$$

Buscando facilitar o cálculo, encontramos o valor $\frac{3}{d_2\sqrt{n}}$, que é apresentado no Anexo 1; e é conhecido como A2, gerando as seguintes fórmulas para os limites de controle.

$$LSC = \bar{\bar{X}} + A_2\bar{R} \quad (12)$$

$$LIC = \bar{\bar{X}} - A_2\bar{R} \quad (13)$$

Assim, nós temos todos os dados para a montagem da carta de controle de $\bar{X}$, porém ainda falta estimarmos a carta de controle de R.

Inicialmente, a primeira consideração a ser feita é que $\bar{R}$ será utilizado como estimativa da amplitude média, e o desvio padrão de R é dado por $d_3\frac{\bar{R}}{d_2}$, sendo d_3 e d_2 valores tabelados. Logo, os limites de controle para R são especificados pelas equações:

$$LC = \bar{R} \quad (14)$$

$$LSC = \bar{R} + 3d_3\frac{\bar{R}}{d_2} \quad (15)$$

$$LIC = \bar{R} - 3d_3\frac{\bar{R}}{d_2} \quad (16)$$

Se fatorarmos as equações 15 e 16, temos:

$$D_4 = 1 + 3\frac{d_3}{d_2} \quad (17)$$

$$D_3 = 1 - 3\frac{d_3}{d_2} \quad (18)$$

Sendo que D_3 e D_4 são valores tabelados e dependem do número de replicatas (n) apresentados no Anexo 1.

Podemos assim simplificar os limites de controle de R transformando-os nas seguintes equações:

$$LSC = D_4\bar{R} \quad (19)$$

$LIC = D_3 \bar{R}(20)$

E, assim, podemos calcular os limites de controle e montar a nossa CC.

Vamos exemplificar, considerando ainda a linha de produção do eixo, e a dimensão do diâmetro crítico, que deverá possuir a dimensão de 38 mm ±0,5 mm, mas neste exemplo vamos considerar que já é uma linha de produção existente e precisamos implantar a CC de $\bar{X} - R$. Os engenheiros mediram a peça e tiraram 80 amostras em 20 subgrupos com cinco replicatas em cada, e os dados levantados estão apresentados na tabela a seguir.

TABELA 5 – DADOS DE MEDIÇÃO DO DIÂMETRO DO EIXO EM PROCESSO EXISTENTE

Num. De Subgrupos (m)	Replicatas (n)					Média $\bar{X}$	Amplitude R
	1	2	3	4	5		
1	37,6	38,5	38,4	37,9	38,3	38,1	0,9
2	38,1	38,4	38,3	38,2	38,3	38,3	0,3
3	37,9	38,5	37,6	38,4	38,3	38,1	0,9
4	38,1	38,4	38,0	37,5	37,5	37,9	0,9
5	37,7	38,3	37,6	38,5	37,8	38,0	0,9
6	38,0	38,5	38,2	37,8	38,4	38,2	0,7
7	38,0	38,3	37,5	37,9	38,4	38,0	0,9
8	38,5	38,2	38,4	37,7	38,1	38,2	0,8
9	38,5	38,2	38,2	38,1	38,3	38,3	0,4
10	38,3	37,9	37,6	38,2	37,8	38,0	0,7
11	38,1	37,7	37,6	38,2	38,1	37,9	0,6
12	38,3	37,5	37,7	37,7	37,7	37,8	0,8
13	38,1	38,3	37,5	37,8	38,2	38,0	0,8
14	38,0	37,6	37,6	38,3	38,5	38,0	0,9
15	38,0	38,0	37,8	38,0	37,7	37,9	0,3
16	38,5	38,0	37,6	37,7	38,2	38,0	0,9
17	38,3	37,6	38,4	38,5	37,5	38,1	1,0
18	37,5	37,5	38,1	38,2	38,3	37,9	0,8
19	37,5	38,2	37,9	38,0	37,5	37,8	0,7
20	37,8	38,0	37,5	38,3	38,1	37,9	0,8

FONTE: O autor

Vamos à solução do exemplo: Na tabela acima apresentamos os 20 subgrupos (m=20), com as cinco replicatas (medições / n=5). Estes levantamentos estão apresentados nas primeiras seis colunas da tabela.



A quantidade de replicatas (ou amostras por subgrupo) é definida pelo engenheiro ou técnico, geralmente compreendendo entre três a 10, dependendo do tempo ou do custo de obtenção das amostras.

Já anexamos na tabela o cálculo das médias de cada subgrupo ($\bar{X}$ /coluna 7) e a sua amplitude (R / coluna 8). Apresentamos a seguir uma amostra dos cálculos de $\bar{X}$ e R do subgrupo 1 (primeira linha de dados do exercício).

$$\bar{X} = \frac{\sum_{n=1}^{n=5} X_n}{n} = \frac{37,6 + 38,5 + 38,4 + 37,9 + 38,3}{5} = 38,1$$

$$R = X_{MAX} - X_{MIN} = 38,5 - 37,6 = 0,9$$

Na tabela a seguir apresentamos a localização da amplitude R, como calculado acima, sendo que o mesmo deve ser feito para todos os subgrupos.

TABELA 6 – AMPLITUDE R

Num. De Subgrupos (m)	Replicatas (n)					Média $\bar{X}$	Amplitude R
	1	2	3	4	5		
1	37,6	38,5	38,4	37,9	38,3	38,1	0,9

FONTE: O autor

Agora, utilizando-se as fórmulas:

- Carta de controle de $\bar{X}$

$$LC = \mu = \bar{\bar{X}} \text{ (9)}$$

$$LSC = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R} \text{ (12)}$$

$$LIC = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R} \text{ (13)}$$

- Carta de controle de R

$$LC = \bar{R} \quad (14)$$

$$LSC = D_4 \bar{R} \quad (19)$$

$$LIC = D_3 \bar{R} \quad (20)$$

$$\mu \cong \bar{\bar{X}} = \frac{\bar{X}_1 + \bar{X}_2 + \bar{X}_3 + \dots + \bar{X}_m}{m} \quad (4)$$

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_m}{m} \quad (7)$$

$$LC = \bar{R} \quad (14)$$

Logo, da tabela acima temos:

$$\bar{\bar{X}} = \frac{38,1 + 38,3 + \dots + 37,9}{20} = 38,0180$$

$$\bar{R} = \frac{0,9 + 0,3 + \dots + 0,8}{20} = 0,7500$$

Agora, vamos definir os limites de controle:

- Carta de controle de $\bar{X}$

$$LC = \mu = (\bar{\bar{X}}) = 38,0180$$

Da tabela de fatores estatísticos disponibilizados no Anexo 1 temos uma parte representada a seguir, que especifica como localizar a variável A_2 .

TABELA 7 – EXEMPLO DE DEFINIÇÃO VALOR VARIÁVEL A_2

n	Fatores para limites de Controle							
	A	A ₂	A ₃	B ₃	B ₄	B ₅	B ₆	D ₁
2	2,121	1,880	2,659	0,000	3,267	0,000	2,606	0,000
3	1,732	1,423	1,954	0,000	2,568	0,000	2,276	0,000
4	1,500	0,999	1,628	0,000	2,266	0,000	2,088	0,000
5	1,342	0,577	1,427	0,000	2,089	0,000	1,964	0,000

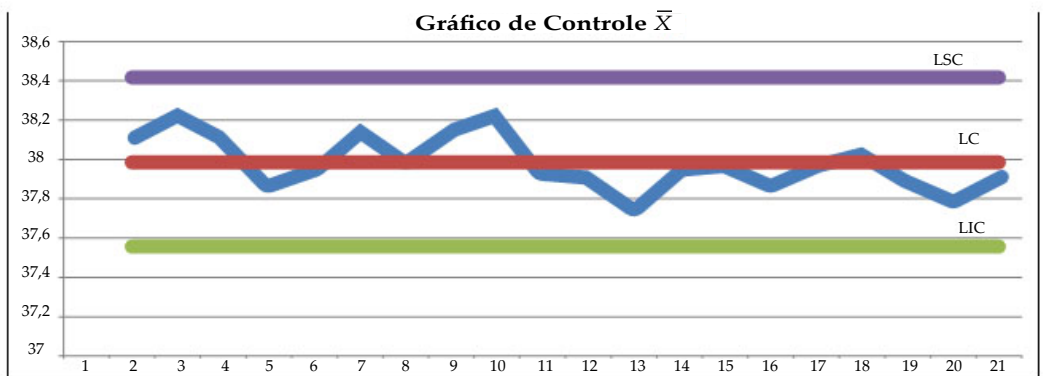
FONTE: O autor

Para $n=5$, $A_2=0,577$

$$LSC = 38,018 + 0,577 \times 0,75 = 38,45$$

$$LIC = 38,018 - 0,577 \times 0,75 = 37,59$$

E a carta de controle para $\bar{X}$, neste caso está representada no gráfico a seguir:

GRÁFICO 10 – CARTA DE CONTROLE PARA $\bar{X}$ 

FONTE: O autor

- Carta de controle de R

$$LC = \bar{R} = 0,7500$$

Da tabela de fatores estatísticos disponibilizados no Anexo 1 temos uma parte representada a seguir, que especifica como localizar as variáveis.

TABELA 8 – EXEMPLO DEFINIÇÃO VALOR DAS VARIÁVEIS

n	Fatores para limites de Controle										
	A	A ₂	A ₃	B ₃	B ₄	B ₅	B ₆	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄
2	2,121	1,30	2,659	0,000	3,267	0,000	2,606	0,000	3,686	0,000	3,157
3	1,732	1,23	1,954	0,000	2,568	0,000	2,276	0,000	4,358	0,000	2,74
4	1,500	0,99	1,628	0,000	2,266	0,000	2,088	0,000	4,698	0,000	2,82
5	1,342	0,577	1,427	0,000	2,089	0,000	1,964	0,000	4,918	0,000	2,114

FONTE: O autor

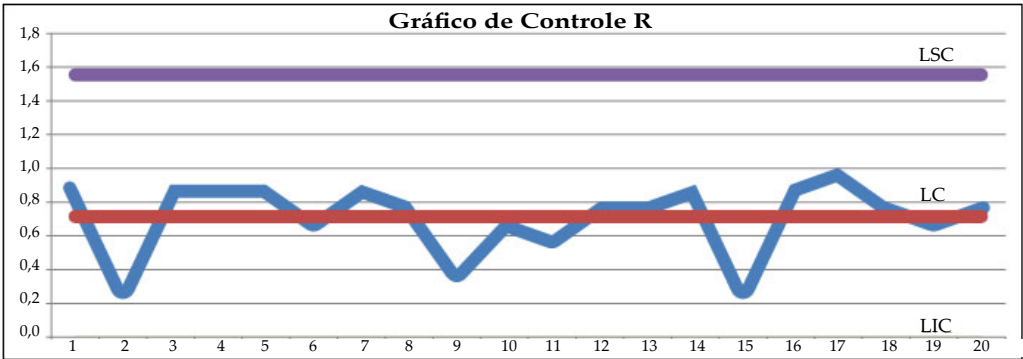
Para n= 5, D₃ = 0,000 e D₄ = 2,114

$LSC = 2,114 \times 0,75 = 1,59$

$LIC = 0,000 \times 0,75 = 0,00$

E a carta de controle para R, neste caso está apresentada no gráfico a seguir:

GRÁFICO 11 – CARTA DE CONTROLE PARA R



FONTE: O autor



Caro acadêmico, acabamos de calcular a nossa primeira Carta de Controle de $\bar{X} - R$ com valores de referência não conhecidos, além de desenharmos os mesmos. Independentemente da metodologia de estudo mais adequada para você aprender, recomendamos que volte ao início do exercício e, com uma folha de papel, refaça passo a passo, realizando os cálculos apresentados e anotando as dúvidas, para esclarecer com seu professor ou tutor da instituição pelo 0800.

E importante, apesar de termos tido muita teoria neste livro, para entendermos a matéria, afinal são os dimensionamentos das CC que são o ponto central da disciplina e do CEP.

Depois de termos executado o dimensionamento apresentado, agora é só colocarmos as CC em uso na empresa, não esquecendo de desenvolver um formulário específico e treinar os funcionários em seu uso.

Vamos imaginar que a empresa colocou a CC em uso, e o operador continuou medindo e tirou em seu turno de trabalho mais oito replicatas com os seguintes dados, apresentados na tabela a seguir:

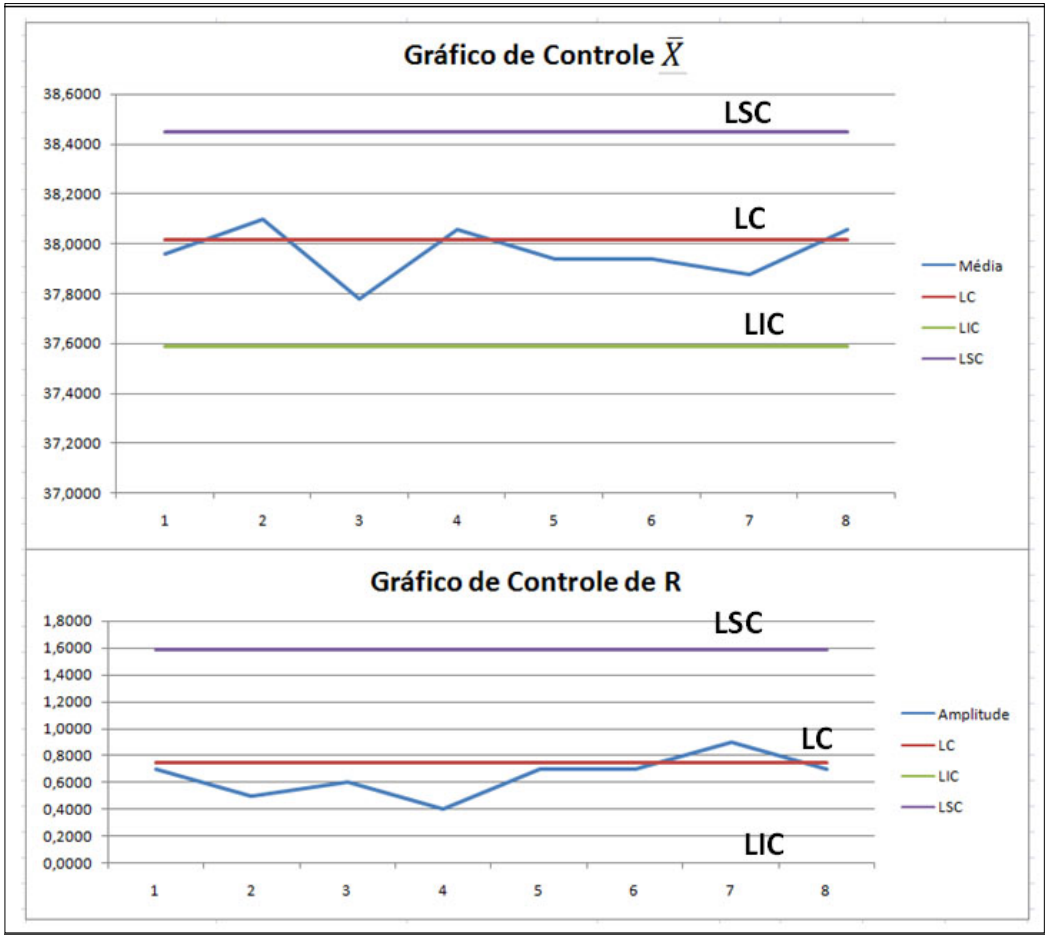
TABELA 9 – DADOS LEVANTADOS PARA ANÁLISE

Num. De Subgrupos (m)	Replicatas (n)					Média	Amplitude
	1	2	3	4	5		
1	37,8	38,3	37,6	38,2	37,9	37,9600	0,7000
2	38,0	38,1	37,9	38,4	38,1	38,1000	0,5000
3	37,8	38,0	37,5	37,5	38,1	37,7800	0,6000
4	38,0	38,0	37,9	38,3	38,1	38,0600	0,4000
5	37,8	38,0	37,5	38,2	38,2	37,9400	0,7000
6	38,2	37,9	38,1	38,0	37,5	37,9400	0,7000
7	37,6	37,5	37,6	38,3	38,4	37,8800	0,9000
8	37,8	38,0	38,5	37,8	38,2	38,0600	0,7000

FONTE: O autor

Você viu que o padrão é similar ao apresentado no início do exercício, é necessário calcular as médias, a amplitude, mas agora não precisamos mais calcular os limites de controle, pois eles já foram dimensionados, é só aplicar a média e a amplitude no gráfico, conforme apresentado a seguir.

GRÁFICO 12 – $\bar{X}$ e R



FONTE: O autor



Caro acadêmico, a análise das médias e amplitude é importante, e conforme Ribeiro e Caten (2012, p. 42), o “gráfico de médias monitora a variabilidade entre as médias amostrais ao longo do tempo e o gráfico de amplitude monitora a variabilidade dentro da amostra”, ou seja, a variabilidade em um determinado período de tempo.



Exercício proposto (1):

A empresa Só Plástico Ltda. trabalha fabricando filmes plásticos, e está implantando o CEP. A máquina extrusora 01 é uma das que estão em processo de análise, e os engenheiros levantaram os seguintes grupos de medições apresentados na tabela a seguir:

TABELA 10 – DADOS DO PROBLEMA

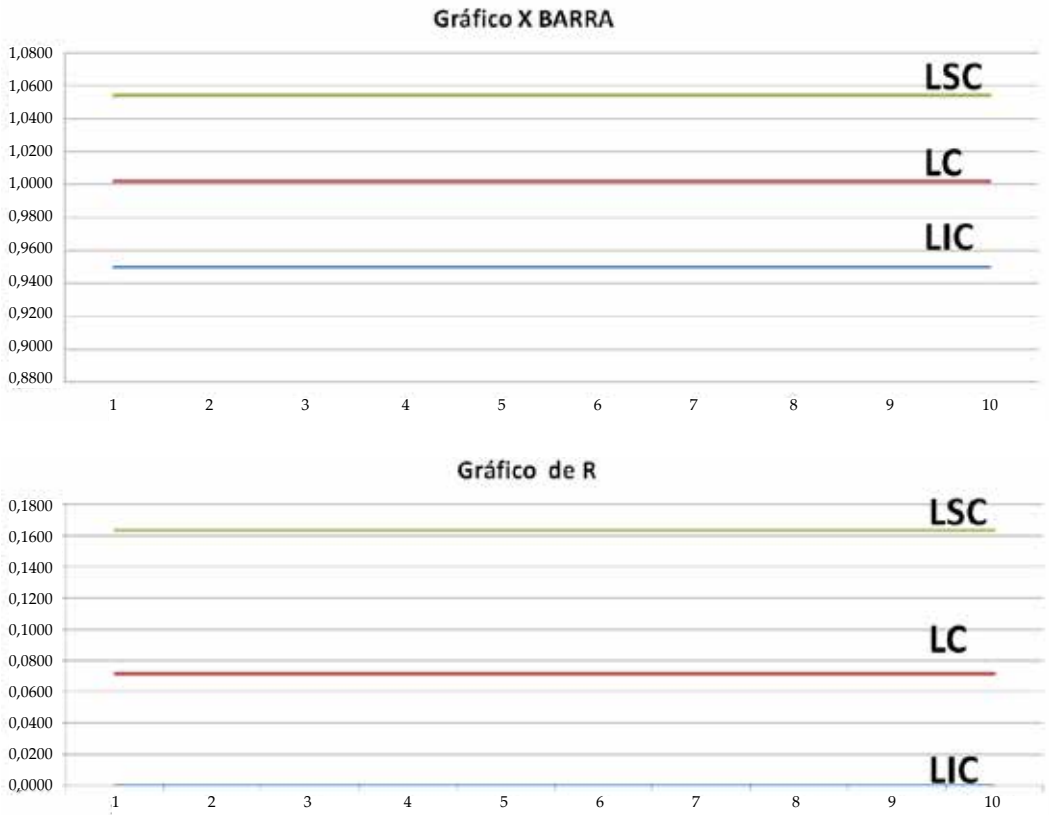
Num. De Subgrupos (m)	Replicatas (n)				Média	Amplitude
	1	2	3	4		
1	0,95	0,99	1,01	1,01	-	-
2	0,95	1,05	1,05	0,97	-	-
3	0,96	1,05	1,00	1,04	-	-
4	0,96	0,98	0,97	0,99	-	-
5	0,96	0,96	1,03	1,03	-	-
6	1,02	1,02	1,01	1,04	-	-
7	1,01	0,98	1,03	0,97	-	-
8	0,98	1,04	1,03	1,05	-	-
9	0,98	0,96	1,02	0,99	-	-
10	1,01	0,95	1,03	1,01	-	-
11	1,01	0,96	1,02	0,97	-	-
12	0,95	0,98	1,00	1,02	-	-
13	1,05	0,98	1,01	0,99	-	-
14	1,03	1,05	1,03	0,95	-	-
15	0,97	1,03	1,05	0,99	-	-
16	0,96	1,04	1,02	0,97	-	-
17	1,00	0,99	1,03	1,05	-	-
18	0,98	0,98	1,05	0,99	-	-

19	0,95	0,96	1,05	0,99	-	-
20	1,02	0,97	1,03	1,02	-	-
21	1,03	0,97	0,95	1,05	-	-
22	0,95	1,05	0,98	1,02	-	-
23	0,95	1,01	1,02	1,03	-	-
24	1,02	0,96	1,01	0,97	-	-
25	1,05	0,98	0,98	0,98	-	-
26	1,01	1,00	1,00	1,04	-	-
27	0,99	1,05	1,03	0,99	-	-
28	0,95	1,04	0,98	1,00	-	-
29	1,02	0,97	1,03	1,01	-	-
30	1,04	0,96	0,99	1,05	-	-

FONTE: O autor

Calcule as cartas de controle (CC) para $\bar{X} - R$, além de desenhar os gráficos e colocar os dados levantados da produção apresentados a seguir:

Num. De Subgrupos (m)	Replicatas (n)				Média	Amplitude
	1	2	3	4		
1	1,04	1,00	0,99	1,04	-	-
2	0,96	0,96	0,99	1,05	-	-
3	1,00	0,96	1,05	1,05	-	-
4	0,98	0,96	1,05	1,04	-	-
5	1,04	1,01	1,00	0,97	-	-
6	1,00	1,04	0,99	1,01	-	-
7	1,04	0,96	1,00	0,98	-	-
8	1,00	0,95	1,04	1,00	-	-
9	0,97	0,99	0,99	0,99	-	-
10	1,00	0,96	0,99	0,97	-	-

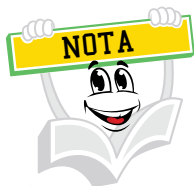


Viu como é fácil? E você já aprendeu a construir uma CC, vamos agora continuar o nosso aprendizado e ver outros procedimentos de elaboração dos gráficos de controle.

2.1.2 Quando valores de referência são conhecidos

Quando trabalhamos há muito tempo com determinado produto ou processo, podemos concluir que o conhecemos e temos dados consistentes para afirmar que conhecemos os valores padrões ou de referência para a média e para o desvio padrão da medição estudada.

Nestas condições, fica mais fácil de elaborar o gráfico de X-R, pois conhecemos a média μ e o desvio padrão σ do processo, não necessitando então estimá-los, como fizemos no processo anterior.



Caro acadêmico, na prática, tal situação ocorre quando conhecemos a população toda do experimento, como no exemplo da altura de todos os alunos de uma sala de aula, ou em uma linha de produção de uma determinada peça, que esteja sob controle e essa linha de produção seja de um produto que é produzido já por um longo período e temos informações consolidadas (medição do experimento), podendo afirmar-se que pelo volume de dados se conhece a média μ e o desvio padrão σ do processo.

Os gráficos de controle para estas condições são calculados pelas seguintes fórmulas:

Para a carta $\bar{X}$:

$$LC = \mu(21)$$

$$LSC = \mu + 3 \frac{\rho}{\sqrt{n}}(22)$$

$$LIC = \mu - 3 \frac{\rho}{\sqrt{n}}(23)$$

Considerando que $A = \frac{3}{\sqrt{n}}$ e está disponível na tabela apresentada no Anexo 1 e A é dependente de n, temos:

$$LSC = \mu + A\sigma(24)$$

$$LIC = \mu - A\sigma(25)$$

Para definição dos limites de controle da carta R:

$$LC = d_2\sigma(26)$$

$$LSC = d_2\sigma + 3d_3\sigma(27)$$

$$LIC = d_2\sigma - 3d_3\sigma(28)$$

Fatorando as equações 27 e 28, temos os seguintes valores tabelados no Anexo 1, e são dependentes do número de replicatas n :

$$D_2 = d_2 + 3d_3 \quad (29)$$

$$D_1 = d_2 - 3d_3 \quad (30)$$

Os valores d_4 , D_1 e D_2 são tabelados e se encontram no Anexo 1, sendo que também são dependentes do número de replicatas n , e assim temos:

$$LC = d_2 \sigma \quad (26)$$

$$LSC = D_2 \sigma \quad (31)$$

$$LIC = D_1 \sigma \quad (32)$$



Caro acadêmico, você deve ter reparado que o cálculo dos limites de controle, quando os dados de μ e σ são conhecidos, é bem mais simples, pois não temos necessidade de estimar ou calcular estes valores, necessitando apenas buscar no Anexo 1 os valores tabulados de d_2 , D_1 e D_2 .



Vamos resolver este exercício proposto juntos: Uma grande empresa de envase de óleo de soja tem acompanhado a linha de produção automatizada, e ela controla amostralmente a cada hora com a retirada de três amostras de embalagens, as quais são pesadas. Conforme seu histórico, a sua média de peso é de $\mu=989,5$ gramas com um desvio padrão σ de 8,5 gramas. Os dados levantados estão apresentados na tabela a seguir.

TABELA 11 – DADOS DO PROBLEMA

Num. De Subgrupos (m)	Replicatas (n)			Média	Amplitude
	1	2	3		
1	983,20	991,50	983,60		
2	989,80	1001,60	977,10		
3	986,30	986,00	977,60		
4	985,20	1000,70	999,60		
5	986,90	974,80	982,50		
6	982,70	999,40	996,40		
7	993,80	976,80	985,40		
8	982,80	1003,80	984,30		
9	998,40	983,00	994,90		
10	1004,00	983,80	1003,80		

FONTE: O autor

Assim, nós conhecemos:

$\mu= 989,5$ gramas
 $\sigma= 8,5$ gramas.
 $n= 3$

Para a carta $\bar{X}$:

$LC = \mu \text{ (21)}$

$LSC = \mu + A\sigma \text{ (24)}$

$LIC = \mu - A\sigma \text{ (25)}$

TABELA 12 – DADOS PARCIAIS REFERENTES A FATORES PARA LIMITE DE CONTROLE

n	Fatores para limites de Controle											Fatores para Linha Central			
	A	A ₂	A ₃	B ₃	B ₄	B ₅	B ₆	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	C ₄	1/C ₄	d ₂	1/d ₂
2	2,121	1,880	2,659	0,000	3,267	0,000	2,606	0,000	3,686	0,000	3,267	0,7979	1,2533	1,128	0,8865
3	1,732	1,023	1,954	0,000	2,568	0,000	2,276	0,000	4,358	0,000	2,574	0,8862	1,1284	1,693	0,5907
4	1,500	0,729	1,628	0,000	2,266	0,000	2,088	0,000	4,698	0,000	2,282	0,9213	1,0854	2,059	0,4857
5	1,342	0,577	1,427	0,000	2,089	0,000	1,964	0,000	4,918	0,000	2,114	0,9400	1,0638	2,326	0,4299

FONTE: Adaptado de ISO 8258 (1991 apud OLIVEIRA et al., 2013, p. 63)

$$n=3 \Rightarrow A = 1,732$$

$$LC = 989,5$$

$$LSC = 989,5 + 1,732 \times 8,5 = 1004,22$$

$$LIC = 989,5 - 1,732 \times 8,5 = 974,78$$

Para a carta de R

$$d_2 = 1,693$$

$$D_1 = 0,000$$

$$D_2 = 4,358$$

Então, pelas fórmulas:

$$LC = d_2 \sigma (26)$$

$$LSC = D_2 \sigma (31)$$

$$LIC = D_1 \sigma (32)$$

Logo:

$$LC = 1,693 \times 8,5 = 14,3905$$

$$LIC = 0 \times 8,5 = 0$$

$$LSC = 4,358 \times 8,5 = 37,043$$

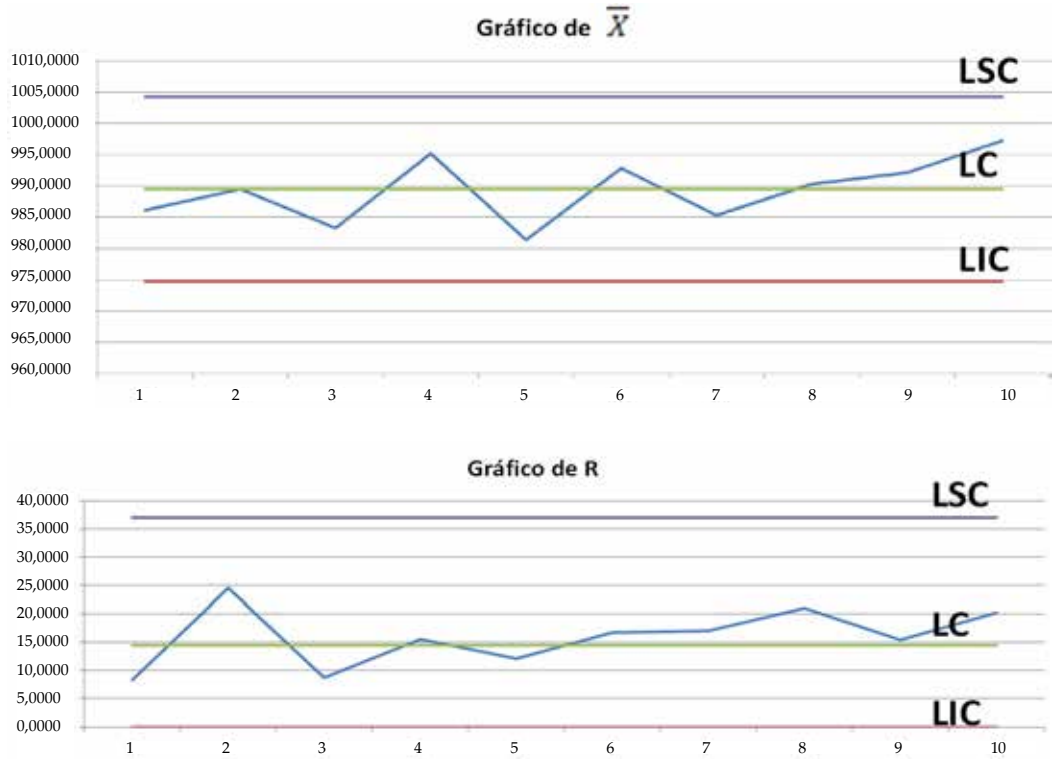
Calculamos os valores de $\bar{X}$ e R dos dados levantados, os quais estão apresentados na tabela a seguir:

TABELA 13 – MÉDIA E AMPLITUDE

Num. De Subgrupos (m)	Replicatas (n)			Média	Amplitude
	1	2	3		
1	983,20	991,50	983,60	986,1000	8,30
2	989,80	1001,60	977,10	989,5000	24,50
3	986,30	986,00	977,60	983,3000	8,70
4	985,20	1000,70	999,60	995,1667	15,50
5	986,90	974,80	982,50	981,4000	12,10
6	982,70	999,40	996,40	992,8333	16,70
7	993,80	976,80	985,40	985,3333	17,00
8	982,80	1003,80	984,30	990,3000	21,00
9	998,40	983,00	994,90	992,1000	15,40
10	1004,00	983,80	1003,80	997,2000	20,20

FONTE: O autor

E temos os nossos gráficos de controle, os quais estão apresentados a seguir.

GRÁFICO 13 – $\bar{X}$ e R

FONTE: O autor

Como podemos ver, estamos com todos os parâmetros analisados e estão sob controle em nosso processo.

3 GRÁFICOS DE CONTROLE $\bar{X} - S$

Só relembrando, trabalha-se com gráficos de controle $\bar{X} - S$ quando temos 10 ou mais replicatas (medições) em nosso subgrupo de amostra, e novamente existem duas situações que podem ser trabalhadas para elaboração dos gráficos de controle de $\bar{X} - S$, ou seja, quando valores de referência não são conhecidos, e quando eles são conhecidos. Vamos ao primeiro modelo.

3.1 QUANDO VALORES DE REFERÊNCIA NÃO SÃO CONHECIDOS

Vamos supor que há “m” subgrupos de medições e cada um com “n” replicatas. Como estamos trabalhando com $n \geq 10$, podemos calcular o desvio padrão amostral “s” de cada um dos subgrupos de amostras e a fórmula para cálculo de “s” advindo da estatística é dada por:

$$s = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (33)$$



Da estatística temos que o desvio padrão é uma medida de dispersão, logo, só pode assumir valores positivos, portanto, quanto maior for o seu valor, maior será a dispersão dos dados, conforme podemos ver no gráfico a seguir, onde $S_1 < S_2$

GRÁFICO 14 - COMPARAÇÃO DE DISPERSÃO DE DADOS PELO VALOR DE S



FONTE: O autor

S_i é o desvio padrão do i-ésimo subgrupo de medições, e é calculado pela fórmula 33. Buscamos assim calcular a média dos desvios padrões dos m subgrupos:

$$\bar{s} = \frac{S_1 + S_2 + S_3 + \dots + S_m}{m} \quad (34)$$

Temos o LC do gráfico de $\bar{s}$ dado por:

$$LC = \bar{s} \quad (35)$$

Para definirmos os limites de controles do gráfico de $\bar{X}$, vamos considerar a estatística que:

$$\mu = \bar{\bar{X}} \quad (36) \text{ e;}$$

$$\sigma = \frac{\bar{s}}{c_4} \quad (37)$$

E, c_4 é obtido da tabela disponível no Anexo 1, logo, temos as seguintes equações para os limites de controle do gráfico de $\bar{X}$:

$$LC = \mu = \bar{\bar{X}} \quad (38)$$

$$LSC = \mu + 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \bar{\bar{X}} + 3 \frac{\bar{s}}{c_4 \sqrt{n}} \quad (39)$$

$$LIC = \mu - 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \bar{\bar{X}} - 3 \frac{\bar{s}}{c_4 \sqrt{n}} \quad (40)$$

Substituindo:

$$A_3 = \frac{3}{c_4 \sqrt{n}} \quad (\text{Disponível no Anexo 1}), \text{ temos:}$$

$$LC = \mu = \bar{\bar{X}} \quad (38)$$

$$LSC = \bar{\bar{X}} + A_3 \bar{s} \quad (41)$$

$$LIC = \bar{\bar{X}} - A_3 \bar{s} \quad (42)$$

Para definirmos a carta de controle de s , precisamos definir os limites de controle, que são dados por:

$$LC = \bar{s} \quad (35) \text{ e,}$$

$$LSC = \bar{s} + 3 \frac{\bar{s} \sqrt{1 - c_4^2}}{c_4} \quad (43)$$

$$LIC = \bar{s} - 3 \frac{\bar{s} \sqrt{1 - c_4^2}}{c_4} \quad (44)$$

Fatorando os valores por:

$$B_4 = 1 + 3 \frac{\sqrt{1 - c_4^2}}{c_4} \quad (45)$$

$$B_3 = 1 - 3 \frac{\sqrt{1 - c_4^2}}{c_4} \quad (46)$$

E substituindo as equações 45 e 46, em 43 e 44, respectivamente, temos:

$$LSC = B_4 \bar{s} \quad (47)$$

$$LiC = B_3 \bar{s} \quad (48)$$

B_3 e B_4 são valores tabelados e dependem de n e estão disponibilizados no Anexo 1.



Esta é uma disciplina com muitas fórmulas matemáticas e estatísticas, e uma das formas para facilitar o aprendizado é o acadêmico fazer um formulário/resumo com todas as fórmulas pertinentes à disciplina, permitindo assim que na hora de estudar, ou mesmo solucionar algum problema, todas as fórmulas estejam rapidamente à disposição e, assim, não precise ficar folheando todo o livro de estudo para achá-la.

Vamos exemplificar o procedimento com o seguinte exercício:

Na empresa XXX está se implantando o CEP e as cartas de controle na linha de raios para bicicletas. O diâmetro especificado pela engenharia é de 1,3 mm com tolerância de $\pm 0,2$ mm. Foram retirados 15 subgrupos de medições, cada um contendo 15 medições em cada (replicatas), e os dados levantados estão demonstrados na tabela a seguir:

TABELA 14 – DADOS DO PROBLEMA

Subgrupo	Medições (replicatas) (mm)														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	1,3	1,29	1,43	1,3	1,26	1,23	1,34	1,35	1,26	1,16	1,43	1,25	1,32	1,4	1,34
2	1,38	1,27	1,17	1,35	1,19	1,16	1,41	1,36	1,16	1,25	1,2	1,43	1,15	1,25	1,23
3	1,22	1,44	1,24	1,25	1,39	1,22	1,42	1,16	1,3	1,34	1,28	1,45	1,31	1,32	1,38
4	1,21	1,35	1,4	1,38	1,17	1,39	1,29	1,42	1,39	1,45	1,4	1,43	1,2	1,32	1,37
5	1,38	1,21	1,44	1,42	1,35	1,36	1,32	1,43	1,44	1,15	1,37	1,31	1,28	1,41	1,33
6	1,33	1,26	1,41	1,22	1,34	1,19	1,31	1,24	1,18	1,43	1,34	1,4	1,16	1,17	1,27
7	1,19	1,29	1,15	1,29	1,24	1,43	1,45	1,43	1,38	1,44	1,4	1,4	1,16	1,23	1,29
8	1,22	1,3	1,4	1,23	1,42	1,16	1,28	1,42	1,45	1,35	1,27	1,22	1,31	1,24	1,34
9	1,44	1,44	1,38	1,15	1,25	1,2	1,23	1,35	1,31	1,16	1,29	1,19	1,29	1,34	1,29
10	1,33	1,29	1,41	1,45	1,23	1,41	1,34	1,39	1,28	1,38	1,31	1,34	1,39	1,15	1,36
11	1,21	1,35	1,44	1,44	1,17	1,38	1,21	1,2	1,41	1,18	1,24	1,18	1,39	1,37	1,19
12	1,32	1,26	1,27	1,31	1,24	1,15	1,25	1,36	1,21	1,38	1,16	1,3	1,39	1,4	1,42
13	1,2	1,32	1,15	1,36	1,31	1,21	1,27	1,22	1,43	1,44	1,23	1,17	1,41	1,43	1,24
14	1,23	1,3	1,35	1,44	1,33	1,29	1,43	1,34	1,27	1,24	1,39	1,16	1,19	1,31	1,24
15	1,45	1,36	1,18	1,25	1,33	1,22	1,36	1,29	1,26	1,42	1,23	1,23	1,36	1,15	1,41

FONTE: O autor

SOLUÇÃO DO EXERCÍCIO:

O primeiro ponto que devemos analisar é o número de replicatas, que é $n=15$, logo confirma que devemos utilizar um gráfico de controle de $\bar{X} - S$.

Precisamos agora calcular o valor de s de cada subgrupo, e se você quiser calcular manualmente estes valores, obterá os valores apresentados na tabela abaixo, utilizando-se as fórmulas:

$$s = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (33)$$

Da fórmula 33, apresentamos na tabela a seguir dois valores que advêm das seguintes fórmulas, para que você possa entender melhor o processo de cálculo.

$$soma(A) = \sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n-1}$$

$$s(B) = \sqrt{soma(A)}$$



Apresentamos este desenvolvimento de cálculo somente para que você entenda de onde surgiram os resultados apresentados, e a tabela a seguir tem o resumo dos cálculos de todos os itens.

TABELA 15 – RESUMO DOS CÁLCULOS

$\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n-1}$															soma(A)	s(B)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
8E-06	3E-05	0,001	8E-06	2E-04	5E-04	6E-05	1E-04	2E-04	0,002	0,001	3E-04	6E-06	6E-04	6E-05	0,005607	0,074878
1E-03	3E-06	6E-04	5E-04	4E-04	8E-04	0,002	7E-04	8E-04	1E-05	3E-04	0,002	9E-04	1E-05	8E-05	0,00954	0,097673
6E-04	0,001	4E-04	3E-04	4E-04	6E-04	8E-04	0,002	2E-05	5E-05	9E-05	0,001	2E-06	2E-06	3E-04	0,00777	0,088145
0,001	2E-06	2E-04	9E-05	0,002	1E-04	2E-04	4E-04	1E-04	8E-04	2E-04	5E-04	0,001	4E-05	5E-05	0,007812	0,088388
8E-05	0,001	6E-04	4E-04	8E-07	1E-05	5E-05	5E-04	6E-04	0,003	4E-05	1E-04	3E-04	3E-04	2E-05	0,007124	0,084403
2E-04	4E-05	0,001	3E-04	2E-04	6E-04	5E-05	1E-04	8E-04	0,002	2E-04	1E-03	0,001	9E-04	1E-05	0,008181	0,090449
0,001	6E-05	0,002	6E-05	4E-04	9E-04	0,001	9E-04	3E-04	0,001	5E-04	5E-04	0,002	6E-04	6E-05	0,01146	0,107051
5E-04	4E-06	6E-04	4E-04	9E-04	0,002	5E-05	9E-04	0,001	1E-04	1E-04	5E-04	5E-07	3E-04	8E-05	0,007635	0,08738
0,002	0,002	6E-04	0,001	1E-04	5E-04	2E-04	3E-04	4E-05	0,001	5E-07	7E-04	5E-07	2E-04	5E-07	0,008521	0,092309
4E-06	2E-04	4E-04	9E-04	8E-04	4E-04	5E-07	2E-04	2E-04	1E-04	5E-05	5E-07	2E-04	0,003	4E-05	0,006007	0,077503
5E-04	3E-04	0,002	0,002	0,001	6E-04	5E-04	6E-04	0,001	9E-04	2E-04	9E-04	7E-04	4E-04	7E-04	0,011392	0,106735
5E-05	9E-05	4E-05	2E-05	2E-04	0,001	1E-04	3E-04	5E-04	5E-04	0,001	2E-06	6E-04	8E-04	0,001	0,007241	0,085094
6E-04	5E-05	0,001	3E-04	2E-05	5E-04	4E-05	4E-04	0,001	0,002	3E-04	0,001	1E-03	0,001	2E-04	0,01015	0,100745
4E-04	3E-08	2E-04	0,001	6E-05	8E-06	0,001	1E-04	7E-05	3E-04	6E-04	0,001	9E-04	6E-06	3E-04	0,00675	0,082155
0,002	3E-04	0,001	2E-04	6E-05	5E-04	3E-04	7E-06	1E-04	0,001	4E-04	4E-04	3E-04	0,002	9E-04	0,008429	0,091807

FONTE: O autor

Você pode calcular o desvio padrão amostral “s” direto pela calculadora, tomando cuidado para não confundir com o desvio padrão da população “σ”, ou como nós fizemos utilizando a fórmula da planilha eletrônica Excel da Microsoft, conforme apresentamos na tabela a seguir, em que já calculamos também a média das amostras $\bar{X}$ e $\bar{s}$.

TABELA 16 – MÉDIA E DESVIO PADRÃO

	Medições (replicatas) (mm)																
Subgrupo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	média	desvio padrão
1	1,3	1,29	1,43	1,3	1,26	1,23	1,34	1,35	1,26	1,16	1,43	1,25	1,32	1,4	1,34	1,31	0,075
2	1,38	1,27	1,17	1,35	1,19	1,16	1,41	1,36	1,16	1,25	1,2	1,43	1,15	1,25	1,23	1,26	0,098
3	1,22	1,44	1,24	1,25	1,39	1,22	1,42	1,16	1,3	1,34	1,28	1,45	1,31	1,32	1,38	1,31	0,088
4	1,21	1,35	1,4	1,38	1,17	1,39	1,29	1,42	1,39	1,45	1,4	1,43	1,2	1,32	1,37	1,34	0,088
5	1,38	1,21	1,44	1,42	1,35	1,36	1,32	1,43	1,44	1,15	1,37	1,31	1,28	1,41	1,33	1,35	0,084
6	1,33	1,26	1,41	1,22	1,34	1,19	1,31	1,24	1,18	1,43	1,34	1,4	1,16	1,17	1,27	1,28	0,090
7	1,19	1,29	1,15	1,29	1,24	1,43	1,45	1,43	1,38	1,44	1,4	1,4	1,16	1,23	1,29	1,32	0,107
8	1,22	1,3	1,4	1,23	1,42	1,16	1,28	1,42	1,45	1,35	1,27	1,22	1,31	1,24	1,34	1,31	0,087
9	1,44	1,44	1,38	1,15	1,25	1,2	1,23	1,35	1,31	1,16	1,29	1,19	1,29	1,34	1,29	1,29	0,092
10	1,33	1,29	1,41	1,45	1,23	1,41	1,34	1,39	1,28	1,38	1,31	1,34	1,39	1,15	1,36	1,34	0,078
11	1,21	1,35	1,44	1,44	1,17	1,38	1,21	1,2	1,41	1,18	1,24	1,18	1,39	1,37	1,19	1,29	0,107
12	1,32	1,26	1,27	1,31	1,24	1,15	1,25	1,36	1,21	1,38	1,16	1,3	1,39	1,4	1,42	1,29	0,085
13	1,2	1,32	1,15	1,36	1,31	1,21	1,27	1,22	1,43	1,44	1,23	1,17	1,41	1,43	1,24	1,29	0,101
14	1,23	1,3	1,35	1,44	1,33	1,29	1,43	1,34	1,27	1,24	1,39	1,16	1,19	1,31	1,24	1,30	0,082
15	1,45	1,36	1,18	1,25	1,33	1,22	1,36	1,29	1,26	1,42	1,23	1,23	1,36	1,15	1,41	1,30	0,092
																$\bar{\bar{X}}$ 1,306	$\bar{S}$ 0,090

FONTE: O autor

Assim, podemos continuar os cálculos dos limites de controle, utilizando-se as fórmulas:

Para $\bar{\bar{X}}$:

$$LC = \mu = \bar{\bar{X}} \text{ (38)}$$

$$LSC = \bar{\bar{X}} + A_3\bar{S} \text{ (41)}$$

$$LIC = \bar{\bar{X}} - A_3\bar{S} \text{ (42)}$$

Em que temos da tabela do Anexo 1:

$$A_3 = 0,789$$

$$LC = 1,306$$

$$LSC = 1,306 + 0,789 \times 0,090 = 1,377$$

$$LIC = 1,306 - 0,789 \times 0,090 = 1,235$$

Para s:

$LC = \bar{s} (35) \text{ e,}$

$LSC = B_4 \bar{s} (47)$

$LIC = B_3 \bar{s} (48)$

Da tabela do Anexo 1, temos:

$B_3 = 0,428$

$B_4 = 1,572$

Então:

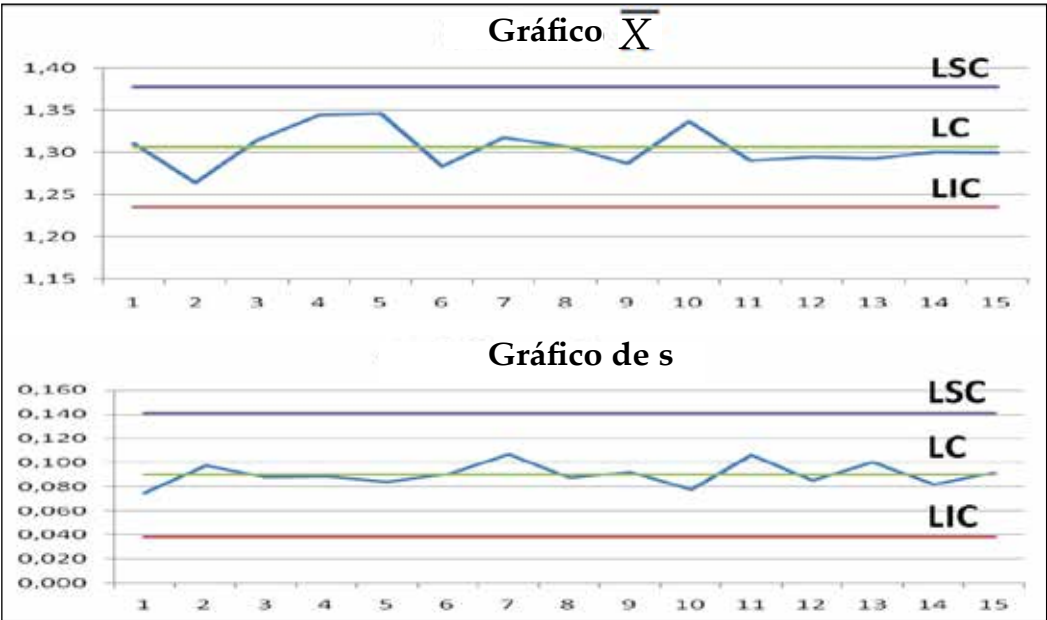
$LC = 0,090$

$LSC = 1,572 \times 0,090 = 0,141$

$LIC = 0,428 \times 0,090 = 0,039$

E assim temos os gráficos apresentados adiante.

GRÁFICO 15 - $\bar{X} - S$



FONTE: O autor

3.2 QUANDO VALORES DE REFERÊNCIA SÃO CONHECIDOS

Agora, iremos aprender como desenvolver as CC de $\bar{X}$ -S quando conhecemos a referência μ e σ do processo em estudo.

Os gráficos de controle para estas condições são calculados pelas seguintes fórmulas:

Para a carta $\bar{X}$:

$$LC = \mu \quad (49)$$

$$LSC = \mu + A\sigma \quad (50)$$

$$LIC = \mu - A\sigma \quad (51)$$

Para a carta s:

$$LC = c_4 \sigma \quad (52)$$

$$LSC = c_4 \sigma + 3\sigma \sqrt{1 - c_4^2} \quad (53)$$

$$LIC = c_4 \sigma - 3\sigma \sqrt{1 - c_4^2} \quad (54)$$

Fatorando as equações 53 e 54, temos os seguintes valores que se apresentam tabelados no Anexo 1 e são dependentes do número de replicatas n:

$$B_6 = c_4 + 3\sqrt{1 - c_4^2} \quad (55)$$

$$B_5 = c_4 - 3\sqrt{1 - c_4^2} \quad (56)$$

Os valores c_4 , B_5 e B_6 são tabelados e se encontram no Anexo 1, sendo que também são dependentes do número de replicatas n, e assim temos:

$$LC = c_4 \sigma \quad (52)$$

$$LSC = B_6 \sigma \quad (57)$$

$$LIC = B_5 \sigma \quad (58)$$

4 GRÁFICOS DE CONTROLE I – MR

Estudamos até o presente momento gráficos de controle em que tínhamos possibilidade de levantar dados e formar subgrupos com “n” amostras que chamamos de replicatas (medições). Estes dados permitiam inferências estatísticas que nos permitiam analisar as variações incorridas neste grupo de amostra, mas existem algumas situações em que não conseguimos auferir replicatas ao processo, contudo conseguimos medidas únicas de um determinado evento/processo que queremos controlar. Nestas condições não temos replicatas, logo, temos $n=1$.

Conforme Oliveira et al. (2013), são exemplos desta situação processos em que:

- O tempo para a realização da análise do processo é muito longo.
- O custo para obtenção da amostra é alto, tornando-se economicamente inviável.
- Tem-se a disponibilidade de apenas uma amostra por lote, como em casos de necessitar destruir a mesma para a obtenção do resultado, principalmente quando temos alta complexidade na sua obtenção.

Algumas vezes é preciso realizar o controle do processo usando medidas individuais. Esse será o caso quando: a) taxa de produção muito baixa (por ex.: 1 produto por dia), b) testes muito caros (por ex.: testes destrutivos ou que exijam a parada da produção) e c) características muito homogêneas, que variam muito lentamente (por ex.: um digestor químico) (RIBEIRO; CATEN, 2012, p. 73).

Considerando a probabilidade dos eventos, as cartas de controle dos valores individuais “I” não obedecem ao teorema do limite central, o que implicará que as médias não seguem a distribuição Normal, necessitando-se tomar alguns cuidados em sua aplicação, os quais são, conforme Ribeiro e Caten (2012, p. 73):

- a) se a distribuição não for simétrica, a interpretação das cartas deve levar isso em conta;
- b) as cartas de valores individuais não são tão sensíveis a mudanças no processo como as cartas de médias;
- c) os pontos da carta da amplitude móvel são correlacionados, e essa correlação pode induzir um padrão ou ciclos na carta de amplitude; e
- d) as cartas de valores individuais não permitem avaliar diretamente a dispersão do processo.

Os autores Ribeiro e Caten (2012, p. 73) ainda descrevem que, principalmente a este último item, “para contornar esse último aspecto, em geral, se usa uma amplitude móvel calculada como a diferença entre cada par de leituras sucessivas. Dessa forma, o tamanho de amostra é considerado $n=2$ ”, isto é, não conseguimos uma estimativa da variabilidade utilizando-se a amplitude ou o desvio padrão de cada medição, por isso utilizaremos uma amplitude móvel (MR), a qual é obtida ao pegar-se duas observações sucessivas (medições) para a estimativa da variabilidade do processo.



O ponto fundamental deste método está em entender que a amplitude móvel (MR) é obtida por se pegar duas medições sucessivas do processo, e delas fazer a estimativa da variabilidade do processo. Veja o exemplo apresentado a seguir para um processo:

Medição	x	MR	Observação
1	1,03	-	Como é a primeira medição não possui MR
2	0,99	$ 0,99 - 1,03 = 0,04$	Sempre valores em módulo
3	1,06	$ 1,06 - 0,99 = 0,07$	Logo, sempre teremos $n=2$

Os limites de controle para a carta de controle de valores individuais são calculados como veremos adiante.

4.1 QUANDO VALORES DE REFERÊNCIA NÃO SÃO CONHECIDOS

Vamos supor que há m subgrupos de medições individuais da característica que está sendo controlada. Sejam $X_1, X_2, X_3, \dots, X_m$ as medições de cada subgrupo, assim se calcula um estimador de μ , ou seja, $\bar{X}$ é a média do processo, sendo calculada pela equação:

$$\mu \cong \bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_m}{m} \quad (59)$$

E $\bar{X}$ é igual a LC, ou seja, a linha de controle do nosso gráfico de controle da medição individual.

$$\bar{X} = LC \quad (60)$$

Para se obter a estimativa do desvio padrão, podemos calcular as amplitudes móveis dos m subgrupos, o que é dado pela equação:

$$MR_i = |X_i - X_{i-1}| \quad (61)$$

Onde, $i= 1,2,3,...,m$

A amplitude móvel média é dada por:

$$\overline{MR} = \frac{MR2 + MR3 + \dots + MRm}{m - 1} \quad (62)$$



Na fórmula 62, o valor da amplitude inicial é o MR2, pois não tem o valor de MR1, pois como o conceito de amplitude móvel é obtido ao pegar-se duas observações sucessivas (medições), logo a primeira medição não tem predecessora, assim não tem MR1, e por isso a média é obtida dividindo-se por $m-1$.

E $\overline{MR}$ é igual a LC, ou seja, a linha de controle do nosso gráfico de controle do MR.

$$\overline{MR} = LC \quad (63)$$

Para definirmos os LSC e LIC do gráfico de I, precisamos estimar σ que é $\frac{\overline{MR}}{d_2}$, em que d_2 se obtém da tabela apresentada no Anexo 1.

$$LC = \mu = \bar{X} \quad (64)$$

$$LSC = \mu + 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \bar{X} + 3 \frac{\overline{MR}}{d_2} \quad (65)$$

$$LIC = \mu - 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \bar{X} - 3 \frac{\overline{MR}}{d_2} \quad (66)$$

Sendo o valor $\frac{3}{d_2}$, conhecido como E_2 , é apresentado no Anexo 1, gerando as seguintes fórmulas para os limites de controle.

$$LSC = \bar{X} + E_2 \overline{MR} \quad (67)$$

$$LIC = \bar{X} - E_2 \overline{MR} \quad (68)$$



Como a amplitude móvel é relacionada à diferença entre duas medições consecutivas, neste caso considera-se sempre $n=2$, logo, teremos sempre E_2 igual a 2,660; consequentemente, d_2 também será constante e igual a 1,128.

$$E_2 = 2,660 \text{ (constante)}$$

$$d_2 = 1,128 \text{ (constante)}$$

Para definirmos a carta de controle de I precisamos definir a carta de controle de MR. Inicialmente, consideraremos que $\overline{MR}$ será utilizado como estimativa da amplitude média, e teremos as seguintes equações:

$$LC = \overline{MR} \quad (63)$$

$$LSC = \overline{MR} + 3d_3 \frac{\overline{MR}}{d_2} \quad (64)$$

$$LIC = \overline{MR} - 3d_3 \frac{\overline{MR}}{d_2} \quad (65)$$

Ao fatorarmos as equações 64 e 65, temos:

$$D_4 = 1 + 3 \frac{d_3}{d_2} \quad (66)$$

$$D_3 = 1 - 3 \frac{d_3}{d_2} \quad (67)$$

Sendo que D_3 e D_4 são valores tabelados e dependem de n , que neste caso vale 2, então temos apresentados no Anexo 1 que $D_3 = 0$ e $D_4 = 3,267$.

Podemos simplificar os limites de controle de R transformando-os nas seguintes equações:

$$LSC = D_4 \overline{MR} \quad (68)$$

$$LIC = D_3 \overline{MR} \quad (69)$$

E, assim, podemos calcular os limites de controle e montar a nossa CC. Vamos ao exemplo resolvido.

Em uma linha de produção contínua de um produto químico derivado do petróleo, temos o controle de um componente químico que precisa ser de 8gr/kg de produto final $\pm 0,15\text{gr/kg}$. Devido à complexidade e custo de obtenção dos resultados, a medição é realizada a cada dia à meia-noite, e em um mês de pesquisa resultou na tabela a seguir de dados (a tabela já foi apresentada com o cálculo de MR):

TABELA 17 – DADOS DO PROBLEMA

Subgrupo (m)	Medição (I)	MR
1	7,99	(-)
2	8,14	0,15
3	8,12	0,02
4	8,10	0,01
5	8,13	0,03
6	8,06	0,07
7	7,95	0,11
8	8,05	0,10
9	8,09	0,03
10	8,15	0,06
11	7,88	0,27
12	7,98	0,10
13	8,01	0,02
14	7,91	0,09
15	8,08	0,17
16	8,07	0,00
17	7,91	0,16
18	8,02	0,10
19	8,03	0,00
20	8,08	0,05
21	8,11	0,02
22	7,86	0,24
23	8,01	0,14
24	8,11	0,09
25	8,05	0,05
26	7,95	0,10
27	8,02	0,06
28	7,95	0,06
29	8,15	0,20
30	8,12	0,03
média	$\bar{X} = 8,04$	$\overline{MR} = 0,09$

FONTE: O autor

Aplicando-se as fórmulas para obtenção dos gráficos de controle, temos:

Gráfico de controle de I:

$$LSC = \bar{X} + E_2 \overline{MR} \quad (67)$$

$$LC = \bar{X} \quad (64)$$

$$LIC = \bar{X} - E_2 \overline{MR} \quad (68)$$

Temos os valores constantes:

$$E_2 = 2,660 \text{ (constante)}$$

$$d_2 = 1,128 \text{ (constante)}$$

Logo:

$$LSC = 8,04 + 2,66 \times 0,09 = 8,2794$$

$$LC = 8,04$$

$$LIC = 8,04 - 2,66 \times 0,09 = 7,8006$$

Gráfico de controle de MR:

$$LSC = D_4 \overline{MR} \quad (68)$$

$$LC = \overline{MR} \quad (63)$$

$$LIC = D_3 \overline{MR} \quad (69)$$

Temos os valores tabelados:

$$D_3 = 0$$

$$D_4 = 3,267$$

Logo:

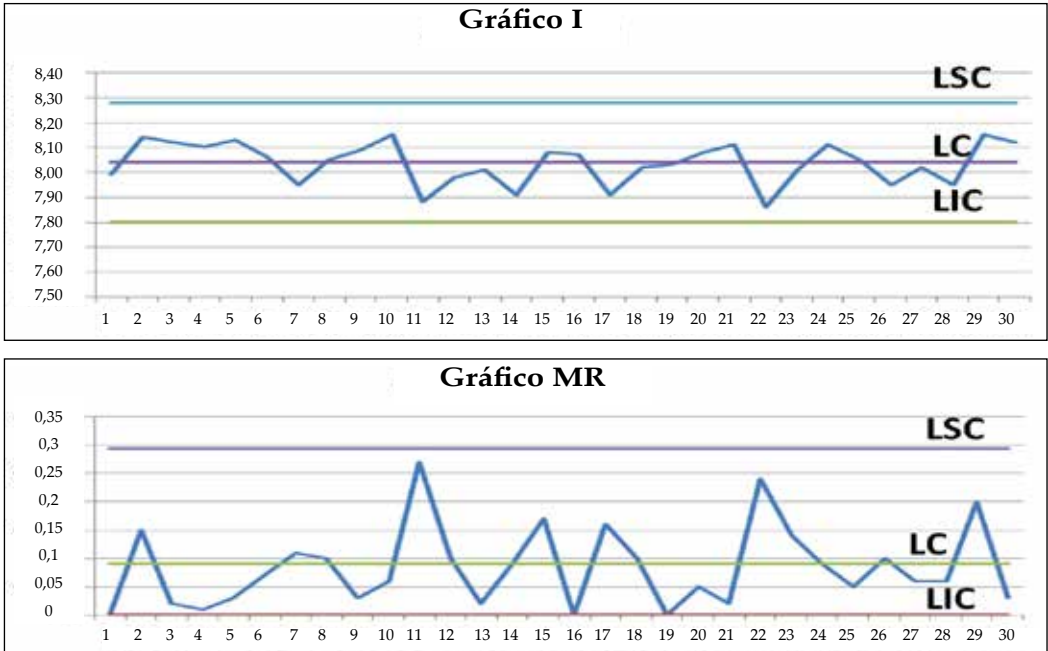
$LSC = 3,267 \times 0,09 = 0,2940$

$LC = 0,090$

$LIC = 0 \times 0,09 = 0,0000$

Assim, temos os seguintes gráficos de controle apresentados a seguir.

GRÁFICO 16 - CONTROLE DE I - MR



FONTE: O autor

Apresentamos a seguir um exercício para você resolver sobre o tema.

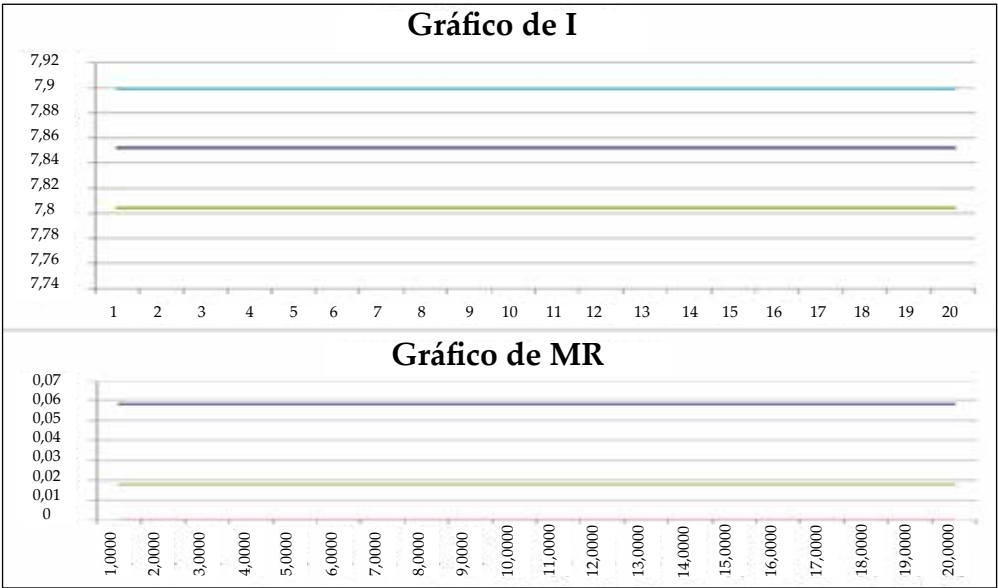


Exercício proposto: A empresa Tecnologic Ltda. fabrica uma peça que recebe uma microcamada de revestimento, a qual deve ter a dimensão final de 7,85 mm com uma tolerância de $\pm 0,025$ mm. Com o processo em controle, inspeções destrutivas são realizadas sempre no final do período de trabalho, sendo realizadas duas inspeções diárias. Apresentamos na tabela a seguir as inspeções realizadas em duas semanas de trabalho. Dimensione os limites de controle deste processo.

TABELA 18 – DADOS DO PROBLEMA

Subgrupo (m)	Medição (l)	MR
1	7,839	
2	7,852	
3	7,869	
4	7,870	
5	7,868	
6	7,873	
7	7,871	
8	7,836	
9	7,847	
10	7,826	
11	7,874	
12	7,830	
13	7,868	
14	7,853	
15	7,830	
16	7,862	
17	7,861	
18	7,833	
19	7,839	
20	7,833	
média		

FONTE: O autor



Bom exercício!

Vamos agora aprender como definir os limites de controle quando as referências do processo são conhecidas.

4.2 QUANDO VALORES DE REFERÊNCIA SÃO CONHECIDOS

Como já estudamos em outros procedimentos as fórmulas de dimensionamento dos limites de controle, agora, neste procedimento, conheceremos os valores de referência μ e σ , seja pelo histórico do processo, ou por informação disponibilizada a nós por manuais de equipamentos ou especificações técnicas, facilitando assim o cálculo dos limites de controle.

Para carta de I:

$$LC = \mu \quad (70)$$

$$LSC = \mu + 3\sigma \quad (71)$$

$$LIC = \mu - 3\sigma \quad (72)$$

Para a carta de MR temos:

$$LC = d_2\sigma \quad (73)$$

$$LSC = D_2\sigma \quad (74)$$

$$LIC = D_1\sigma \quad (75)$$

Temos os valores constantes, que podem ser obtidos no Anexo 1:

$$D_1 = 0 \text{ (constante)}$$

$$D_2 = 3,686 \text{ (constante)}$$

$$d_2 = 1,128 \text{ (constante)}$$

Apresentamos um exemplo deste método a seguir:

Apresente as cartas de controle para os dados tabelados colhidos de um processo produtivo Y, onde pelo histórico conhecemos o valor de $\mu = 2,500$ e o do desvio padrão é $\sigma = 0,050$

TABELA 19 – DADOS DO PROBLEMA

Subgrupo (m)	Medição (l)	MR
1	2,515	
2	2,501	0,014
3	2,453	0,048
4	2,538	0,085
5	2,469	0,069
6	2,538	0,069
7	2,500	0,038
8	2,529	0,029
9	2,468	0,061
10	2,501	0,033
11	2,532	0,031
12	2,490	0,042
13	2,460	0,030
14	2,527	0,067
15	2,495	0,032
16	2,485	0,010
17	2,513	0,028
18	2,483	0,030
19	2,486	0,003
20	2,494	0,008

FONTE: O autor

Aplicando-se as fórmulas, temos:

Para carta de I:

$$LC = \mu \quad (70)$$

$$LSC = \mu + 3\sigma \quad (71)$$

$$LIC = \mu - 3\sigma \quad (72)$$

$$LC = 2,500$$

$$LSC = 2,500 + 3 \times 0,025 = 2,650$$

$$LIC = 2,500 - 3 \times 0,025 = 2,350$$

Para a carta de MR, temos:

$$LC = d_2 \sigma \quad (73)$$

$$LSC = D_2 \sigma \quad (74)$$

$$LIC = D_1 \sigma \quad (75)$$

Temos os valores constantes e podem ser obtidos no Anexo 1:

$D_1=0$ (constante)

$D_2=3,686$ (constante)

$d_2=1,128$ (constante)

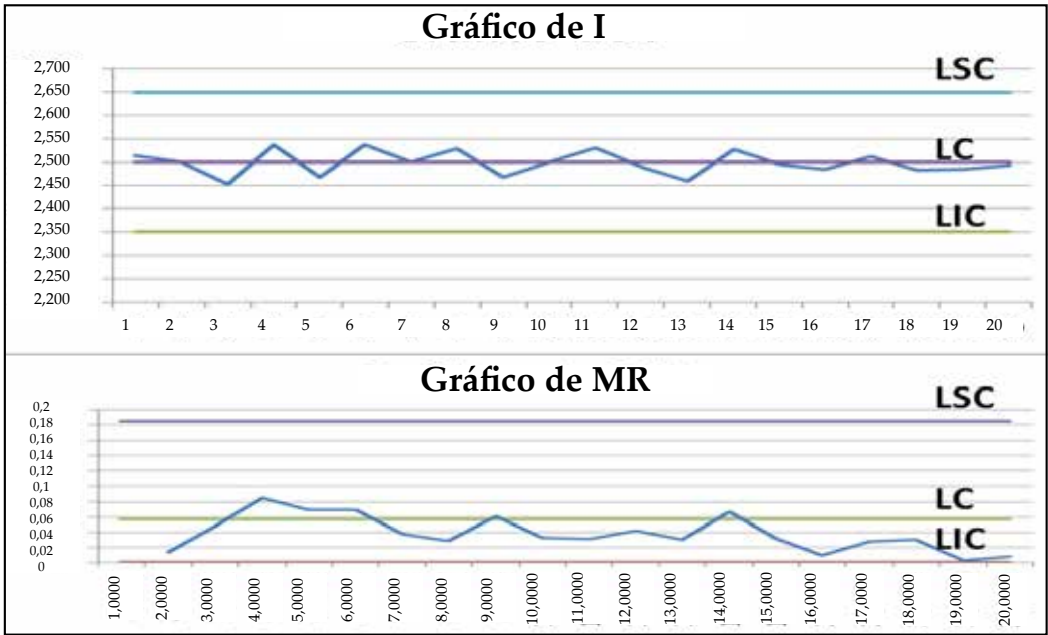
$LC = 1,128 \times 0,025 = 0,0564$

$LSC= 3,686 \times 0,025 = 0,1843$

$LIC = 0 \times 0,025 = 0$

Assim, temos os gráficos de controle apresentados a seguir:

GRÁFICO 17 – I – MR



FONTE: O autor



Prezado acadêmico, acabamos de estudar e aprender sobre as diversas formas de calcular os limites de controle por variáveis. Esperamos ter esclarecido as suas principais dúvidas, mas como estamos falando de uma disciplina que envolve muitos cálculos, podem sempre surgir dúvidas, portanto, volte um pouco e dê uma revisada no texto e nos seus cálculos, anote o que não entendeu para esclarecer com seu professor ou ainda com os tutores da UNIASSELVI, pois tudo que você está aprendendo poderá ser utilizado em sua vida profissional, por isso é conveniente aproveitar este momento para esclarecer o que não lhe ficou tão claro. Bem, agora vamos iniciar o estudo das cartas de controle para processos que envolvem situações de controle por atributo. Bom estudo.

RESUMO DO TÓPICO 2

Neste tópico, você aprendeu que:

- As cartas de controle (CC) ou gráficos de controle trabalham com dimensões variáveis, pois elas variam de forma contínua, por este fato é necessário manter o controle, geralmente em relação a duas condições, sendo a primeira sobre a média das medições e a segunda por uma variável de controle de variação de medidas.
- Replicatas são as medições obtidas do processo; e Subgrupo é o conjunto de replicatas.
- As distribuições das amplitudes e dos desvios padrão não são normais, mas são consideradas aproximadamente normais para estimação das constantes para o cálculo dos limites de controle.
- Para o uso de cartas de controle $\bar{X}$ e R (média e amplitude) ou $\bar{X}$ e s (média e desvio padrão), pressupõe-se que a variabilidade das medidas permaneça constante e aceitável. Essa suposição é verificada por meio da carta de controle de amplitude (carta R) ou de desvio padrão (carta s).
- As cartas $\bar{X}$ e R são utilizadas em subgrupos que possuem número de replicatas entre 2 e 9, e as cartas de $\bar{X}$ e s quando temos um número de replicatas maior que 9.
- Cartas de médias e amplitude ($\bar{X} - R$).

• Quando valores de referência não são conhecidos.

$$\mu \cong \bar{\bar{X}} = \frac{\bar{X}_1 + \bar{X}_2 + \bar{X}_3 + \dots + \bar{X}_m}{m} \quad (4)$$

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_m}{m} \quad (7)$$

Carta de controle de $\bar{X}$

$$LC = \mu = \bar{\bar{X}} \quad (9)$$

$$LSC = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R} \quad (12)$$

$$LIC = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R} \quad (13)$$

Carta de controle de R

$$LC = \bar{R} \quad (14)$$

$$LSC = D_4 \bar{R} \quad (19)$$

$$LIC = D_3 \bar{R} \quad (20)$$

• Quando valores de referência são conhecidos.

Para a carta $\bar{X}$:

$$LC = \mu \quad (21)$$

$$LSC = \mu + A\sigma \quad (24)$$

$$LIC = \mu - A\sigma \quad (25)$$

Para a carta de R

$$LC = d_2 \sigma \quad (26)$$

$$LSC = D_2 \sigma \quad (31)$$

$$LIC = D_1 \sigma \quad (32)$$

• Gráficos de controle $\bar{X} - s$.

• Quando valores de referência não são conhecidos.

$$s = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (33)$$

Para $\bar{X}$:

$$LC = \mu = \bar{\bar{X}} \quad (38)$$

$$LSC = \bar{\bar{X}} + A_3 \bar{s} \quad (41)$$

$$LIC = \bar{\bar{X}} - A_3 \bar{s} \quad (42)$$

Para s:

$$LC = \bar{s} \quad (35)$$

$$LSC = B_4 \bar{s} \quad (47)$$

$$LIC = B_3 \bar{s} \quad (48)$$

• Quando valores de referência são conhecidos.

Para a carta $\bar{X}$:

$$LC = \mu \quad (49)$$

$$LSC = \mu + A\sigma \quad (50)$$

$$LIC = \mu - A\sigma \quad (51)$$

Para a carta s:

$$LC = c_4 \sigma \quad (52)$$

$$LSC = B_6 \sigma \quad (57)$$

$$LIC = B_5 \sigma \quad (58)$$

- Gráficos de controle I – MR.
- As cartas de controle dos valores individuais “I” não obedecem ao teorema do limite central, logo, as médias não seguem a distribuição Normal.

• Quando valores de referência não são conhecidos.

$$\mu \cong \bar{\bar{X}} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_m}{m} \quad (59)$$

$$\bar{\bar{X}} = LC \quad (60)$$

$$MR_i = |X_i - X_{i-1}| \quad (61)$$

$$\overline{MR} = \frac{MR_2 + MR_3 + \dots + MR_m}{m-1} \quad (62)$$

Gráfico de controle de I:

$$LSC = \bar{X} + E_2 \overline{MR} \quad (67)$$

$$LC = \bar{X} \quad (64)$$

$$LIC = \bar{X} - E_2 \overline{MR} \quad (68)$$

Temos os valores constantes:

$$E_2 = 2,660 \text{ (constante)}$$

$$d_2 = 1,128 \text{ (constante)}$$

Gráfico de controle de MR:

$$LSC = D_4 \overline{MR} \quad (68)$$

$$LC = \overline{MR} \quad (63)$$

$$LIC = D_3 \overline{MR} \quad (69)$$

Temos os valores tabelados:

$$D_3 = 0$$

$$D_4 = 3,267$$

• **Quando valores de referência são conhecidos.**

Para carta de I:

$$LC = \mu \quad (70)$$

$$LSC = \mu + 3\sigma \quad (71)$$

$$LIC = \mu - 3\sigma \quad (72)$$

Para a carta de MR temos:

$$LC = d_2 \sigma \quad (73)$$

$$LSC = D_2 \sigma \quad (74)$$

$$LIC = D_1 \sigma \quad (75)$$

Temos os valores constantes e podem ser obtidos no anexo 1:

$$D_1=0 \text{ (constante)}$$

$$D_2=3,686 \text{ (constante)}$$

$$d_2=1,128 \text{ (constante)}$$

AUTOATIVIDADE



Apresentamos a seguir mais dois exercícios para você treinar um pouco sobre o tema estudado.

- 1 Considerando a linha de produção de uma biela, ela possui um furo com um diâmetro crítico, que deverá possuir a dimensão de 35 mm $\pm 0,5$ mm, e na sua linha de produção precisamos implantar a CC de $\bar{X} - R$. Os engenheiros mediram a peça e tiraram 125 amostras em 25 subgrupos com cinco replicatas em cada, e os dados levantados estão apresentados na tabela.

TABELA – DADOS DE MEDIÇÃO DO DIÂMETRO DO EIXO EM PROCESSO EXISTENTE

Num. De Subgrupos (m)	Replicatas (n)					Média	Amplitude
	1	2	3	4	5		
1	34,800	34,780	35,310	34,960	35,250		
2	34,720	34,760	35,230	34,860	34,940		
3	34,650	35,260	35,300	35,310	34,900		
4	34,830	35,110	35,170	34,890	35,380		
5	34,730	34,920	34,650	34,940	35,090		
6	35,130	34,760	34,950	35,240	35,220		
7	35,130	34,840	34,840	35,170	35,360		
8	35,030	35,320	34,890	35,270	34,930		
9	35,170	35,110	35,360	35,390	34,720		
10	35,000	35,040	35,220	35,140	35,280		
11	34,860	35,280	34,930	34,670	35,340		
12	34,710	34,760	34,870	34,680	34,790		
13	34,800	35,240	34,840	34,950	34,670		
14	35,180	34,700	34,650	34,910	34,710		
15	35,150	35,120	35,300	35,280	35,200		
16	35,100	34,830	35,300	35,000	35,280		
17	35,360	35,230	35,320	34,790	35,130		
18	35,260	34,830	35,200	35,360	35,100		
19	35,290	34,800	34,770	34,700	34,850		
20	35,320	34,880	34,940	34,700	35,130		
21	34,970	34,710	35,040	35,320	34,950		
22	34,890	35,230	35,040	35,210	34,840		
23	34,650	34,740	34,750	35,090	35,160		
24	34,850	35,080	35,100	35,360	35,370		
25	34,690	35,320	34,710	35,100	35,120		

FONTE: O autor

Calcule os limites de controle e elabore a carta de controle para a peça biela com os dados apresentados.

- 2 Em uma linha de produção de derivado do petróleo na obtenção de nafta, temos o controle de um componente químico que precisa ser de 25 gr/kg de produto final $\pm 1,50$ gr/kg. Calcule os limites de controle e monte o gráfico de controle de I – MR com os dados apresentados.

Subgrupo (m)	Medição (I)	MR
1	24,440	
2	25,510	
3	25,290	
4	26,370	
5	23,670	
6	26,310	
7	24,030	
8	24,580	
9	24,640	
10	24,240	
11	24,280	
12	24,610	
13	26,290	
14	26,130	
15	24,510	
16	26,120	
17	24,000	
18	24,330	
19	24,200	
20	23,650	
21	25,420	
22	24,480	
23	24,040	
24	26,150	
25	23,670	
26	25,180	
27	23,650	
28	24,570	
29	26,050	
30	25,310	
média		

GRÁFICOS DE CONTROLE POR ATRIBUTOS

1 INTRODUÇÃO

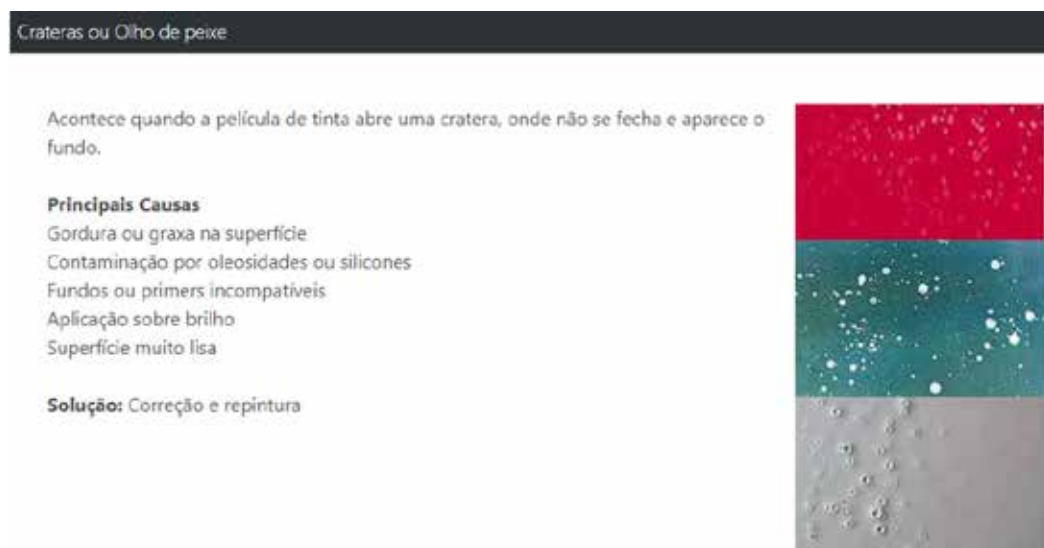
Nem tudo pode ser medido por variáveis contínuas, existem situações em que tomamos decisões e definimos se o processo está adequado ou não.

Prezado acadêmico, estamos iniciando o último tópico referente ao dimensionamento e desenho de cartas de controle por atributos. Como já aprendemos, muitos processos têm condições contínuas de medição, porém existem muitas características de qualidade e de processos que não podem ser medidos em valores numéricos, sendo comum identificarmos como se a peça é ou não defeituosa, ou ainda classificamos como sistemas de controle do tipo passa/não passa, vaza/não vaza, aprovado/não aprovado ou ainda conforme/não conforme; certo/errado; bom ou ruim, sucesso/insucesso etc. Outra forma de trabalharmos os atributos de um processo é contarmos o número de defeitos que uma peça possui. Nestas condições de análise de processo as classificações das características deste tipo são denominadas atributos, ou seja, é o atributo da peça ou processo estar de acordo ou não, o que conta não é uma dimensão contínua obtida por uma medição.

Como exemplo de atributo, podemos citar os testes realizados com uma lâmpada, em que ela pode acender ou não acender, teste em que a avaliação aprova ou reprova o produto ou processo, a existência de manchas, ranhuras etc.

Podemos, ainda, considerar como uma avaliação por atributo o número de falhas em uma peça pintada, onde podem aparecer defeitos tipo bolhas, falha tipo olho de peixe, falta de brilho, ou até peças riscadas, vide exemplo de falhas na pintura na figura a seguir.

FIGURA 20 – FALHAS DE PINTURA



FONTE: Disponível em: <<http://coriarte.com.br/informacoes>>. Acesso em: 15 jul. 2017.

Geralmente, quando trabalhamos com análises por atributo é comum termos padrões para definir a falha ou a peça/processo de acordo, para que o decisor/inspetor tenha uma referência para a sua decisão.

Montgomery (2004) e Paladini (2012) descrevem que atributos são características que podem assumir apenas dois valores, ou seja, ou é conforme ou é não conforme, não existe outra posição.

Montgomery (2004) descreve que os gráficos de controle por atributos são usados, principalmente, em processos que:

- Produzem itens defeituosos, mesmo em controle.
- Surgem itens com pequenos defeitos que podem ser corrigidos no processo ou não.
- Pequenos defeitos surgem no processo, porém não inutilizam o todo.
- São usados, principalmente, em controle de qualidade de serviços.

Conforme Ribeiro e Caten (2012, p. 85), os atributos podem ser divididos em dois tipos e são:

- (i) Percentual de não conformes: se referem à contagem do n° de produtos/peças defeituosas (número de não conformes) e segue a distribuição Binomial ($0 < p < 1$); e
- (ii) Taxa de não conformidades: se referem à contagem do n° de defeitos por produto/peça (número de não conformidades) e segue a distribuição de Poisson ($0 < \lambda < \infty$) (RIBEIRO; CATEN, 2012, p. 85).

Existem quatro tipos de carta de controle por atributos que estudaremos, os quais são:

- a) **carta p** - que trabalha a fração de não conformes, cujas amostras podem inclusive ser de tamanhos diferentes;
- b) **carta np** - que trabalha com o número de unidades não conformes e as amostras devem ter sempre o mesmo tamanho;
- c) **carta c** - trabalha com situações em que temos o número de não conformidades para analisar e as amostras devem ter sempre o mesmo tamanho;
- d) **carta u** - quando analisamos o número de não conformidades por unidade e as amostras podem ter tamanhos diferentes.

Vamos começar a estudar as cartas de controle por atributo.

2 GRÁFICO DA PROPORÇÃO DE ITENS DEFEITUOSOS – GRÁFICO p E np

Prezado acadêmico, vamos estudar como calcular os limites e desenhar as cartas de controle por atributos. Iniciaremos com a carta p, que trabalha a fração de não conformes, ou também conhecida como fração defeituosa.

A carta de controle de p, ou simplesmente carta p, mede a fração de produtos defeituosos ou produtos não conformes existentes em uma amostra. Ribeiro e Caten (2012, p. 86) descrevem que:

O grupo pode ser definido como 100 unidades coletadas, duas vezes ao dia ou 80 unidades extraídas de cada lote de produção etc.

Cartas de atributo exigem subgrupos de tamanho considerável (em geral, 50 a 200 unidades ou mais) para serem eficientes na detecção de alterações no processo.

Alguns estatísticos recomendam 5 para que seja possível uma análise eficiente de padrões. O tamanho dos grupos (n) pode ser variável, mas é mais prático trabalhar com subgrupos de tamanho constante.

A frequência de amostragem deve fazer sentido em termos de períodos de produção. Por exemplo, 1 amostra a cada lote, ou 1 amostra por turno, ou 1 amostra a cada troca de setup etc.

Assim como podemos ver acima, geralmente estamos trabalhando nas cartas de controle de p com um grande número de amostras em cada subgrupo. Então, temos:

$$p = \frac{d}{n} \quad (76)$$

Em que:

p= fração de defeituosos ou não conformes;

d= número de itens defeituosos ou não conformes; e

n= números de itens inspecionados.

Podemos então calcular a fração média de defeituosos pela seguinte fórmula:

$$\bar{p} = \frac{d_1 + d_2 + d_3 + \dots + d_k}{n_1 + n_2 + n_3 + \dots + n_k} \quad (77)$$

Em que:

K= é o número de subgrupos analisados.

Considerando a fórmula acima e aplicando na fórmula do desvio padrão, temos:

$$\sigma_{p_i} = \frac{\sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})}}{\sqrt{n_i}} \quad (78)$$

Em que:

d_i = é o número de itens não conformes no subgrupo i;

n_i = o tamanho de amostra do subgrupo i.



Uma das condições para se tornar factíveis as equações apresentadas dentro da fundamentação estatística é que os cálculos necessitam ser feitos com um grande número de subgrupos "k", e é de bom valor considerar $k > 25$, e uma outra condição importante para que o desenvolvimento das CC seja coerente é que o processo esteja sob controle, caso contrário os valores poderão mascarar os problemas do processo.

Os limites de controle são dados por:

$$LC = \bar{p} \quad (79)$$

$$LSC = \bar{p} + 3\sigma_{pi} \quad (80)$$

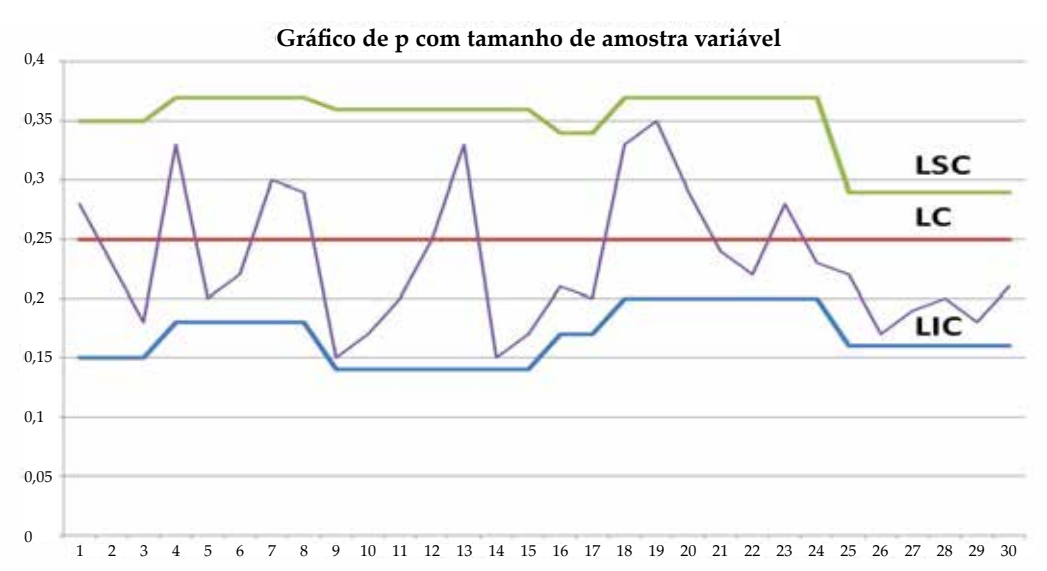
$$LIS = \bar{p} - 3\sigma_{pi} \quad (81)$$



Se o LIC for negativo, então por convenção ele será estipulado como Zero, pois não existe defeito negativo, ou seja, menos defeito.

Como estamos falando de amostras retiradas do processo, muitas vezes temos que a quantidade de amostras pode variar em cada subgrupo, logo, quando o tamanho n_i de cada subgrupo varia, temos que os limites de controle consequentemente também variam, gerando uma carta de controle com limites de controle variáveis, conforme podemos ver na figura a seguir.

GRÁFICO 18 – LIMITES DE CONTROLE VARIÁVEIS DEVIDO AO NÚMERO DE AMOSTRAS VARIÁVEIS



FONTE: O autor

Nesta forma de gráfico, apresentada acima, temos os limites de controle variável, que é conhecido como gráfico de limites com forma “dentada”.

Por convenção, para trabalharmos com gráficos com os limites de controle estáveis, considerar-se-á que se a diferença nos tamanhos de amostras for pequena, ou seja, menor que 25%, então poderemos utilizar a média dos tamanhos de amostra para o dimensionamento do desvio padrão, que será calculado como:

$$\sigma_p = \frac{\sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})}}{\sqrt{n}} \quad (82)$$

Apresentamos a seguir um exemplo resolvido deste método.

A linha de pintura a pó está trabalhando com a peça chamada chassi, e ela é inspecionada a cada turno gerando os dados apresentados na tabela a seguir, onde são mapeados os números de peças com falhas. Elabore a carta de controle do processo.

TABELA 20 – DADOS DO PROCESSO

Inspeção	di	n	pi	Inspeção	di	n	pi	Inspeção		n	pi
1	5	75	0,067	11	4	75	0,053	21	2	75	0,027
2	6	75	0,080	12	6	75	0,080	22	1	75	0,013
3	12	75	0,160	13	10	75	0,133	23	7	75	0,093
4	10	75	0,133	14	7	75	0,093	24	8	75	0,107
5	3	75	0,040	15	3	75	0,040	25	12	75	0,160
6	9	75	0,120	16	5	75	0,067	26	15	75	0,200
7	15	75	0,120	17	8	75	0,107	27	1	75	0,013
8	7	75	0,093	18	4	75	0,053	28	12	75	0,160
9	8	75	0,107	19	6	75	0,080	29	10	75	0,133
10	12	75	0,160	20	9	75	0,120	30	6	75	0,080

FONTE: O Autor

Analisando as condições preliminares, temos:

- a) O número de subgrupos $k > 25$, em nosso exemplo $k = 30$, atende ao requisito.
- b) O tamanho da amostra deverá ser considerável, em geral, 50 a 200 unidades ou mais para que a detecção de alterações no processo seja eficiente, nós temos $n = 75$.

Logo, aplicando-se as fórmulas:

$$p = \frac{d}{n} \quad (76)$$

$$\bar{p} = \frac{d_1 + d_2 + d_3 + \dots + d_k}{n_1 + n_2 + n_3 + \dots + n_k} \quad (77)$$

$$\sigma_p = \frac{\sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})}}{\sqrt{n}} \quad (82)$$

$$LC = \bar{p} \quad (79)$$

$$LCS = \bar{p} + 3\sigma_{pi} \quad (80)$$

$$LIS = \bar{p} - 3\sigma_{pi} \quad (81)$$

Temos:

$$\sum d_k = 223$$

$$\sum n_k = 2250$$

Logo:

$$\bar{p} = \frac{223}{2250} = 0,099$$

$$\sigma_p = \frac{\sqrt{0,099(1-0,099)}}{\sqrt{75}} = 0,0345$$

$$LC = 0,099$$

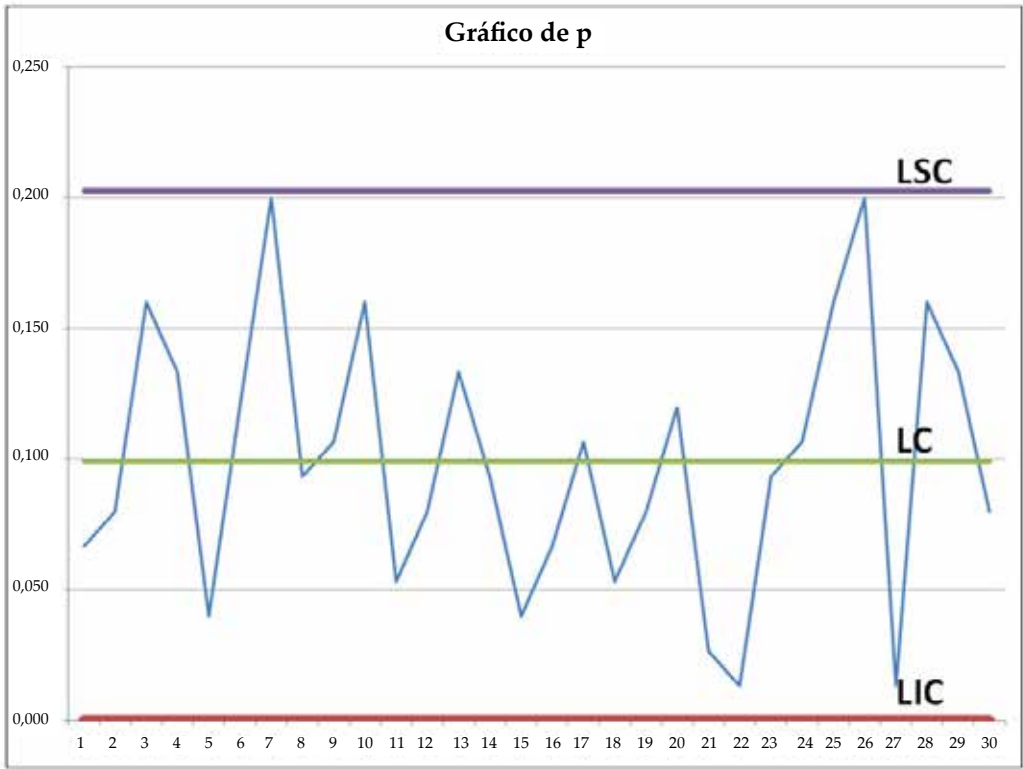
$$LIC = 0,099 - 3 \times 0,0345 = -0,0044$$

Como deu um valor negativo, será considerado como zero=> LIC= 0

$LSC = 0,099 + 3 \times 0,0345 = -0,0044$

Logo, temos o gráfico para p apresentado a seguir:

GRÁFICO 19 – DE P



FONTE: O autor

A seguir, apresentamos um exercício para você treinar.



A empresa Chavex tem uma peça em que ela identifica somente por um dispositivo de passa não passa para identificar se a peça está conforme ou não. Ela levantou os seguintes dados de produção não conforme, apresentados na tabela a seguir.

TABELA 21 – DADOS DA PRODUÇÃO

Inspeção	di	n	pi	Inspeção	di	n	pi	Inspeção	di	n	pi
1	8	50		11	8	50		21	8	50	
2	6	50		12	6	50		22	5	50	
3	10	50		13	10	50		23	9	50	
4	10	50		14	9	50		24	12	50	
5	3	50		15	3	50		25	12	50	
6	9	50		16	15	50		26	15	50	
7	12	50		17	2	50		27	7	50	
8	7	50		18	4	50		28	12	50	
9	8	50		19	12	50		29	10	50	
10	13	50		20	5	50		30	9	50	

FONTE: O autor

Desenhe o gráfico de controle de p, colocando os limites de controle e os dados da tabela.

A carta de controle de np, ou simplesmente carta np, mede o número de produtos defeituosos ou produtos não conformes existentes em cada amostra. A diferença da carta p é que esta carta trabalha a proporção de não conformes, enquanto que np trabalha o número de itens não conformes.

O procedimento de dimensionamento é similar ao da carta p, e as suas fórmulas são:

$$n\bar{p} = \frac{d_1 + d_2 + d_3 + \dots + d_k}{k} \quad (82)$$

$$\sigma_{np} = \sqrt{n\bar{p}(1 - \bar{p})} \quad (83)$$

Em que:

d_i = é o número de itens não conformes no subgrupo i;
K= é o número de subgrupos.

E os limites de controle são dados por:

$$LC= n\bar{p} \text{ (84)}$$

$$LSC= n\bar{p} +3\sigma_{np} \text{ (85)}$$

$$LIC= n\bar{p} -3\sigma_{np} \text{ (86)}$$

Vamos aprender a desenvolver a carta de controle com um exemplo!!!

Vamos refazer o exemplo anterior, mas agora calculando a carta de controle para np, logo, temos os dados apresentados na tabela a seguir:

TABELA 22 – DADOS DO PROBLEMA n=75

Inspeção	di	Inspeção	di	Inspeção	di
1	5	11	4	21	2
2	6	12	6	22	1
3	12	13	10	23	7
4	10	14	7	24	8
5	3	15	3	25	12
6	9	16	5	26	15
7	15	17	8	27	1
8	7	18	4	28	12
9	8	19	6	29	10
10	12	20	9	30	6

FONTE: O autor



Prezado acadêmico, a tabela é a mesma, mas agora, devido a estarmos calculando uma CC de p, não precisamos calcular o valor de p_i , simplificando um pouco mais os cálculos.

Temos as seguintes fórmulas:

$$\bar{p} = \frac{d_1 + d_2 + d_3 + \dots + d_k}{n_1 + n_2 + n_3 + \dots + n_k} \quad (77)$$

$$n\bar{p} = \frac{d_1 + d_2 + d_3 + \dots + d_k}{k} \quad (82)$$

$$\sigma_{np} = \sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})} \quad (83)$$

$$LC = n\bar{p} \quad (84)$$

$$LSC = n\bar{p} + 3\sigma_{np} \quad (85)$$

$$LIC = n\bar{p} - 3\sigma_{np} \quad (86)$$

Logo:

$$\bar{p} = \frac{223}{2250} = 0,099$$

$$n\bar{p} = \frac{223}{30} = 7,433$$

$$\sigma_{np} = \sqrt{7,433(1-0,099)} = 2,588$$

Assim, temos os cálculos dos limites de controle:

$$LC = 7,433$$

$$LSC = 7,433 + 3 \times 2,588 = 15,197$$

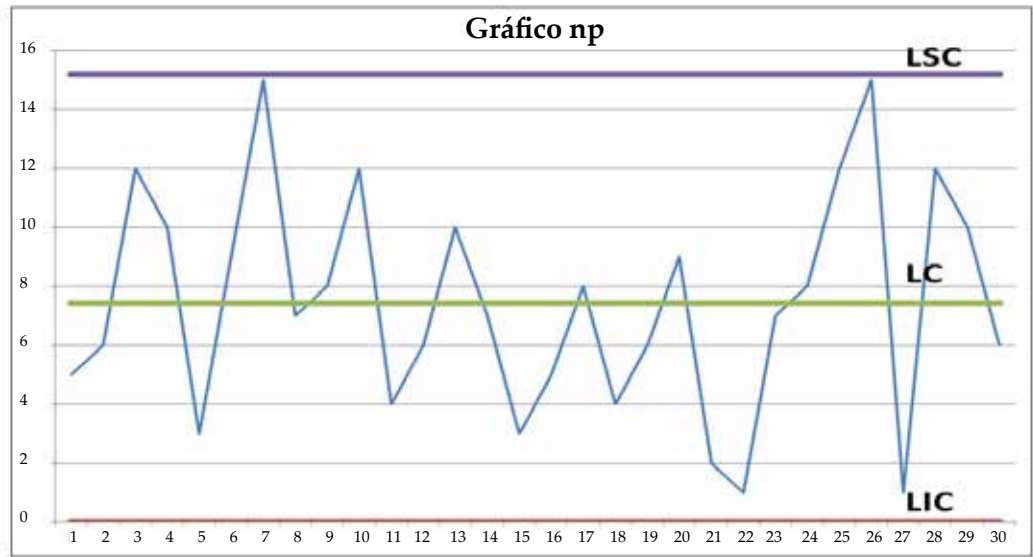
$$LIC = 7,433 - 3 \times 2,588 = -0,330 \Rightarrow LIC = 0 \text{ (zero)}$$



Novamente, é válida a observação realizada anteriormente, que quando LIC for menor que zero, então consideraremos o LSC igual a zero, pois continua verdadeiro que não existem falhas negativas.

Então, temos o gráfico de np apresentado a seguir:

GRÁFICO 20 – NP



FONTE: O autor



Você possui agora o exercício resolvido para os mesmos dados, porém com dois tipos diferentes de CC. Faça um comparativo entre as duas cartas de controle, ou seja, da carta de p e a carta de np. Discuta a sua conclusão com seus colegas e professores.

Você acabou de estudar as cartas de p e np, que tratam de produtos não conformes, ou seja, o produto é defeituoso e não pode ser usado ou o processo não pode continuar desta forma. Elas obedecem à distribuição binomial.



Estamos terminando mais este subtópico, e acabamos de comentar sobre a distribuição binomial, fica como sugestão você fazer uma pesquisa sobre o tema e aprender, ou rever, mais este conceito, e a internet é uma boa fonte para você pesquisar. Seguem algumas referências para você:

<<http://www.portalação.com.br/probabilidades/51-distribuicao-binomial>>
 <<https://www.ime.usp.br/~yambar/MAE116-uimica/Aula%205%20Distribui%20Binomial/Aula%205%20-%20Distribui%20Binomial.pdf>>
 <<http://estatisticageral.blogspot.com.br/2009/05/distribuicao-binomial.html>>

Entre outras opções que você poderá encontrar na internet.
 Boa pesquisa!

3 GRÁFICO DO NÚMERO TOTAL DE DEFEITOS – GRÁFICO C E U

Vamos agora aprender a desenvolver os últimos modelos de cartas de controle, as cartas de controle de C para o número de não conformidades (defeitos em uma peça).

A utilização da carta de “c” é recomendada quando os defeitos estão localizados em produções de produtos contínuos, como em uma fabricação de filmes plásticos contínuos, fabricação de tecidos etc., em que nestes casos é comum controlar o número de defeitos por metro quadrado (m²), ou temos ainda a situação em que podemos ter mais de um tipo de defeito em um produto, como nos casos de pintura, acabamento de peças etc.

As fórmulas de cálculo para definição dos limites de controle são apresentadas a seguir.

$$\bar{c} = \frac{c_1 + c_2 + c_3 + \dots + c_k}{k} \quad (87)$$

$$\sigma_c = \sqrt{\bar{c}} \quad (88)$$

Em que:

c_i = é o número de não conformidades na amostra analisada i ;
 k = é o número de subgrupos analisados.

Os limites de controle são calculados por:

$$LC = \bar{c} \quad (89)$$

$$LSC = \bar{c} + 3\sigma_c \quad (90)$$

$$LIC = \bar{c} - 3\sigma_c \quad (91)$$



Você deve estar percebendo que os processos de cálculos de limites de controle estão ficando mais simples, pois as bases de cálculo são muito similares entre todos os modelos de cartas de controle, sendo o principal ponto que os diferencia apresentado nos procedimentos de cálculo dos limites de controle devido ao procedimento de obtenção das médias e dos desvios padrão para cada tipo de carta, os quais advêm dos métodos estatísticos. Por isto, devemos entender de estatística e probabilidade para entender como surgem as definições da média e do desvio padrão.

Vamos a um exemplo de cálculo dos limites de controle e da elaboração das CC, utilizando-se o número de não conformidades (defeitos em uma peça).

Um tear apresentou diversos defeitos por metro quadrado de tecido, sendo a tabela de dados levantados na última semana apresentados a seguir. Elabore a CC do levantamento apresentado na tabela a seguir.

TABELA 23 – DADOS DO PROBLEMA

AMOSTRA	C (NÃO CONFORMIDADES POR m²)	AMOSTRA	C (NÃO CONFORMIDADES POR m²)
1	5	11	10
2	8	12	9
3	2	13	3
4	4	14	6
5	7	15	7
6	3	16	2
7	1	17	1
8	5	18	10
9	6	19	4
10	8	20	6

FONTE: O autor

Em que temos as seguintes fórmulas:

$$\bar{c} = \frac{c_1 + c_2 + c_3 + \dots + c_k}{k} \quad (87)$$

$$\sigma_c = \sqrt{\bar{c}} \quad (88)$$

$$LC = \bar{c} \quad (89)$$

$$LSC = \bar{c} + 3\sigma_c \quad (90)$$

$$LIC = \bar{c} - 3\sigma_c \quad (91)$$

Logo:

$$\bar{c} = \frac{107}{20} = 5,35$$

$$\sigma_c = \sqrt{5,35} = 2,313$$

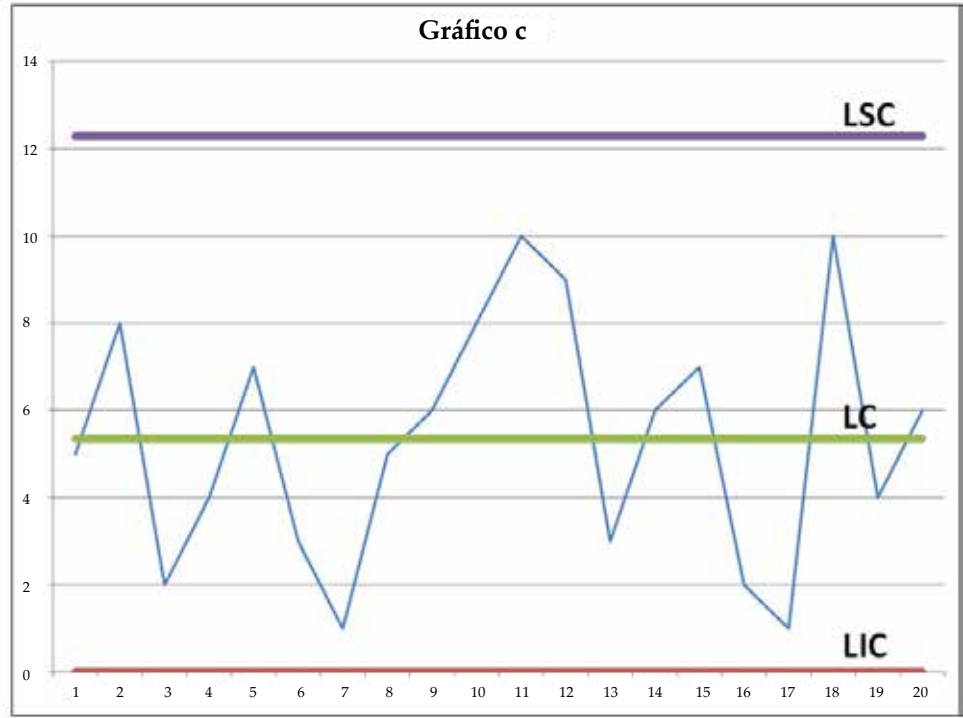
$$LC = 5,35$$

$$LSC = 5,35 + 3 \times 2,313 = 12,289$$

$LSC = 5,35 + 3 \times 2,313 = 12,289$ (COMO JÁ ESTUDAMOS, NÃO EXISTEM CONFORMIDADES NEGATIVAS, PORTANTO, $LIC=0$)

Assim, temos a carta de controle para “c” apresentada a seguir:

GRÁFICO 21 – DE C



FONTE: O autor

Vamos agora aprender a fazer o último tipo de gráfico a ser trabalhado neste material, ou seja, o gráfico de controle de “u”.



Existem outros tipos de gráficos não tão usuais, mas se você necessitar, pode procurar na bibliografia indicada, ou na própria internet, que encontrará mais informações.

O Gráfico de Controle de “u” trabalha com o número médio de não conformidades na amostra, como Ribeiro e Caten (2012, p. 94-95) descrevem:

A carta u monitora o número de não conformidades por unidade produzida. É similar à carta c, exceto que o número de não conformidades é expresso em relação a cada unidade (divide pelo tamanho do lote n).

A carta u é útil quando a amostra contém mais de uma unidade (o valor de u tem um significado mais facilmente apreendido), e quando o tamanho da amostra varia.

As amostras não precisam ter o mesmo tamanho (mas se esse for o caso, os cálculos ficam facilitados). Conta-se o número de não conformidades (c) da amostra e registra-se.

Assim, temos as seguintes fórmulas para cálculo das CC de u:

$$u_i = \frac{c_i}{n_i} \quad (92)$$

E temos a média de u dada por:

$$\bar{u} = \frac{\sum c}{\sum n} = \frac{c_1 + c_2 + c_3 + \dots + c_k}{n_1 + n_2 + n_3 + \dots + n_k} \quad (93)$$

$$\sigma_{ui} = \sqrt{\frac{\bar{u}}{n_i}} \quad (94)$$

Em que:

c_i = número de não conformidades na amostra i

n_i = tamanho da amostra i

k = número de subgrupos.

Assim, podemos calcular os limites de controle para o número de não conformidades por unidade como:

$$LC = \bar{u} \quad (95)$$

$$LSC = \bar{u} + 3\sigma_{ui} \quad (96)$$

$$LIC = \bar{u} - 3\sigma_{ui} \quad (97)$$

Podemos utilizar também o gráfico de “u” quando possuímos um tamanho variável na amostra, e temos ainda que se a diferença entre os tamanhos das amostras de cada subgrupo for pequena, ou seja, menor que 25% (<25%), então podemos considerar a média dos tamanhos das amostras no cálculo do desvio padrão, e a nova fórmula fica:

$$\sigma_u = \sqrt{\frac{\bar{u}}{\bar{n}}} \quad (98)$$

Vamos a um exemplo de aplicação de carta de controle para números de não conformidades por unidade.

Uma linha de produção é avaliada por lotes de produção e é contado o número de não conformidades (defeitos superficiais observados) existentes no lote. A tabela a seguir apresenta os resultados do levantamento.

TABELA 24 – DADOS DO PROBLEMA

LOTE	NÚMERO DE UNIDADES	NÚMERO DE NÃO CONFORMIDADES	NÚMERO DE NÃO CONFORMIDADES POR UNIDADE
1	15	20	1,333
2	14	18	1,286
3	14	22	1,571
4	14	23	1,643
5	14	21	1,500
6	14	20	1,429
7	15	18	1,200
8	15	22	1,467
9	15	19	1,267
10	14	22	1,571
11	12	23	1,917
12	15	18	1,200
SOMA	171	246	

FONTE: O autor

Assim, utilizaremos as seguintes fórmulas:

$$\bar{u} = \frac{\sum c}{\sum n} = \frac{c_1 + c_2 + c_3 + \dots + c_k}{n_1 + n_2 + n_3 + \dots + n_k} \quad (93)$$

Menor tamanho de amostra=14
Maior tamanho de amostra=16
Diferença tamanho de amostra= 2

$$\bar{n} = \frac{\sum n}{k} = \frac{172}{12} = 14,250$$

$$\frac{3}{14,25} = 0,2105$$

Como a variação dos tamanhos das amostras de cada subgrupo é menor que 25% (<25%), então podemos considerar a fórmula:

$$\sigma_u = \sqrt{\frac{\bar{u}}{n}} \quad (98)$$

$$LC = \bar{u} \quad (95)$$

$$LSC = \bar{u} + 3\sigma_{ui} \quad (96)$$

$$LIC = \bar{u} - 3\sigma_{ui} \quad (97)$$

Logo:

$$\bar{u} = \frac{\sum c}{\sum n} = \frac{246}{171} = 1,439$$

$$\sigma_u = \sqrt{\frac{1,439}{14,25}} = 0,318$$

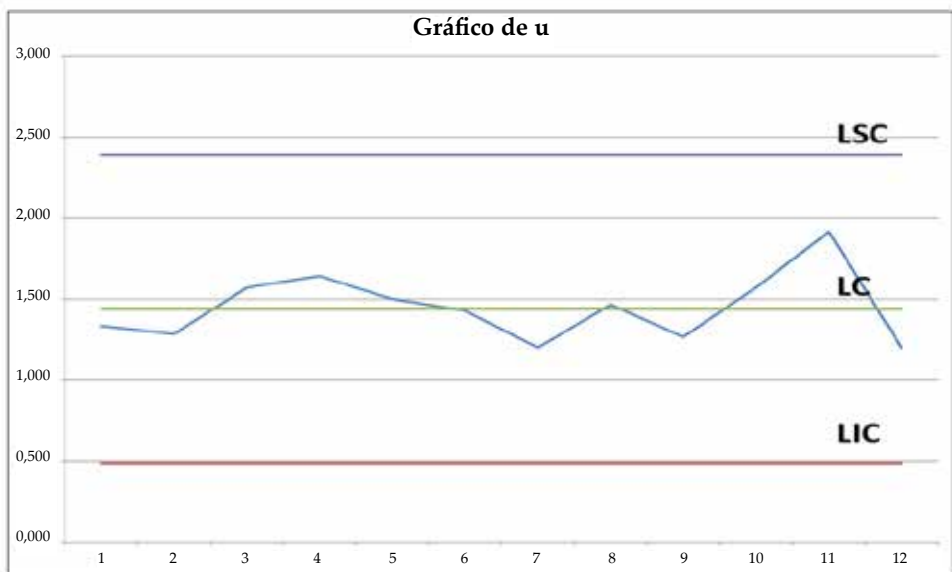
$$LC = 1,439$$

$$LSC = 1,439 + 3 \times 0,318 = 2,392$$

$$LIC = 1,439 - 3 \times 0,318 = 0,485$$

E assim podemos fazer o gráfico de controle, o qual está representado a seguir.

GRÁFICO 22 – DE U

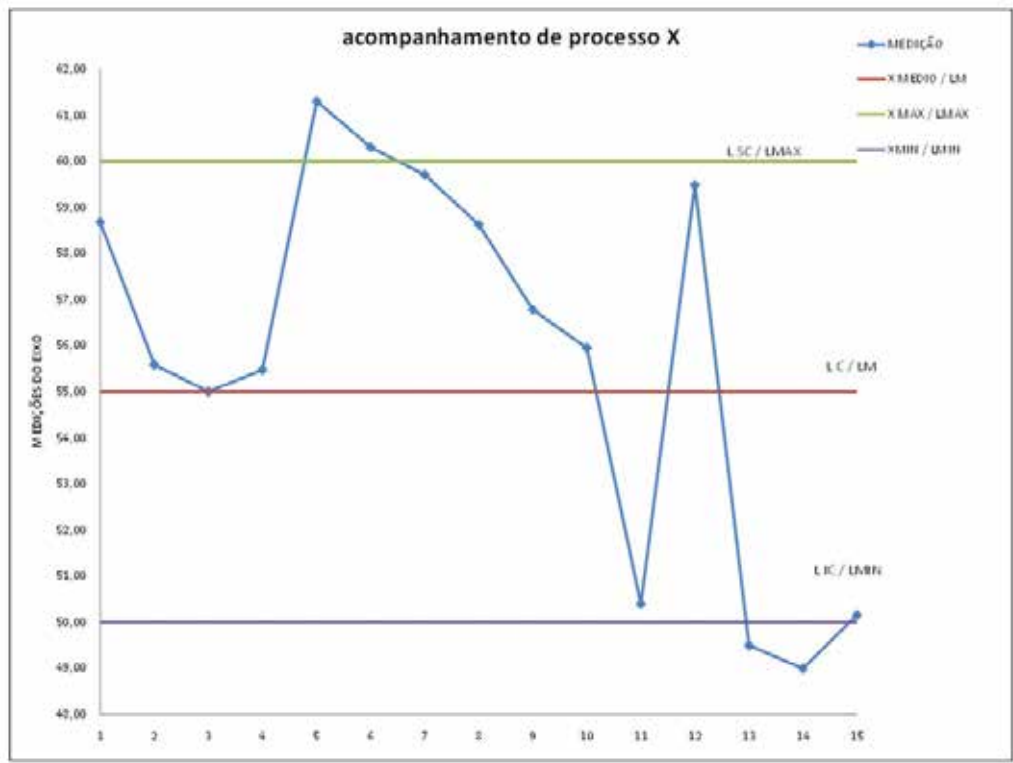


FONTE: O autor

Terminamos agora de apresentar os principais tipos e formas de dimensionamento de cartas de controle, também conhecidas como gráficos de controle. Se você reparou, tivemos o cuidado para que todas as medições de controle estivessem dentro dos limites de controle, mas na prática não é isto o que ocorre, é muito comum ocorrerem situações que fogem dos limites, ou ainda, que estão dentro de limites problemáticos apresentados pelos critérios estabelecidos pela norma ISO 8258 para a interpretação das cartas de controle de Shewhart.

O gráfico a seguir apresenta algumas situações de descontrole do processo, que nós iremos estudar na próxima unidade.

GRÁFICO 23 – CARTA DE CONTROLE COM DADOS PROBLEMÁTICOS



FONTE: O autor

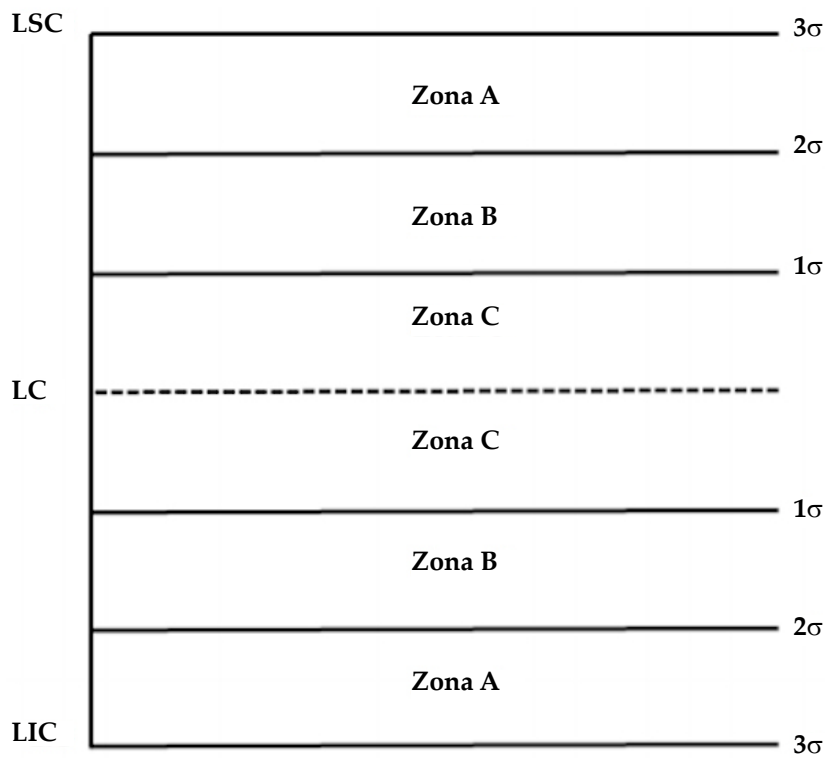
Esperamos que você tenha gostado deste tópico, pois ele complementa o dimensionamento das cartas de controle, e você já percebeu que ainda temos alguns pontos importantes para estudar, pois quase sempre aparecem dimensões fora de controle e precisamos agir para evitá-las e eliminá-las do sistema, se possível.

Apresentamos a seguir os principais critérios apresentados na norma ISO 8258, também conhecida como *Shewhart Control Charts*, que estabelece os critérios de decisão em processos de CEP que apresentam possibilidades de que o processo saia do controle.

- a) 1 ou mais pontos acima do LSC ou abaixo do LIC;
- b) 9 pontos consecutivos na zona C ou no mesmo lado do LC;
- c) 6 pontos consecutivos, todos aumentando ou todos diminuindo;
- d) 14 pontos consecutivos alternando para cima e para baixo;
- e) 2 de 3 pontos consecutivos na zona A ou além dela;
- f) 4 de 5 pontos consecutivos na zona B ou além dela;
- g) 15 pontos consecutivos na zona C (tanto acima quanto abaixo do LC);
- h) 8 pontos consecutivos na zona B (OLIVEIRA et al., 2013, p. 19).

A figura a seguir traz uma representação esquemática dos campos conforme definido por Shewhart:

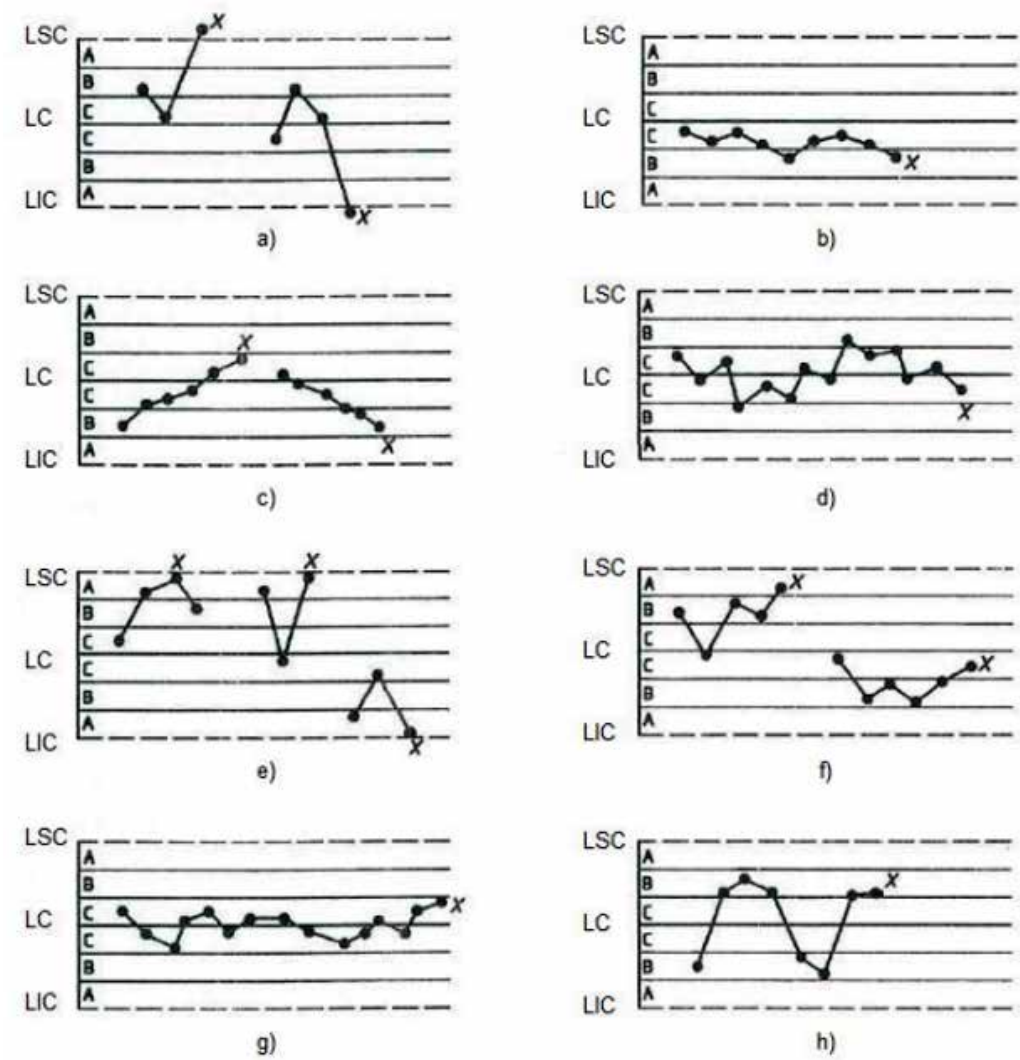
FIGURA 21 – FLUXOGRAMA DE AUXÍLIO PARA DEFINIÇÃO DO TIPO DE GRÁFICO DE CONTROLE A SER UTILIZADO



FONTE: Oliveira et al. (2013, p. 19)

Oliveira et al. (2013) ainda apresentam uma exemplificação dos oito critérios apresentados acima, que servem de apoio ao acadêmico para entender os critérios de análise na implantação e controle dos processos, os quais apresentamos na figura a seguir:

FIGURA 22 – EXEMPLOS DE PROCESSOS FORA DE CONTROLE ESTATÍSTICO



FONTE: Norma ISO 8258 (apud Oliveira et al., 2013, p. 20)

Esses critérios servem de apoio ao engenheiro na definição de situações que exigem um acompanhamento mais próximo dos processos em controle e auxiliam a identificar possíveis pontos que poderão acarretar perda de controle no processo.

LEITURA COMPLEMENTAR

10 VANTAGENS DAS CARTAS DE CONTROLE PARA MELHORAR A QUALIDADE NA INDÚSTRIA

Muitas indústrias já descobriram que ter à mão gráficos estatísticos com dados reais sobre a manufatura pode fazer toda a diferença aos esforços de elevar a qualidade de produção. As chamadas “cartas de controle” funcionam como “vozes” dos processos produtivos, ajudando na tarefa de administrá-los com mais eficiência, agir rapidamente diante de eventuais mudanças, identificar previamente requerimentos técnicos ou mesmo corrigir potenciais riscos antes que interferiram nos resultados.

A questão é que muitas empresas ainda não têm conhecimento de como combinar competências técnicas para criar esse controle estatístico e engajar suas equipes na missão de usufruir de seus benefícios. A seguir, listamos dez atributos inerentes às cartas de controle voltados à melhoria da qualidade e da produtividade de plantas industriais:

1. Acesso e leitura de dados: Uma das barreiras iniciais para implementar o controle estatístico de processos é a cultura. É preciso ensinar equipes a interpretar gráficos, tornando-as experts na compreensão de eventuais mudanças ocorridas ao longo dos processos. Ter o acesso e saber ler os dados faz com a que estejam devidamente aptas a executar ajustes, antes que problemas aconteçam e prejudiquem o negócio.
2. Disponibilidade de informações-chave: Para maximizar a eficiência das cartas de controle é fundamental certificar que as principais variáveis dos processos de chão de fábrica, especialmente aquelas que impactam a saída de produtos, estejam devidamente mapeadas para compor os gráficos estatísticos. Se as cartas de controle incluírem dados incorretos, certamente não irão agregar qualquer valor à gestão da fábrica.
3. Medições confiáveis: É preciso saber interpretar gráficos estatísticos e converter as informações em mudanças significativas, à performance do chão de fábrica. Caso a medição não seja correta, eventos relevantes podem passar por despercebidos, como deixar de identificar produtos conformes e não conforme. Especialistas recomendam que antes da aplicação, o ideal é validar características importantes ao controle estatístico do processo como discriminação, precisão, reprodução, linearidade, estabilidade, entre outras. Portanto, uma medição eficiente é pré-requisito às cartas de controle.
4. Gráficos customizados: O controle estatístico pode abranger diferentes tipos de gráficos. No entanto, gestores precisam optar por aqueles que melhor se adequam às aplicações específicas da sua manufatura. Fatores como diversidade de dados mapeados, volume e características de produção, devem ser considerados para uma boa escolha do tipo de representação gráfica. Lembre-se: nem sempre os gráficos tradicionais podem ser aplicados em métodos modernos de fabricação. Assim, conte com a ajuda de um especialista para elaborar cartas de controle, a partir de técnicas e gráficos alternativos apropriados a sua indústria.

5. Apontamento dos limites: Ao observar uma carta de controle é essencial atentar às mudanças nos processos, apontadas quando tais dados estejam além dos limites de controle ou dos limites de especificação – aqueles referentes à conformidade dos produtos, como a dimensão de uma peça. Assim, por meio das cartas de controle, é possível identificar cada limite e tomar ações assertivas para ajustes ligados ao processo em si ou ao produto.
6. Coleta eficiente de dados: Gestores se beneficiam da coleta precisa de dados, incluindo até ruídos capazes de causar possíveis danos à produção. Para tanto, é preciso expertise na definição e teste de amostras, determinadas para gerar tais informações e contemplar as variações desejadas relacionadas à manufatura.
7. Amostras do tamanho ideal: Você sabia que o tamanho da amostra influencia diretamente na composição do gráfico e, conseqüentemente, na detecção de mudanças nos processos produtivos, como um deslocamento médio? Amostras exatas são dimensionadas conforme o número de variáveis determinadas para a criação dos gráficos de controles, usados para sinalizar com precisão possíveis alterações de produção.
8. Economia e melhoria em processos: A automação da produção proporciona prevenções automáticas, alertando operadores para agir prontamente em casos especiais e ir além do simples monitoramento. Nestas situações, o sistema de cartas de controle nas linhas de produção pode evitar despesas desnecessárias, como inspeções adicionais e retrabalhos, inclusive minimizar falhas humanas.
9. Empoderamento do operador: As cartas de controle contribuem para capacitar operadores das máquinas. Adicionalmente, ao contar com os gráficos estatísticos, os operadores podem atuar diretamente na identificação e remoção de variáveis especiais. Assim, ele tem mais autonomia para contribuir com melhorias constante ao aperfeiçoamento dos processos.
10. Identificação das causas raiz e ajustes precisos: Cartas de controle com gráficos estatísticos bem estruturados, permitem que gestores visualizem fontes de problemas e tenham soluções apropriadas para aplicar em mudanças precisas, no tempo e local exatos, com o intuito de resolvê-los com rapidez.

FONTE: Disponível em: <<http://www.blsistemas.com.br/10-vantagens-das-cartas-de-controle-para-melhorar-a-qualidade-na-industria/>>. Acesso em: 10 ago. 2017.

RESUMO DO TÓPICO 3

Neste tópico, você aprendeu que:

- Atributos são características que podem assumir apenas dois valores, ou seja, conforme ou não conforme, não existe outra condição a ser considerada na amostragem.
- **Carta p:** trabalha a fração de não conformes, cujas amostras podem inclusive ter tamanhos diferentes.

$$p = \frac{d}{n} \quad (76)$$

$$\bar{p} = \frac{d_1 + d_2 + d_3 + \dots + d_k}{n_1 + n_2 + n_3 + \dots + n_k} \quad (77)$$

$$\sigma_{p_i} = \frac{\sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})}}{\sqrt{n_i}} \quad (78) \quad (n = \text{variável})$$

$$\sigma_p = \frac{\sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})}}{\sqrt{n}} \quad (82) \quad (n = \text{constante})$$

Os limites de controle são dados por:

$$LC = \bar{p} \quad (79)$$

$$LSC = \bar{p} + 3\sigma_{p_i} \quad (80)$$

$$LIC = \bar{p} - 3\sigma_{p_i} \quad (81)$$

- **Carta np:** trabalha com o número de unidades não conformes e as amostras devem ter sempre o mesmo tamanho.

$$n\bar{p} = \frac{d_1 + d_2 + d_3 + \dots + d_k}{k} \quad (82)$$

$$\sigma_{np} = \sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})} \quad (83)$$

$$LC = n\bar{p} \quad (84)$$

$$LSC = n\bar{p} + 3\sigma_{np} \quad (85)$$

$$LIC = n\bar{p} - 3\sigma_{np} \quad (86)$$

- **Carta c:** trabalha com situações em que temos o número de não conformidades para analisar e as amostras devem ter sempre o mesmo tamanho:

$$\bar{c} = \frac{c_1 + c_2 + c_3 + \dots + c_k}{k} \quad (87)$$

$$\sigma_c = \sqrt{\bar{c}} \quad (88)$$

Os limites de controle são calculados por:

$$LC = \bar{c} \quad (89)$$

$$LSC = \bar{c} + 3\sigma_c \quad (90)$$

$$LIC = \bar{c} - 3\sigma_c \quad (91)$$

- **Carta u:** quando analisamos o número de não conformidades por unidade as amostras podem ter tamanhos diferentes.

$$u_i = \frac{c_i}{n_i} \quad (92)$$

$$\bar{u} = \frac{\sum c}{\sum n} = \frac{c_1 + c_2 + c_3 + \dots + c_k}{n_1 + n_2 + n_3 + \dots + n_k} \quad (93)$$

$$\sigma_{ui} = \sqrt{\frac{\bar{u}}{n_i}} \quad (94)$$

Os limites de controle podem ser calculados por:

$$LC = \bar{u} \quad (95)$$

$$LSC = \bar{u} + 3\sigma_{ui} \quad (96)$$

$$LIC = \bar{u} - 3\sigma_{ui} \quad (97)$$

Diferença entre os tamanhos das amostras de cada subgrupo for pequena, ou seja, menor que 25% (<25%)

$$\sigma_u = \sqrt{\frac{\bar{u}}{\bar{n}}} \quad (98)$$

AUTOATIVIDADE



Vamos exercitar um pouco sobre o assunto estudado desta unidade! Apresentamos a seguir dois exercícios para o seu reforço de aprendizagem.

- 1 A linha de produção de alto-falantes está sob auditoria, e em 45 amostras (aqui é o subgrupo), com 120 peças cada, apresentou as seguintes quantidades de peças defeituosas, que estão apresentadas na tabela.

Amostra	di	Amostra	di	Amostra	di
1	3	16	15	31	10
2	15	17	6	32	10
3	7	18	13	33	4
4	9	19	9	34	0
5	12	20	4	35	15
6	8	21	4	36	12
7	2	22	4	37	2
8	14	23	8	38	4
9	17	24	12	39	8
10	1	25	15	40	9
11	9	26	8	41	6
12	9	27	2	42	15
13	18	28	0	43	17
14	4	29	7	44	13
15	11	30	9	45	7

Com base nos dados, elabore a CC de np.

2 Os engenheiros da empresa XXtools estão analisando a linha de produção de fundidos e foi levantada a seguinte tabela de amostras e falhas de produtos em cada conjunto amostral. Elabore a carta de controle do processo.

LOTE	NÚMERO DE UNIDADES	NÚMERO DE NÃO CONFORMIDADES	NÚMERO DE NÃO CONFORMIDADES POR UNIDADE
1	100	18	
2	95	18	
3	98	15	
4	105	20	
5	103	21	
6	97	20	
7	94	18	
8	103	22	
9	99	19	
10	100	22	
11	100	23	
12	104	18	
SOMA			

ANÁLISE DAS CARTAS DE CONTROLE, PROBABILIDADE E CAPABILIDADE

OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM

A partir desta unidade, o acadêmico será capaz de:

- identificar se os processos estudados estão sob controle;
- calcular os índices de capacidade dos processos;
- conhecer aplicações práticas de controle estatístico de controle (CEP);
- conhecer os parâmetros que identificam os processos em descontrole nas cartas de CEP;
- aplicar o CEP como ferramenta de controle em processos fabris ou na área de serviços;
- implantar o processo de CEP em empresas.

PLANO DE ESTUDOS

Esta unidade está dividida em três tópicos. No decorrer da unidade você encontrará autoatividades com o objetivo de reforçar o conteúdo apresentado.

TÓPICO 1 – INTRODUÇÃO AO ESTUDO DA CAPACIDADE DO PROCESSO

TÓPICO 2 – CAPACIDADE DO PROCESSO

TÓPICO 3 – APLICAÇÃO DO CEP

INTRODUÇÃO AO ESTUDO DA CAPACIDADE DO PROCESSO

1 INTRODUÇÃO

Em todas as atividades os fornecedores devem satisfazer requerimentos da qualidade estabelecidos pelos clientes. Para satisfazer esses requerimentos há necessidade de que as mais significativas características da qualidade do processo tenham valores dentro de limites de tolerância especificados. O objetivo da Análise de Capacidade é diagnosticar se os processos são capazes de satisfazer os requerimentos dos clientes (PORTAL ACTION, s.d., s.p.).

Prezado acadêmico, você já deve estar ciente de que não conseguimos produzir duas peças exatamente iguais, pois existem diversos fatores que podem influenciar o processo em si e gerar variação dimensional, ou uma variação de outra característica qualquer da peça. A variabilidade é corriqueira em qualquer processo produtivo ou de prestação de serviço, independentemente se temos um robô na linha de produção, ou se temos o ser humano operando o equipamento.

Sugerimos que você volte e releia na Unidade 1 o subtópico que trata do tema variabilidade, o qual estuda as causas comuns e as causas especiais que influenciam o processo, sempre lembrando que estamos trabalhando com modelos estatísticos, logo, precisamos atentar que somente causas comuns conseguem garantir os padrões estatísticos necessários para a utilização das cartas de controle.

Vamos aprender a analisar as cartas de controle para identificar se o processo está sob controle, ou está dando sinais de que poderá sair fora de controle, através dos padrões de análise definidos por Shewhart e apresentados na norma ISO 8258 para identificar tendências que permitirão identificar possíveis problemas de processo.

Nesta unidade, buscaremos identificar pontos que levem à solução de problemas nos processos antes que eles ocorram, através da interpretação das cartas de controle que aprendemos a calcular na Unidade 2.

Vamos lá aprender um pouco mais...

2 CAPACIDADE DO PROCESSO

Caro acadêmico, são muitos os fatores que podem influenciar um processo, conseqüentemente, influenciam nos seus resultados. Se falarmos de processos produtivos, temos muitas variáveis que podem influenciar, entre as principais estão os equipamentos, ferramentais, o homem, entre outros (vide lista detalhada na figura a seguir). Porém, quando falamos de processos relacionados a serviços e outros que não ligados à produção de produtos, precisamos atentar em que fatores circunstanciais e ligados à especificidade do processo podem gerar variações nas capacidades de entrega de resultados do mesmo.

Temos muitas ferramentas para analisar os processos não ligados a produtos e produção, que podem ajudá-lo a identificar as causas raízes de geração de problemas de capacidade de entrega de resultados adequados, entre os quais podemos citar, conforme Pieritz (2010a) e Pradella, Furtado e Kipper (2016): PDCA (*Plan, Do, Check e Action*), Histograma, Fluxograma, Gráfico de Pareto, Curva ABC, Diagrama de Ishikawa, também conhecido como diagrama de causa e efeito, *Brainstorming*, Análise de oportunidades, Matriz SWOT ou em português PFOA (pontos fortes, pontos fracos, oportunidades e ameaças), Diagrama de Árvores e suas vertentes, gráfico de Gantt, gráfico de radar, Análise das cinco forças competitivas de Porter, Análise do ciclo de vida, QFD (*Quality Function Deployment* – Desdobramento da função qualidade), Método de analogias, Método de análise de problemas, Ferramenta de análise de falhas – FMEA, BPM - *Business Process Modeling* (Gerenciamento de processos) etc., além das ferramentas automatizadas atuais disponibilizadas por diversos *softwares* de mercado e, mais recentemente, inclusive com a AI – Inteligência Artificial.



Prezado acadêmico, conhecer as ferramentas disponíveis no mercado para solução de problemas é fundamental ao engenheiro e aos gestores, por isso recomendamos a leitura de livros, assim como se atualizar constantemente com cursos. Recomendamos a leitura das seguintes bibliografias se você quiser se aprofundar sobre o tema:

FALCONI, Vicente. Gerenciamento pelas diretrizes. Belo Horizonte, MG: Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG, 1996.

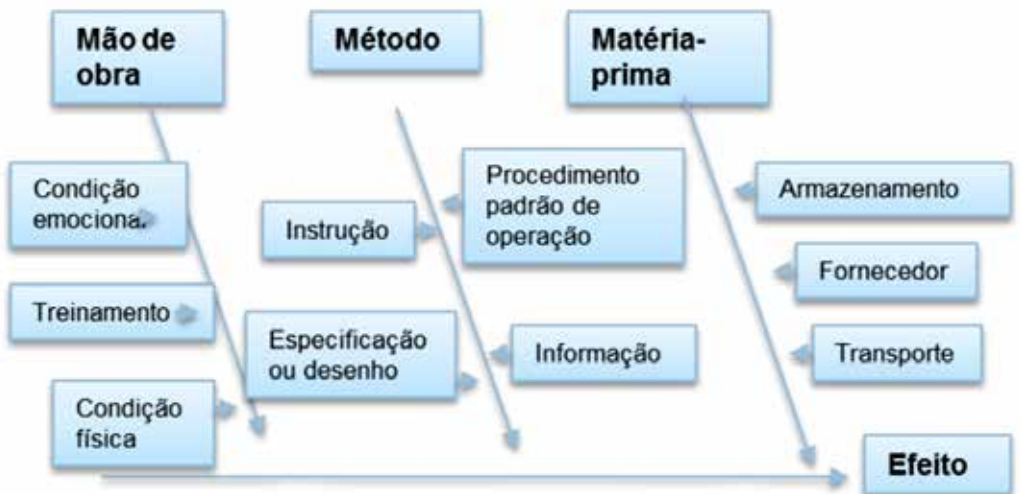
MATHIAS, W. F.; WOILER, S. Projetos: planejamento, elaboração e análise. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

PRADELLA, Simone; FURTADO, J. C.; KIPPER, L. M. Gestão de processos: da teoria à prática. São Paulo: Atlas, 2016.



Quando analisamos os processos, podemos adaptar a ferramenta chamada de diagrama de Ishikawa, também conhecida como diagrama de Causa e Efeito, que trabalha a análise dos seis Ms (Mão de obra, Método, Matéria-prima, Máquina, Medição e Meio ambiente) que influenciam o efeito (processo) estudado para nos auxiliar na análise. Vide exemplo de aplicação na figura a seguir para um processo de fabricação de uma peça “X”.

FIGURA 23 – EXEMPLO DE ANÁLISE DE PROCESSO UTILIZANDO O DIAGRAMA DE CAUSA E EFEITO

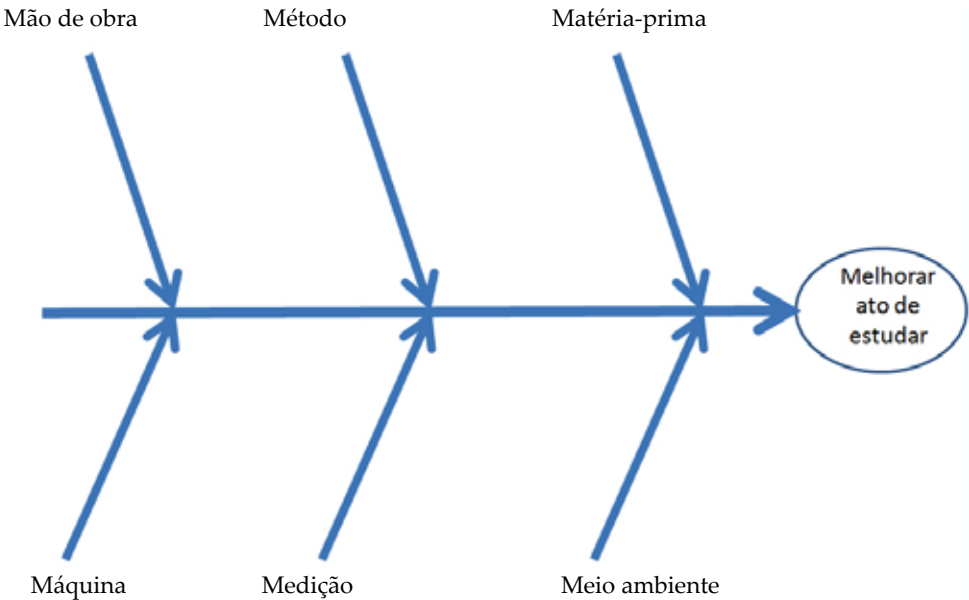




FONTE: Ribeiro e Caten (2012, p. 7)



UNI AUTOATIVIDADE: Como o nosso objetivo é fazer com que você aprenda fazendo, propomos um exercício de aplicação do diagrama de causa e efeito em um processo conhecido por você, ou seja, o ato de estudar. Elabore um diagrama de causa e efeito para o problema: como melhorar o resultado do ato de estudar? Preencha o diagrama proposto abaixo:



BOM EXERCÍCIO!

Como você pode ver, através do exercício proposto podemos utilizar as ferramentas apresentadas anteriormente, para analisar qualquer tipo de processo e assim achar os pontos cruciais que podem estar influenciando a capacidade de entrega de resultados adequados pelo mesmo.

Agora, podemos afirmar que a capacidade dos processos, como estudamos, está relacionada aos elementos que inserimos no processo, assim, se inserimos uma mão de obra qualificada, teremos menor risco de sua influência no resultado do que se estivéssemos alocando uma mão de obra desqualificada; se estivermos analisando os trabalhos de um setor de lançamentos de pedidos no sistema, se temos computadores modernos e ágeis, teremos melhor resultado do que se estivermos trabalhando com computadores antigos. E assim ocorre em todos os processos, se tenho ótimos *inputs*, logo terei mais chances de ótimos *outputs*, assim, pela fórmula da produtividade:

$$PRODUTIVIDADE = \frac{\text{MEDIDA DO OUTPUT}}{\text{MEDIDA DO INPUT}} \quad (99)$$

Como colocado no ditado popular: “se entra lixo, sai lixo”, frase tão comum em cursos de sistemas de informação. Precisamos reforçar que em “processos” esta frase é de suma importância, pois se você alimenta o processo com máquinas antigas/ultrapassadas, ferramentas inadequadas, mão de obra desqualificada, matéria-prima de segunda etc., você obterá resultados pífios, nulos, inadequados, ou seja, se você não quiser que seu processo produza lixo, não o alimente com lixo. **Para melhorar os seus resultados, comece melhorando os seus *inputs*.**

3 A ORGANIZAÇÃO INDUSTRIAL E A ENGENHARIA INDUSTRIAL

Atualmente, vimos no mundo e no Brasil um decréscimo da participação das organizações industriais no montante do PIB (Produto Interno Bruto) gerado, mas este fato não quer dizer que as indústrias estão desaparecendo, mas sim que elas estão se tornando mais eficientes e produtivas. Vimos as indústrias do segmento automotivo, confecções, alimentícia, petrolífera, eletrodomésticos, informática, de transformação geral, tornando-se cada vez mais presentes no consumo diário da humanidade.

A organização industrial tem mostrado a sua importância para o bem-estar da humanidade, e vemos cada vez maiores pressões na engenharia industrial, em todos os seus focos, para suprir com excelência as indústrias com tecnologias, ferramentas e máquinas, processos que atendam às demandas.

As organizações industriais estão cada vez mais competitivas e sintonizadas com as tendências do mercado de consumo, por conseguinte, a engenharia industrial deverá dar suporte a esta tendência.

Na engenharia industrial estamos preocupados em melhorar os processos industriais e a capacidade dos mesmos, pois hoje o sucesso está nos detalhes que nos ajudam a produzir cada vez mais produtos com menos materiais.

Assim, definimos engenharia industrial como todas as atividades relacionadas à área industrial, envolvendo as suas tecnologias, processos, máquinas, ferramentas e outros acessórios que fazem as organizações industriais produzirem e serem competitivas no mercado.

Buscar a capacidade dos processos é função primeira da engenharia industrial, englobada pelos diversos conhecimentos específicos das diversas áreas da engenharia envolvidas no projeto e fabricação dos produtos pela indústria.



Prezado acadêmico, a engenharia industrial tem se tornado um elemento importante para a competitividade das indústrias, pois temos visto muitas indústrias fecharem as suas portas principalmente por falta de competitividade e obsolescência de seus parques fabris, fato este muitas vezes reforçado pelo comodismo de sua equipe de engenheiros.



No próximo tópico, você irá aprender mais sobre os índices de capacidade e o seu cálculo.

A Leitura Complementar trata sobre sistemas modernos de produção, o texto traz um conceito interessante chamado de “espiral do conhecimento”, que mostra como o processo evolui, e nos faz refletir sobre a importância da evolução dos conhecimentos dentro das organizações industriais referentes aos seus processos.

LEITURA COMPLEMENTAR**ASPECTOS SOBRE OS SISTEMAS MODERNOS DE PRODUÇÃO**

Você já notou que a produção nas empresas sofreu diversas mudanças e melhorias nos últimos anos, e num futuro próximo há muitas outras ainda para acontecer. Hoje, já convivemos com tecnologias para trabalhar com “fábricas escuras”, ou seja, fábricas com elevado grau de automação, em que a intervenção do ser humano é mínima.

Para Slack, Chambers e Johnston (2002 apud PIERITZ, 2010), há cinco dimensões produtivas para desenvolvermos linhas de produção melhores: qualidade, rapidez, confiabilidade, flexibilidade e custo. A dimensão qualidade tem a ver com os atributos do produto, sistemas de garantia de qualidade, e outros ligados à concepção do produto e do processo produtivo. Quando falamos de rapidez, referimo-nos à rapidez de fabricação e entrega do produto pela linha de produção. A confiabilidade relaciona-se à confiabilidade do produto entregue, à confiabilidade do processo produtivo, garantindo os resultados da linha de produção, sem retrabalhos e no prazo. A dimensão flexibilidade está relacionada à flexibilidade da linha de produção em relação à troca de produto, disponibilidade de se fazer uma variedade de produtos em uma mesma linha de produção. Por último, temos a variável custo, essencial para um processo produtivo. Atualmente, verificamos uma redução crescente dos custos de produção devido às novas tecnologias produtivas e de produtos.

A inovação dos processos produtivos nas organizações decorre dos avanços tecnológicos desenvolvidos nas novas máquinas e equipamentos, embora somente a aquisição destes não garanta uma continuidade evolutiva das linhas de produção. Conforme Slack, Chambers e Johnston (2002 apud PIERITZ, 2010), dentro das fábricas também há geração de conhecimentos das mais diversas formas, o que é fundamental para a inovação e evolução dos processos de produção.

A geração de conhecimento, através do conceito de espiral do conhecimento, foi inicialmente introduzida por Nonaka e Takeuchi (1997 apud PIERITZ, 2010). Os autores sugerem que o processo de conhecimento é crescente e em forma de espiral e passa por dois tipos de conhecimento, o tácito e o explícito. Conforme Pieritz (2002, p. 42):

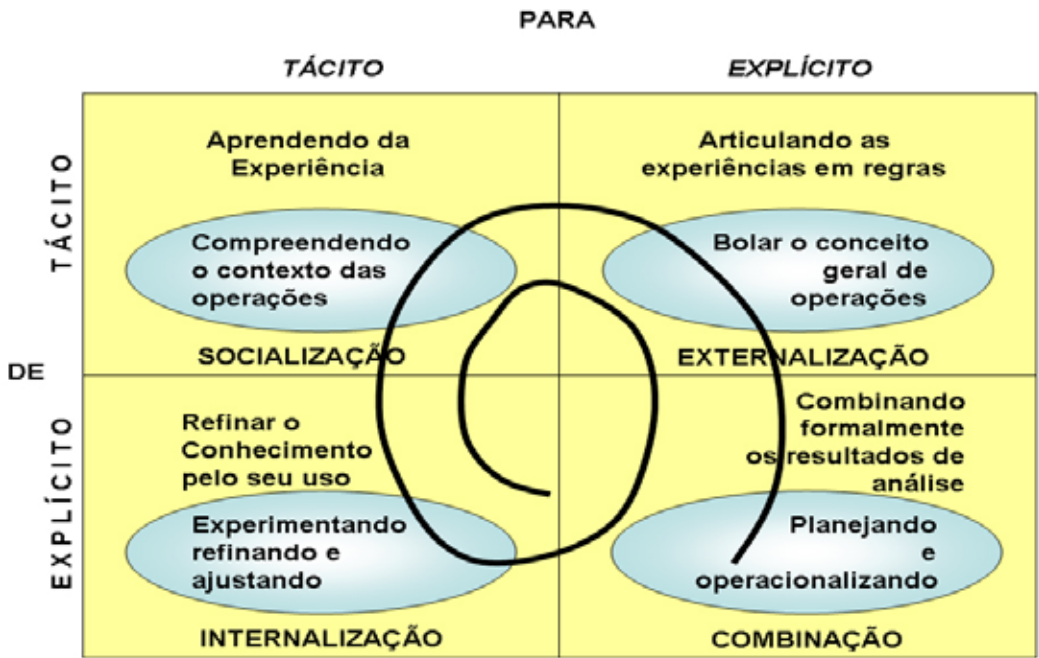
Conhecimento tácito é o conhecimento representado pelas experiências individuais, que é trocado e compartilhado diretamente através do contato pessoal, e certamente mais difícil de ser transmitido. Conhecimento explícito é o conhecimento formal da organização, que pode ser encontrado nas formalizações que as organizações têm sobre si mesmas, tais como organogramas, fluxos internos, estatutos,

missão, áreas de atuação etc. Também representa o conhecimento que tradicionalmente tem sido manipulado através da tecnologia da informação, e pode ser encontrado nos documentos de qualquer organização, como relatórios, artigos, manuais, bancos de dados, vídeos etc.

Hoje, uma das funções da tecnologia da informação está no direcionamento à captação do conhecimento tácito e sua transformação em conhecimento explícito, função essa que foi considerada sem importância durante muito tempo, embora o conhecimento tácito e o conhecimento explícito representem igual valor no conjunto de conhecimentos da organização.

Para Slack, Chambers e Johnston (2002 apud PIERITZ, 2010), a geração de conhecimento na linha de produção está representada pela espiral do conhecimento, na qual ocorre a interação entre os tipos de conhecimento.

FIGURA 51- CRIAÇÃO DE CONHECIMENTO EM ADMINISTRAÇÃO DA PRODUÇÃO



FONTE: Slack, Chambers e Johnston (2002, p. 710 apud PIERITZ, 2010)

Conforme Ritzman e Krajewski (2004 apud PIERITZ, 2010), o conhecimento e a estratégia de tecnologia produtiva podem ser uma vantagem competitiva para as organizações, trazendo benefícios para a organização nas cinco dimensões (qualidade, rapidez, confiabilidade, flexibilidade e custo) apresentadas por Slack (2002 apud PIERITZ, 2010).

A modernidade, que envolve a produção em nossas organizações, conforme Pieritz (2010), pode ser influenciada por três tipos de evolução tecnológica: inovação em produtos; inovação em máquinas e equipamentos e inovação em sistemas.

A inovação em produtos, em máquinas e equipamentos está sujeita às novas tecnologias que estão surgindo no mercado, as quais precisam ser acompanhadas pelas empresas para que não fiquem defasadas, tanto em relação a características técnicas dos produtos oferecidos, como para atendimento do público consumidor, a um custo aceitável.

A modernidade dos equipamentos e máquinas está ligada, nos últimos anos, à automação dos processos produtivos com os “comandos numéricos”. Estamos vivenciando um novo foco na robotização das linhas de produção. Os robôs industriais existem há alguns anos, porém na atualidade estão sendo incorporados às linhas de produção de forma mais intensa, o que só deve aumentar nos próximos anos. Infelizmente, ou felizmente, as empresas que quiserem se manter competitivas no mercado deverão também seguir este caminho de automação e robotização das linhas de produção. É inadmissível uma empresa que não investe constantemente na modernização de sua linha de produção.

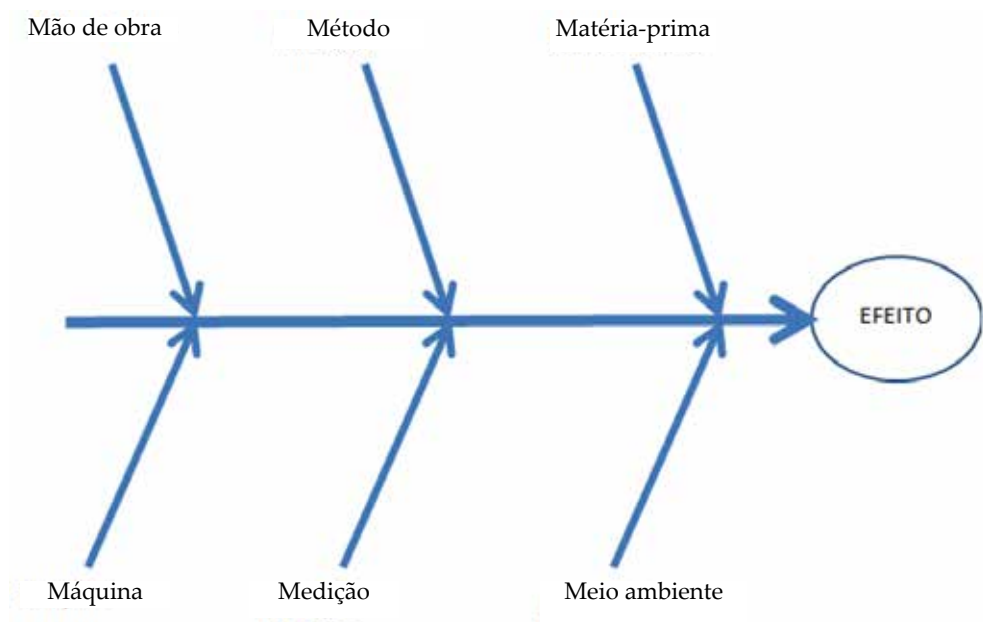
Um último aspecto a ser ressaltado relaciona-se à evolução dos sistemas e metodologias de produção que deram saltos evolutivos enormes nos últimos anos. Os sistemas de ERPs estão presentes em nosso dia a dia na produção, controlando e monitorando os processos produtivos. Consequentemente, os engenheiros se engalfinham em achar novas formas de tornar os sistemas de produção e controles mais ágeis para um melhor resultado das organizações.

FONTE: Adaptado de PIERITZ, Alfredo Netto. **Gestão de processos de produção**. Centro Universitário Leonardo da Vinci – Indaial, Grupo UNIASSELVI, 2010, p. 144 a 148.

RESUMO DO TÓPICO 1

Neste tópico, você aprendeu que:

- Existem muitos fatores que podem influenciar a capacidade de um processo e, consequentemente, influenciar os seus resultados.
- O Diagrama de Ishikawa, também conhecido como diagrama de Causa e Efeito, trabalha a análise dos 6 Ms (Mão de obra, Método, Matéria-prima, Máquina, Medição e Meio ambiente), que influenciam o efeito (processo).



- A capacidade dos processos está relacionada aos elementos que inserimos no processo.

$$PRODUTIVIDADE = \frac{\text{MEDIDA DO OUTPUT}}{\text{MEDIDA DO INPUT}} (99)$$

- As organizações industriais estão cada vez mais competitivas e sintonizadas com as tendências do mercado de consumo.
- Engenharia industrial pode ser conceituada como todas as atividades relacionadas à área industrial, envolvendo as suas tecnologias, processos, máquinas, ferramentas e outros acessórios que fazem as organizações industriais produzirem e serem competitivas no mercado.
- A capacidade dos processos é função primordial da engenharia industrial.



Neste tópico, aprendemos uma única fórmula, que é a fórmula que calcula a produtividade. Vamos exercitar um pouco sobre a sua aplicação! Apresentamos a seguir dois exercícios típicos sobre a sua aplicação.

1 Uma linha de produção de peças estampadas (estamparia de chapas de aço) utiliza como matéria-prima uma chapa com 145 g (*input*), e a peça final tem um peso de 85 g (resultado ou *output*).

- a) Qual a produtividade do processo?
- b) Está se estudando uma mudança no processo, em que se obterá duas peças em uma única operação, e o consumo de material será de 220 g. Qual a produtividade deste novo processo, e qual a sua opinião sobre a mudança?

2 Considerando ainda o exemplo anterior, vamos modificar a variável de análise para tempo.

Vamos considerar agora que com a opção A temos a produção de 1 peça por batida, e na opção B produzimos 2 peças por batida, e o tempo de batida é igual nas duas opções.

- a) Qual a produtividade do processo em relação às batidas da prensa?
- b) E se conseguíssemos fazer três peças por batida?

CAPACIDADE DO PROCESSO

1 INTRODUÇÃO

Os processos são capazes, até mostrarem que não são mais. Espero que descubramos a sua incapacidade antes que seja tarde.

Prezado acadêmico, a capacidade de um processo varia conforme o processo e o tipo de fábrica que estamos analisando. O tipo de equipamentos disponíveis na produção, máquinas novas, de última geração, ou máquinas mais antigas, ferramentais mais modernos, ou ferramentas mais antigas, mão de obra, entre outros, diversos fatores influenciam na capacidade do processo em análise.

Conforme aprendemos no tópico anterior, a produtividade e outros fatores influenciam no resultado e na qualidade final do produto. Só para exemplificar, vamos citar dois casos verídicos que mostram bem a situação de produtividade e qualidade dos produtos finais. Na primeira situação, uma empresa de estrutura metálica, em seus primórdios de trabalho, desenvolvia toda a sua produção, principalmente no processo de soldagem final das tesouras metálicas, com equipamento de solda elétrica, e tinha uma produção “X”. Logo na sequência dos trabalhos foi trocado o processo por solda Mig, que, mesmo sendo um pouco mais caro o processo, com os seus consumíveis, a produtividade aumentou entre 30% a 50%, gerando uma redução no tempo de produção, bem como uma redução do custo final de produção. Além, é claro, da melhoria da qualidade final do processo de soldagem, com soldas melhores.

O segundo caso foi ainda mais sintomático quanto à produtividade e capacidade de linhas de produção em relação à qualidade. Em uma visita técnica com alunos de Engenharia em um dos principais *players* do setor automotivo do Brasil, tivemos a oportunidade de conhecer a unidade fabril, onde havia ainda três gerações de linhas de montagem de automóveis. A linha mais antiga necessitava de mão de obra intensiva e havia em seus tempos áureos mais de 2.000 funcionários para uma produção “Y”. A segunda linha de montagem, que montava carros mais novos, tinha perto de 15 anos, e utilizava aproximadamente 800 funcionários para uma produção “Y” e em algumas situações com Y + 20% de produção no mesmo tempo, e com qualidade superior ao processo anterior. A terceira linha de montagem de carros estava recém-inaugurada, e foram investidos aproximadamente US\$ 1.000.000.000,00 e tinha capacidade “3Y” de produção com aproximadamente 500 funcionários na unidade, e qualidade internacional.

Atualmente, a engenharia industrial está em um novo limiar de evolução, com novos parâmetros de qualidade e produtividade, e precisamos trabalhar e desenvolver este novo patamar de capacidade dos processos.

Vamos agora estudar os procedimentos de cálculo do grau de capacidade dos processos!

2 CÁLCULOS DE CAPABILIDADE (C_p , C_{pk} , P_p e P_{pk})

Já estudamos anteriormente sobre as causas comuns e as causas especiais dos processos, sobre a montagem dos gráficos de controle (CC), e agora perguntamos: será que o processo que queremos implantar, o CEP, realmente está preparado e adequado para este fim?

Um dos pressupostos para a implantação do CEP em um processo é que possamos garantir que somente causas comuns estejam agindo sobre o mesmo, e que ele se aproxime o máximo possível de um evento estatístico com eventos aleatórios. Ribeiro e Caten (2012, p. 15) descrevem ainda que:

Após a eliminação de todas as causas especiais, o processo estará funcionando em controle estatístico. Um processo em controle estatístico ou estável é aquele que possui variabilidade associada apenas às causas comuns, ou seja, ele segue um certo padrão previsível ao longo do tempo. No entanto, esse padrão estável do processo pode ou não ser capaz de produzir peças que atendam às especificações de clientes ou de projeto. Uma vez eliminadas as causas especiais, pode-se então avaliar a real capacidade do processo comparando sua variabilidade (associada apenas às causas comuns) com as especificações.

Assim, Montgomery (2004) descreve que o objetivo da análise de capacidade de um processo visa identificar e diagnosticar se os mesmos apresentam capacidade de satisfazer os requerimentos de necessidades definidos pelos clientes. Paladini (2012) descreve que a capacidade do processo somente é estável quando nenhum fator estranho o esteja contaminando, ou seja, somente temos ação de causas naturais de variação. Conforme o Portal Action (s.d., s.p.), podemos definir a capacidade de um processo:

A partir de uma amostra de dados, queremos fazer predições sobre o comportamento do processo para que possamos avaliar se estes satisfazem os requerimentos dos clientes. Se os dados são retirados de um processo sob controle estatístico (estável), então os dados provenientes do processo devem seguir uma distribuição específica. Caso contrário, se o processo está fora de controle (instável), a distribuição pode variar com o tempo, e não apresentar um formato específico. O formato da distribuição dos dados nos fornece informação importante sobre o comportamento do processo, como as causas e a

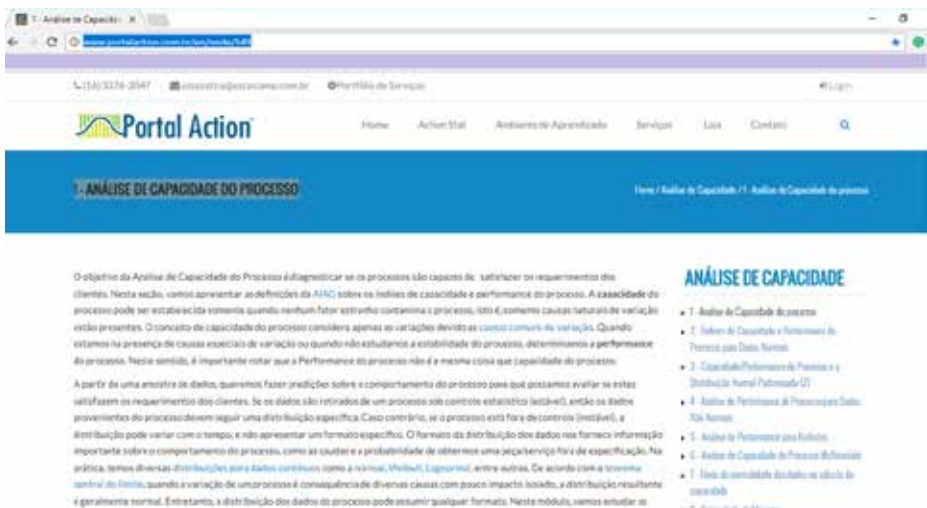
probabilidade de obtermos uma peça/serviço fora de especificação. Na prática, temos diversas distribuições para dados contínuos, como **normal**, **Weibull**, **Lognormal**, entre outras. De acordo com o teorema central do limite, quando a variação de um processo é consequência de diversas causas com pouco impacto isolado, a distribuição resultante é geralmente normal. Entretanto, a distribuição dos dados do processo pode assumir qualquer formato.



Prezado acadêmico, o tema capacidade de processo é bastante extenso, e para você aprofundar mais o seu conhecimento sobre o assunto, recomendamos alguns textos bons para o seu estudo que podem ser obtidos na internet. São eles:

ANÁLISE DA CAPACIDADE DE UM PROCESSO: UM ESTUDO DE CASO BASEADO NOS INDICADORES CP E CPK. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2011_tr_sto_136_863_19320.pdf>. Acesso em: 5 jul. 2017.

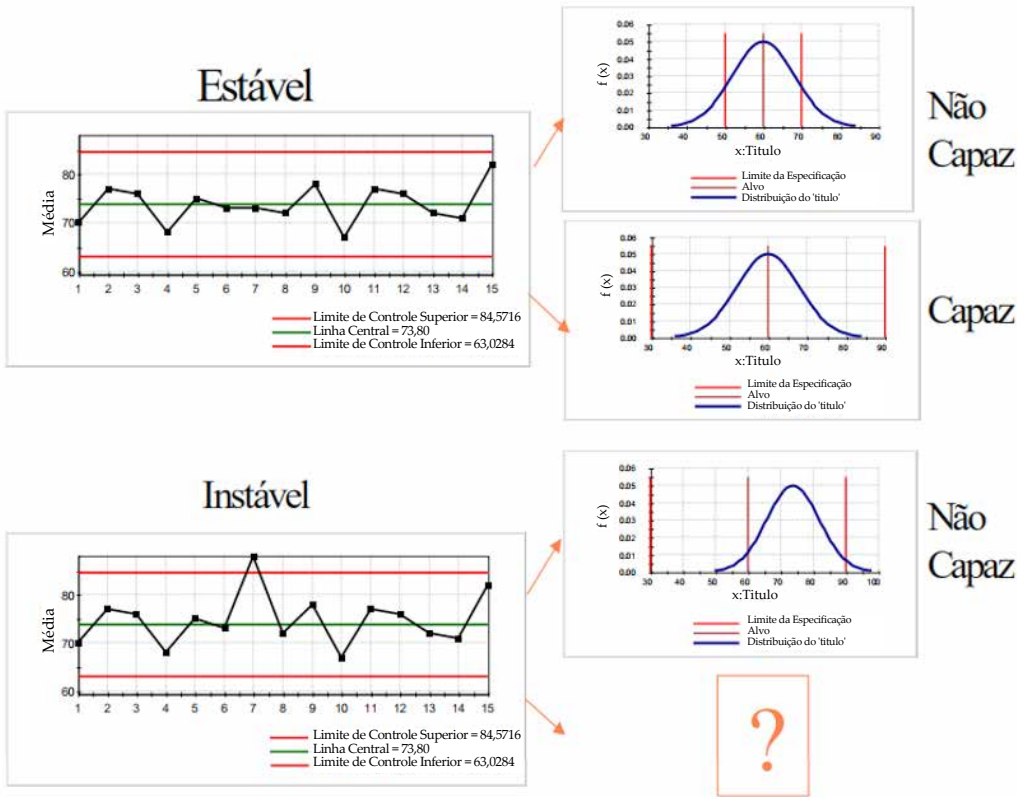
PORTAL ACTION: ANÁLISE DE CAPACIDADE DO PROCESSO. Disponível em: <<http://www.portalaction.com.br/en/node/549>>. Acesso em: 5 jul. 2017.



Montgomery (2004) descreve que a análise da capacidade do processo busca quantificar a variabilidade do processo permitindo comparar os dados coletados do processo com as especificações técnicas do produto, relatando a uniformidade em sua produção.

Conforme apresentado na figura a seguir, podemos entender melhor a questão de um processo estável *versus* um processo instável em relação aos dados estatísticos e à curva normal, mostrando como fica um processo capaz de um não capaz.

FIGURA 24 – EXEMPLO DE PROCESSO ESTÁVEL E PROCESSO INSTÁVEL



FONTE: Ribeiro e Caten (2012, p. 16)

Montgomery (2004) descreve que a análise da capacidade de um processo permite aos engenheiros:

1. Estudar e prever as tolerâncias aceitáveis do projeto do produto.
2. Modificar o projeto do produto conforme a capacidade do processo, adequando-o.
3. Definir os intervalos de monitoramento entre amostras para controlar o processo.
4. Definir as condições de desempenho para equipamentos novos.
5. Planejar a sequência de processos de produção quando existir variações de tolerâncias entre os processos.
6. Diminuir a variação em um processo de produção.

Assim, podemos afirmar que a avaliação da capacidade do processo só pode ser iniciada após termos eliminado todas as causas especiais e termos certeza de que a capacidade do processo está unicamente associada às causas comuns de variabilidade.

Vamos agora aprender a calcular os índices de capacidade de processo.

2.1 CÁLCULOS DE CAPABILIDADE (C_p , C_{pk})

Quando falamos em identificar se um processo é capaz ou não, precisamos separar as avaliações referentes a parâmetros de processo (variáveis e atributos) que serviram para qualificar o processo, mas que, necessariamente, não estão influenciando a qualidade do produto final daquelas características de qualidade (variáveis e atributos) que influenciam diretamente na obtenção da qualidade do produto final.

Precisamos identificar os parâmetros de processo e a sua variável (ou atributo) a ser monitorada no CEP, definindo, conforme Louzada e Diniz (2013), estas variáveis por:

- a) Tipo (nominal, maior ou menor-é-melhor).
- b) Unidade de medição (mm; m; pç; m³; l etc.).
- c) Valor-alvo e especificações (para os estudos de capacidade).

A definição correta destes parâmetros possibilita o cálculo de C_p e C_{pk} . De acordo com Montgomery (2004), a sua definição representa índices que identificam se o processo de produção dos produtos está dentro de uma faixa de especificação indicando se a produtividade está aceitável.

A análise desses índices é importante para os engenheiros, principalmente na fase do desenvolvimento de produto, pois permite uma análise do histórico dos índices de capacidade de outras peças similares, permitindo a escolha de processos e especificações técnicas que sejam mais eficazes estatisticamente.



Prezado acadêmico, a avaliação da capacidade de um processo é bastante importante, pois permite qualificar e quantificar informações pertinentes referentes a como um processo se comporta na produção de produtos aceitáveis, por isso os índices são importantes durante a homologação do processo, pois servem para identificar possíveis processos problemáticos antes do início de produção seriada dos produtos, evitando processos incapazes. Como resultado desta avaliação, os engenheiros podem definir as melhorias necessárias, além de identificar os processos que não precisam de uma ação imediata de melhoria.

Para calcular os índices Cp e Cpk precisamos, inicialmente, definir qual é a característica a ser controlada (medida), sendo posteriormente necessário colher amostras de medições desta característica. Para o cálculo do Cp e Cpk utilizaremos as informações existentes no projeto dos limites inferiores e superiores de tolerâncias especificados como os valores a serem cumpridos para que não tenhamos a fabricação de produtos fora de especificação.

O índice Cp foi o primeiro apresentado na literatura técnica, conforme Diniz (2001), e tem como foco avaliar a largura da amplitude do processo comparativamente com a largura da especificação do projeto.



O Cp compara a tolerância especificada com a variação potencial do processo.

Conforme apresentado pelos autores Montgomery (2004) e Paladini (2012), podemos determinar que o índice Cp (índice de Capacidade do processo) leva em conta o desvio padrão e a partir dele depreende-se que é um índice mais simples de se trabalhar, pois considera a tolerância especificada em relação à variação do processo, porém desconsidera a centralização do processo e não leva em consideração os deslocamentos devido às causas especiais dos dados. Conclui-se ainda que quanto maior for o valor do índice, maiores são as chances de que o processo esteja dentro dos valores especificados no projeto da peça. Porém, mesmo um processo que possua uma curva estreita, ou seja, com um Cp elevado, pode ser que o processo produza peças que não estejam de acordo com as necessidades do projeto, se este não for centralizado dentro das especificações projetadas.

Logo, temos a seguinte fórmula para Cp:

$$C_p = \frac{\text{Amplitude da tolerância especificada}}{\text{Amplitude gerada no processo escolhido}} \quad (100)$$

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma_c} \quad (101)$$

Em que:

LSE= Limite superior especificado

LIE= Limite inferior especificado

σ_c :Desvio padrão calculado a partir da amostragem de medições.

De onde temos σ_c , dado por:

$$\sigma_c = \frac{\bar{R}}{d_2}(102)$$

Em que:

$\bar{R}$ = média das amplitudes

d_2 = valor tabelado (vide anexo 1)

Vamos exercitar!

Um eixo tem o seu diâmetro definido em projeto tendo uma dimensão de 35 mm, mais 0,15 mm e menos 0,20 mm de tolerância ($35,00^{+0,15}_{-0,20}$), estamos querendo definir o índice Cp do processo de usinagem em que ele é fabricado. Retirou-se um lote de 20 amostras com cinco peças cada, os dados coletados estão apresentados na tabela a seguir.

TABELA 25 – DADOS DO PROBLEMA

SUBGRUPO (M)	AMOSTRAS/ REPLICATAS (N)				
	X1	X2	X3	X4	X5
1	35,05	34,85	35,08	34,91	34,96
2	34,80	34,87	34,93	34,86	35,14
3	34,80	34,83	34,88	35,05	35,14
4	34,87	35,09	35,11	35,13	34,97
5	34,91	35,09	34,91	35,12	34,86
6	34,95	34,91	34,92	34,93	34,87
7	35,07	35,01	34,82	34,93	34,86
8	34,80	35,04	34,84	35,05	34,98
9	34,82	34,93	34,92	34,92	34,87
10	34,98	34,96	35,01	34,84	34,95
11	34,94	34,87	35,06	35,15	34,90
12	34,89	35,05	35,11	35,11	35,04

13	34,84	34,80	35,05	34,95	34,91
14	34,82	35,11	34,93	35,05	34,95
15	34,93	35,12	34,96	35,06	34,93
16	34,97	34,86	35,08	35,13	34,91
17	34,86	35,12	35,07	35,12	35,05
18	35,06	35,04	35,03	34,97	35,04
19	34,87	34,86	34,91	35,02	35,07
20	34,91	34,96	35,15	34,84	34,88

FONTE: O autor

Solução do problema: Inicialmente, precisamos calcular a amplitude de cada subgrupo:

$R1 = 35,08 - 34,85 = 0,23$
 $R2 = 35,14 - 34,80 = 0,34$

E, assim, fazemos para todos os demais subgrupos de amostra, conforme podemos ver na tabela a seguir os resultados.

TABELA 26 – AMPLITUDE DOS SUBGRUPOS

SUBGRUPO (M)	AMOSTRAS/ REPLICATAS (N)					R
	X1	X2	X3	X4	X5	
1	35,05	34,85	35,08	34,91	34,96	0,23
2	34,80	34,87	34,93	34,86	35,14	0,34
3	34,80	34,83	34,88	35,05	35,14	0,34
4	34,87	35,09	35,11	35,13	34,97	0,26
5	34,91	35,09	34,91	35,12	34,86	0,26
6	34,95	34,91	34,92	34,93	34,87	0,08
7	35,07	35,01	34,82	34,93	34,86	0,25
8	34,80	35,04	34,84	35,05	34,98	0,25
9	34,82	34,93	34,92	34,92	34,87	0,11
10	34,98	34,96	35,01	34,84	34,95	0,17
11	34,94	34,87	35,06	35,15	34,90	0,28
12	34,89	35,05	35,11	35,11	35,04	0,22
13	34,84	34,80	35,05	34,95	34,91	0,25
14	34,82	35,11	34,93	35,05	34,95	0,29
15	34,93	35,12	34,96	35,06	34,93	0,19

16	34,97	34,86	35,08	35,13	34,91	0,27
17	34,86	35,12	35,07	35,12	35,05	0,26
18	35,06	35,04	35,03	34,97	35,04	0,09
19	34,87	34,86	34,91	35,02	35,07	0,21
20	34,91	34,96	35,15	34,84	34,88	0,31

FONTE: O autor

Com todas as amplitudes definidas, calcularemos a média das amplitudes:

$$\bar{R} = \frac{\sum R}{m}$$

Logo, temos:

$$\bar{R} = \frac{0,23 + 0,34 + 0,34 + \dots + 0,31}{20} = 0,2330$$

Assim, agora podemos calcular o valor de : σ_c

$$\sigma_c = \frac{\bar{R}}{d_2}(102)$$

O qual temos demonstrado na tabela do anexo 1, que apresentamos um recorte para você relembrar:

n	Fatores para limites de Controle												Fatores para Linha Central			
	A	A ₂	A ₃	B ₃	B ₄	B ₅	B ₆	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	C ₄	1/C ₄	d ₂	1/d ₂	
2	2,121	1,880	2,659	0,000	3,267	0,000	2,606	0,000	3,686	0,000	3,267	0,7979	1,2533	1,128	0,8865	
3	1,732	1,023	1,954	0,000	2,568	0,000	2,276	0,000	4,358	0,000	2,574	0,8862	1,1284	1,693	0,5907	
4	1,500	0,729	1,628	0,000	2,266	0,000	2,088	0,000	4,698	0,000	2,282	0,9213	1,0854	2,059	0,4857	
5	1,342	0,577	1,427	0,000	2,089	0,000	1,964	0,000	4,918	0,000	2,114	0,94		2,326	0,4299	
6	1,225	0,483	1,287	0,030	1,970	0,029	1,874	0,000	5,078	0,000	2,004	0,9515	1,0510	2,534	0,3946	

Então, temos:

$$d_2 = 2,326$$

Assim:

$$\sigma_c = \frac{0,2330}{2,326} = 0,100172$$

Agora, podemos calcular o valor de Cp:

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma_c} \text{ (101)}$$

Do enunciado do problema temos:

Dimensão controlada: 35,00 $\frac{+0,15}{-0,20}$

LSE= 35,15mm

LIE= 34,80mm

$$C_p = \frac{35,15 - 34,80}{6 \times 0,100172} = 3,49991$$

Assim, calculamos o valor de Cp, e o que significa este resultado?

Montgomery (2004) apresenta uma interpretação ao índice Cp, o qual adaptamos e apresentamos no quadro a seguir, que descreve, inclusive, possíveis ações a serem tomadas conforme o valor do índice, relacionando o valor de Cp, a quantidade de produtos defeituosos e quais poderão sofrer possíveis ações corretivas que podem normalmente ser adotadas pela equipe.

QUADRO 2 – ÍNDICE CP E PERCENTUAL DE PRODUTOS DEFEITUOSOS

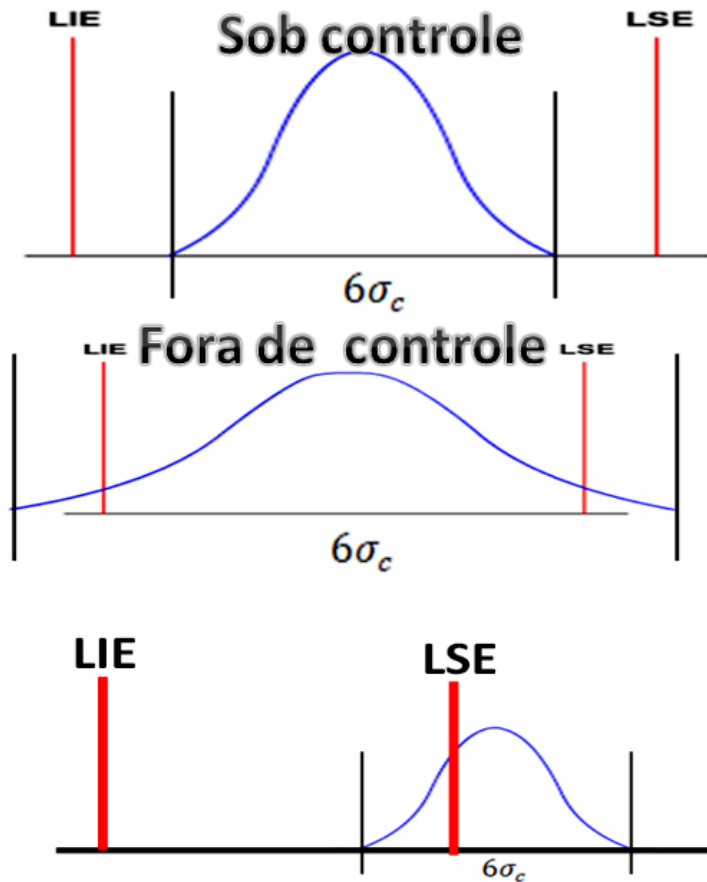
Valor de CP	Produto Fora da Especificação	Ação típica adotada
Menor que 1.0	Maior ou igual a 5 %	Aumento de controle de processo, triagem, retrabalho etc.
1.0	0.3 %	Aumento de controle de processo, inspeção.
1.33	64 ppm	Inspeção reduzida e utilização de cartas de controle.
1.63	1 ppm	Verificação pontual e utilização de cartas de controle.

FONTE: Adaptado de Montgomery (2004)

Finalizando o nosso exercício, temos um C_p calculado de 3,49991. Conforme a tabela anterior, concluímos que o processo em análise tem um valor de C_p maior que o valor de 1,63 (última linha da tabela), portanto, deveremos ter menos que 1 peça por milhão analisadas com problema, e assim recomenda-se a utilização das cartas de controle (CEP).

Diniz (2001) descreve que o índice C_p , como somente trabalha a relação das amplitudes, não considera a localização do processo e a variabilidade decorrente do processo em seu cálculo, consequentemente, pode-se ter um percentual de itens fora das especificações. Paladini (2012) reforça que o índice C_p permite apenas um apontador de quanto o processo é capaz de entregar produtos dentro da tolerância especificada no projeto. A figura a seguir representa duas condições possíveis para que você entenda melhor os fatos para interpretar melhor o índice C_p .

FIGURA 25 - INTERPRETAÇÃO DO ÍNDICE C_p



FONTE: O autor

Conforme a figura, você deve ter percebido que somente o índice Cp não é suficiente para verificar se o processo está sob controle, por isso vamos aprender a calcular o índice Cpk.

O índice Cpk foi citado pela primeira vez no ano de 1986 por V. E. Kane em um artigo publicado no *Journal of Quality Technology* sob o título de *Process capability indices*, e este índice tinha como objetivo, conforme Paladini (2012), realizar uma medição da distância entre o limite de especificação mais próximo da característica de qualidade estudada com a distância da amplitude do processo natural, de onde sai a fórmula:

$$C_{pk} = \text{Minimo} \left(\frac{LSE - \bar{\bar{X}}}{3\sigma_c}; \frac{\bar{\bar{X}} - LIC}{3\sigma_c} \right) \quad (103)$$

sendo:

LSE – Limite Superior de Especificação

LIE – Limite Inferior de Especificação

$\bar{\bar{X}}$ – Mediana da característica medida

σ_c – Desvio padrão calculado a partir da amostragem de medições.

O índice Cpk, conforme pode-se reconhecer analisando a fórmula 103, considera a centralização do processo. Segundo Montgomery (2004), o índice Cpk permite um ajuste do índice Cp identificando se uma distribuição está ou não centrada entre os limites especificados no projeto, mas assim como o índice Cp, o índice Cpk é sensível aos deslocamentos provocados pelas causas especiais. O quadro a seguir apresenta a interpretação do índice Cpk.

QUADRO 3 – Cpk E SUA INTERPRETAÇÃO

	Interpretação
Cpk < 1	Processo incapaz
1 ≤ Cpk ≤ 1,33	Processo aceitável
Cpk ≥ 1,33	Processo capaz

FONTE: Adaptado de Montgomery (2004)



Prezado acadêmico, conforme demonstra a tabela anterior, quanto maior for o valor do índice Cpk, menor será a chance da característica medida estar fora das tolerâncias especificadas.

Vamos fazer um exercício para aprender o procedimento de cálculo do índice Cpk.

Para consolidarmos a interpretação, vamos continuar o exercício anterior do eixo com a dimensão de $35,00^{+0,15}_{-0,20}$. Para isso precisamos calcular as médias de cada subgrupo, cujos resultados estão apresentados na tabela a seguir.

TABELA 27 – CÁLCULO DE X BARRA

SUBGRUPO (M)	AMOSTRAS/ REPLICATAS (N)					X BARRA	R
	X1	X2	X3	X4	X5		
1	35,05	34,85	35,08	34,91	34,96	34,97	0,23
2	34,80	34,87	34,93	34,86	35,14	34,92	0,34
3	34,80	34,83	34,88	35,05	35,14	34,94	0,34
4	34,87	35,09	35,11	35,13	34,97	35,03	0,26
5	34,91	35,09	34,91	35,12	34,86	34,98	0,26
6	34,95	34,91	34,92	34,93	34,87	34,92	0,08
7	35,07	35,01	34,82	34,93	34,86	34,94	0,25
8	34,80	35,04	34,84	35,05	34,98	34,94	0,25
9	34,82	34,93	34,92	34,92	34,87	34,89	0,11
10	34,98	34,96	35,01	34,84	34,95	34,95	0,17
11	34,94	34,87	35,06	35,15	34,90	34,98	0,28
12	34,89	35,05	35,11	35,11	35,04	35,04	0,22
13	34,84	34,80	35,05	34,95	34,91	34,91	0,25
14	34,82	35,11	34,93	35,05	34,95	34,97	0,29
15	34,93	35,12	34,96	35,06	34,93	35,00	0,19
16	34,97	34,86	35,08	35,13	34,91	34,99	0,27
17	34,86	35,12	35,07	35,12	35,05	35,04	0,26
18	35,06	35,04	35,03	34,97	35,04	35,03	0,09
19	34,87	34,86	34,91	35,02	35,07	34,95	0,21
20	34,91	34,96	35,15	34,84	34,88	34,95	0,31
					MÉDIAS	34,97	0,2330

Assim, temos:

LIC= 34,80mm

LSC=35,15mm

$\bar{X}$ =34,97 mm

σ_c =0,100172 (calculado no exercício anterior).

$$C_{pk} = \text{Minimo} \left(\frac{LSE - \bar{\bar{X}}}{3\sigma_c}; \frac{\bar{\bar{X}} - LIC}{3\sigma_c} \right) \quad (103)$$

Logo:

$$C_{pk} = \text{Minimo} \left(\frac{34,80 - 34,97}{3 \times 0,100172}; \frac{34,97 - 34,80}{3 \times 0,100172} \right)$$

$$C_{pk} = \text{Minimo}(0,608953 ; 0,555711)$$

Como Cpk é definido como o valor mínimo dos dois cálculos, temos:

$$Cpk = 0,555711$$

Analisando a tabela, temos:

TABELA 28 – INTERPRETAÇÃO EXERCÍCIO

	Interpretação
 $Cpk < 1$	 Processo incapaz:
$1 \leq Cpk \leq 1,33$	Processo aceitável
$Cpk \geq 1,33$	Processo capaz

FONTE: O autor

Analisando pelo índice Cpk, o processo é incapaz de atender às necessidades especificadas, correndo risco de gerar peças com problemas. Como você deve ter percebido, pelo índice Cp, o processo se mostrou capaz, logo, podemos concluir que o índice Cpk tem uma acuracidade maior, e os dois índices em conjunto permitem uma análise mais aprimorada se o processo está sob controle para implantação do CEP.

Vamos resolver juntos mais um exemplo para consolidar melhor os conceitos de Cp e Cpk.

Uma empresa de laminação de alumínio está desenvolvendo um novo produto que deverá possuir a espessura de $0,01^{\pm 0,002}$ mm. Foram retiradas 20 amostras com oito replicatas cada, que estão apresentadas na tabela a seguir. Determine os valores de Cp e Cpk.

TABELA 29 – LEVANTAMENTO DE DADOS

SUBGRUPO (M)	AMOSTRAS/ REPLICATAS (N)							
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8
1	0,0103	0,0098	0,0098	0,0099	0,0101	0,0102	0,0102	0,0092
2	0,0096	0,0098	0,0104	0,0098	0,0101	0,0096	0,0092	0,0098
3	0,0098	0,0101	0,0104	0,0101	0,0094	0,0098	0,0102	0,0094
4	0,0097	0,0100	0,0098	0,0104	0,0101	0,0093	0,0092	0,0093
5	0,0097	0,0096	0,0102	0,0105	0,0098	0,0101	0,0095	0,0100
6	0,0093	0,0092	0,0095	0,0103	0,0101	0,0099	0,0093	0,0098
7	0,0098	0,0105	0,0095	0,0092	0,0094	0,0104	0,0105	0,0094
8	0,0102	0,0096	0,0103	0,0105	0,0091	0,0099	0,0096	0,0091
9	0,0095	0,0090	0,0101	0,0092	0,0091	0,0101	0,0101	0,0104
10	0,0093	0,0093	0,0091	0,0097	0,0091	0,0100	0,0105	0,0091
11	0,0094	0,0100	0,0096	0,0104	0,0095	0,0103	0,0099	0,0101
12	0,0098	0,0100	0,0090	0,0094	0,0096	0,0099	0,0093	0,0096
13	0,0097	0,0105	0,0103	0,0093	0,0091	0,0102	0,0103	0,0104
14	0,0093	0,0104	0,0095	0,0100	0,0099	0,0105	0,0090	0,0102
15	0,0097	0,0105	0,0104	0,0105	0,0102	0,0103	0,0091	0,0090
16	0,0094	0,0101	0,0105	0,0092	0,0099	0,0092	0,0103	0,0101
17	0,0098	0,0098	0,0100	0,0100	0,0095	0,0104	0,0096	0,0093
18	0,0098	0,0101	0,0103	0,0091	0,0091	0,0091	0,0103	0,0102
19	0,0096	0,0092	0,0102	0,0094	0,0099	0,0092	0,0102	0,0097
20	0,0095	0,0093	0,0093	0,0101	0,0105	0,0096	0,0096	0,0098

FONTE: O autor

Assim, temos os cálculos de XBARRA e R, os quais estão apresentados na tabela a seguir.

TABELA 30 – CÁLCULOS DE XBARRA E R

SUBGRUPO (M)	AMOSTRAS/ REPLICATAS (N)					
	X1	X2	...	X8	X BARRA	R
1	0,0103	0,0098	...	0,0092	0,009938	0,001100
2	0,0096	0,0098	...	0,0098	0,009788	0,001200
3	0,0098	0,0101	...	0,0094	0,009900	0,001000
4	0,0097	0,0100	...	0,0093	0,009725	0,001200
5	0,0097	0,0096	...	0,0100	0,009925	0,001000
6	0,0093	0,0092	...	0,0098	0,009675	0,001100
7	0,0098	0,0105	...	0,0094	0,009838	0,001300
8	0,0102	0,0096	...	0,0091	0,009788	0,001400
9	0,0095	0,0090	...	0,0104	0,009688	0,001100
10	0,0093	0,0093	...	0,0091	0,009513	0,000600
11	0,0094	0,0100	...	0,0101	0,009900	0,001000
12	0,0098	0,0100	...	0,0096	0,009575	0,001000
13	0,0097	0,0105	...	0,0104	0,009975	0,001400
14	0,0093	0,0104	...	0,0102	0,009850	0,001400
15	0,0097	0,0105	...	0,0090	0,009963	0,001500
16	0,0094	0,0101	...	0,0101	0,009838	0,001300
17	0,0098	0,0098	...	0,0093	0,009800	0,000700
18	0,0098	0,0101	...	0,0102	0,009750	0,001200
19	0,0096	0,0092	...	0,0097	0,009675	0,001000
20	0,0095	0,0093	...	0,0098	0,009713	0,001200
				MÉDIAS	0,009791	0,001135

Portanto, temos:

n=	8
d2=	2,847
desvio padrão amostral (σ_c) =	0,000398665
LSE=	0,012
LIE=	0,008
Cp=	10,03348018
cpk1	1,847310022
cpk2	1,49718337

Como temos de considerar o menor dos valores do Cpk calculados, então temos:

$C_{pk}=1,497$ e $C_p = 10,03$

Analisando os Quadros 2 e 3, temos que o processo analisado está sob controle e podemos implantar o CEP.

Apresentamos a seguir dois exercícios para você exercitar os conceitos aprendidos:



EXERCÍCIO 1: Uma empresa de usinagem trabalha usinando peças fundidas. Ela está estudando para implantar o CEP para uma nova peça fundida, que tem o diâmetro de 250 mm e tolerância de $\pm 1,5$ mm. Usinou-se um lote de 150 peças, sendo que eles foram separados em conjuntos de cinco peças, e as dimensões encontradas estão listadas na tabela a seguir.

TABELA 31 – DADOS COLETADOS

SUBGRUPO (M)	AMOSTRAS/ REPLICATAS (N)				
	X1	X2	X3	X4	X5
1	250,10	250,50	249,90	250,50	249,90
2	250,00	250,00	249,20	248,70	248,90
3	250,40	250,40	250,50	250,10	248,50
4	249,00	248,90	249,50	249,30	250,10
5	249,30	249,80	250,50	249,80	250,10
6	248,50	249,80	249,20	249,90	249,20
7	249,80	249,20	250,30	249,50	249,60
8	248,70	250,30	249,20	250,30	250,20
9	249,40	249,00	249,30	249,50	249,10
10	249,00	248,50	249,90	249,50	248,50
11	249,70	248,70	248,50	249,80	250,00
12	250,10	250,20	249,20	250,20	249,90
13	248,90	249,80	248,90	249,80	249,20
14	249,00	249,60	248,60	249,20	250,50
15	248,90	249,70	249,30	250,50	250,20

FONTE: O autor

EXERCÍCIO 2: Uma empresa de usinagem de precisão trabalha produzindo microeixos. Uma empresa eletrônica está encaminhando um eixo para desenvolvimento com diâmetro de $1,000 \pm 0,008$ mm. Os dados levantados nas primeiras amostras para dimensionamento do CEP e cálculos do Cp e Cpk estão apresentados na tabela a seguir.

TABELA 32 – DADOS COLETADOS REFERENTE MICROEIXO

SUBGRUPO (M)	AMOSTRAS/ REPLICATAS (N)						X BARRA	R
	X1	X2	X3	X4	X5	X6		
1	1,0010	1,0030	1,0040	0,9990	1,0040	1,0020		
2	1,0020	0,9970	0,9980	1,0030	1,0040	1,0030		
3	0,9970	0,9980	1,0040	1,0020	1,0000	0,9990		
4	1,0030	0,9970	1,0020	1,0030	1,0000	0,9970		
5	1,0010	1,0000	0,9970	1,0020	1,0040	1,0010		
6	1,0020	0,9970	0,9970	1,0010	1,0030	0,9970		
7	1,0020	1,0020	1,0000	1,0040	0,9990	1,0030		
8	0,9990	0,9980	1,0000	0,9980	0,9990	1,0030		
9	0,9980	0,9970	0,9980	1,0000	0,9980	0,9990		
10	0,9970	1,0020	1,0000	1,0030	1,0020	0,9980		
11	1,0000	0,9990	0,9970	0,9990	1,0020	0,9990		
12	1,0040	1,0040	0,9990	1,0010	0,9970	1,0020		
13	1,0040	0,9980	0,9970	0,9970	1,0030	0,9970		
14	0,9970	0,9980	1,0030	1,0000	1,0010	0,9990		
15	1,0010	0,9990	0,9990	1,0040	0,9990	0,9970		
16	1,0030	1,0020	1,0010	1,0030	0,9980	1,0000		
17	1,0010	0,9980	0,9990	1,0030	1,0030	1,0010		
18	0,9980	1,0000	1,0010	0,9990	1,0020	0,9980		
19	0,9980	1,0010	0,9970	1,0020	1,0040	0,9970		
20	1,0030	1,0020	1,0010	0,9990	1,0010	0,9990		
MÉDIAS								

Calcule o Cp e Cpk e analise o processo escolhido.



Prezado acadêmico, quando começamos a analisar o processo produtivo e os índices Cp e Cpk, verificamos que se o processo trabalha centralizado com a especificação nominal de projeto, os dois índices, Cp e Cpk, terão valores muito próximos; já quando a média do processo se desvia da dimensão nominal especificada no projeto da peça, o valor do índice Cpk vai ficando menor que o Cp e, muitas vezes, gerando um Cpk menor que 1 (um), identificando um processo incapaz. Conforme outras situações já estudadas, uma melhor condição de trabalho e interpretação dos valores do Cp e Cpk depende de o processo estar sob controle estatístico.

Montgomery (2004) expõe que se o processo está sob controle e dentro dos padrões estatísticos, o Cp e o Cpk representam a capacidade real do processo e se espera um comportamento similar no futuro da produção; já se o processo é imprevisível e está fora de controle, os índices Cp e Cpk não são representativos e não qualificam o processo.

2.2 CÁLCULOS DE ÍNDICES DE PERFORMANCE (Pp, Ppk)

Acabamos de estudar os índices de capacidade e vimos que eles possuem algumas restrições quanto ao uso. Os índices de performance através dos índices de Pp e Ppk buscam analisar o processo em relação à sua análise do passado e são muito similares aos cálculos já apresentados, mas agora analisando os dados estatísticos do passado do processo.

Assim, o índice Pp trabalha a comparação da tolerância especificada no projeto com a performance do processo no passado, utilizando para a análise os dados de desvio padrão de longo prazo, conforme podemos ver na fórmula a seguir:

$$P_p = \frac{\text{Amplitude da tolerância especificada}}{\text{Amplitude do passado no processo escolhido}} \quad (104)$$

$$P_p = \frac{LSE - LIE}{6s} \quad (105)$$

Em que:

LSE= Limite superior especificado

LIE= Limite inferior especificado

s = Desvio padrão do passado do processo

Em que s é dado por:

$$s = \sqrt{s^2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (106)$$

Conforme Harbor (2017, p. 1), “a diferença entre o Cp e o Pp é a forma como calculamos o fator de dispersão (σ e s) do denominador. O Pp utiliza o desvio padrão global de todas as amostras, enquanto o Cp utiliza a medida de dispersão média, medida entre os valores de um mesmo subgrupo”, ou seja:

$$s = \sqrt{s^2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (106)$$

$$\sigma_c = \frac{\bar{R}}{d_2} \quad (102)$$

Temos que na primeira expressão é o desvio padrão do processo calculado através da estimativa com valores individuais e não pela amplitude dos valores em subgrupos, enquanto que a segunda equação considera o desvio padrão calculado considerando os subgrupos e as amplitudes (R) dos mesmos.

Conforme Montgomery (2004), matematicamente, geralmente o desvio padrão dos valores individuais é maior que o desvio padrão considerando os subgrupos, logo, o desvio padrão de curto prazo σ_c , geralmente, tende a ser menor que o desvio padrão de longo prazo (ou global) s , pois teremos maiores influências relacionadas à matéria-prima, mão de obra, mudanças em equipamentos, ajustes de ferramental etc. Ainda podemos confirmar que se os valores de C_p e P_p forem próximos, temos um processo que está sendo operado de forma coerente ao longo do tempo; já quando índices diferem substancialmente, temos fatores não comuns agindo sobre o mesmo.

De forma análoga ao cálculo de C_{pk} , o índice P_{pk} é calculado pela seguinte fórmula:

$$p_{pk} = \text{Mínimo} \left(\frac{LSE - \bar{\bar{X}}}{3s}; \frac{\bar{\bar{X}} - LIC}{3s} \right) \quad (103)$$

Sendo:

LSE – Limite Superior de Especificação

LIE – Limite Inferior de Especificação

$\bar{\bar{X}}$ – Mediana da característica medida

s – Desvio-padrão de longo prazo

Vamos exercitar!

Uma empresa que produz esferas polidas está desenvolvendo uma esfera com diâmetro de 2,55 mm e uma tolerância de $\pm 0,005$ mm. Foi desenvolvido um lote de controle de 100 peças, separadas em subgrupos de 20 com cinco peças cada, sendo os dados apresentados na tabela a seguir. Calcule os índices C_p , C_{pk} , P_p e P_{pk} .

TABELA 33 – DADOS COLETADOS DA PRODUÇÃO DAS ESFERAS

SUBGRUPO (M)	AMOSTRAS/ REPLICATAS (N)				
	X1	X2	X3	X4	X5
1	2,5480	2,5490	2,5490	2,5500	2,5510
2	2,5480	2,5510	2,5480	2,5510	2,5480
3	2,5520	2,5490	2,5490	2,5480	2,5510
4	2,5520	2,5510	2,5520	2,5490	2,5480
5	2,5500	2,5480	2,5520	2,5510	2,5510
6	2,5510	2,5500	2,5520	2,5490	2,5480
7	2,5520	2,5510	2,5510	2,5500	2,5520
8	2,5490	2,5510	2,5520	2,5510	2,5520
9	2,5510	2,5510	2,5520	2,5490	2,5490
10	2,5510	2,5520	2,5500	2,5480	2,5520
11	2,5510	2,5500	2,5510	2,5480	2,5480
12	2,5520	2,5520	2,5510	2,5520	2,5520
13	2,5500	2,5490	2,5480	2,5490	2,5500
14	2,5490	2,5480	2,5490	2,5510	2,5490
15	2,5500	2,5490	2,5510	2,5510	2,5520
16	2,5480	2,5500	2,5480	2,5520	2,5520
17	2,5520	2,5510	2,5490	2,5490	2,5510
18	2,5500	2,5510	2,5520	2,5500	2,5480
19	2,5520	2,5490	2,5490	2,5510	2,5480
20	2,5490	2,5490	2,5490	2,5510	2,5510

FONTE: O autor

Assim, calculando as amplitudes e as médias dos subgrupos, temos na tabela a seguir os resultados.

TABELA 34 – CÁLCULOS DE XBARRA E R

SUBGRUPO (M)	AMOSTRAS/ REPLICATAS (N)					X BARRA	R
	X1	X2	X3	X4	X5		
1	2,5480	2,5490	2,5490	2,5500	2,5510	2,549400	0,003000
2	2,5480	2,5510	2,5480	2,5510	2,5480	2,549200	0,003000
3	2,5520	2,5490	2,5490	2,5480	2,5510	2,549800	0,004000
4	2,5520	2,5510	2,5520	2,5490	2,5480	2,550400	0,004000
5	2,5500	2,5480	2,5520	2,5510	2,5510	2,550400	0,004000
6	2,5510	2,5500	2,5520	2,5490	2,5480	2,550000	0,004000
7	2,5520	2,5510	2,5510	2,5500	2,5520	2,551200	0,002000
8	2,5490	2,5510	2,5520	2,5510	2,5520	2,551000	0,003000
9	2,5510	2,5510	2,5520	2,5490	2,5490	2,550400	0,003000
10	2,5510	2,5520	2,5500	2,5480	2,5520	2,550600	0,004000
11	2,5510	2,5500	2,5510	2,5480	2,5480	2,549600	0,003000
12	2,5520	2,5520	2,5510	2,5520	2,5520	2,551800	0,001000
13	2,5500	2,5490	2,5480	2,5490	2,5500	2,549200	0,002000
14	2,5490	2,5480	2,5490	2,5510	2,5490	2,549200	0,003000
15	2,5500	2,5490	2,5510	2,5510	2,5520	2,550600	0,003000
16	2,5480	2,5500	2,5480	2,5520	2,5520	2,550000	0,004000
17	2,5520	2,5510	2,5490	2,5490	2,5510	2,550400	0,003000
18	2,5500	2,5510	2,5520	2,5500	2,5480	2,550200	0,004000
19	2,5520	2,5490	2,5490	2,5510	2,5480	2,549800	0,004000
20	2,5490	2,5490	2,5490	2,5510	2,5510	2,549800	0,002000
MÉDIAS						2,550150	0,003150

FONTE: O autor

Assim, temos os cálculos:

$$\sigma_c = \frac{\bar{R}}{d_2}(102)$$

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma_c}(101)$$

$$p_{pk} = \text{Mínimo}\left(\frac{LSE - \bar{\bar{X}}}{3s}; \frac{\bar{\bar{X}} - LIC}{3s}\right)(103)$$

$$s = \sqrt{s^2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (106)$$

$$P_p = \frac{LSE - LIE}{6s} \quad (105)$$

$$p_{pk} = \text{Mínimo} \left(\frac{LSE - \bar{\bar{X}}}{3s}, \frac{\bar{\bar{X}} - LIC}{3s} \right) \quad (103)$$

Temos:

- cálculo de Cp e Cpk

$d_2 = 2,326$ (tabela anexo 1)

$$\sigma_c = \frac{0,00315}{2,326} = 0,001354$$

$$C_p = \frac{2,555 - 2,545}{6 \times 0,001354} = 7,3841$$

$$C_{pk1} = \frac{2,555 - 2,55015}{3 \times 0,001354} = 1,193767$$

$$C_{pk2} = \frac{2,55015 - 2,545}{3 \times 0,001354} = 1,267608$$

Ao seleccionar o menor Cpk, temos:

$$C_{pk1} = 1,193767$$

Como demonstrado no Quadro 3, um Cpk entre 1 e 1,33 gera um processo aceitável.

- cálculo de Pp e Ppk

$$s = \sqrt{s^2} = \sqrt{\frac{(2,5480 - 2,550150)^2 + (2,5490 - 2,550150)^2 + \dots + (2,551 - 2,550150)^2}{(100-1)}}$$

$$s = 0,0014311$$

$$P_p = \frac{2,555 - 2,545}{6 \times 0,0014311} = 6,9877469$$

$$Ppk1 = \frac{2,555 - 2,55015}{3 \times 0,0014311} = 1,1296857$$

$$Ppk2 = \frac{2,55015 - 2,545}{3 \times 0,0014311} = 1,1995632$$

Como devemos selecionar o menor Ppk, temos:

$$Ppk1 = 1,1296857$$

Como o princípio é o mesmo do índice de Cpk, podemos utilizar o Quadro 3 como referência, portanto um Ppk entre 1 e 1,33 gera um processo aceitável.

Analisando os resultados deste exercício e mais a base da formulação das fórmulas de Cp e Cpk, conforme Baptista (1996), complementado por Louzada e Diniz (2013), estes índices representam a capacidade real do processo analisado mostrando que é operado de forma previsível, já quando os índices comprometem o processo, indica que o mesmo está fora de controle, enquanto que os índices de Pp e Ppk representam o desempenho real do processo, tendo ele operado de forma previsível ou não.

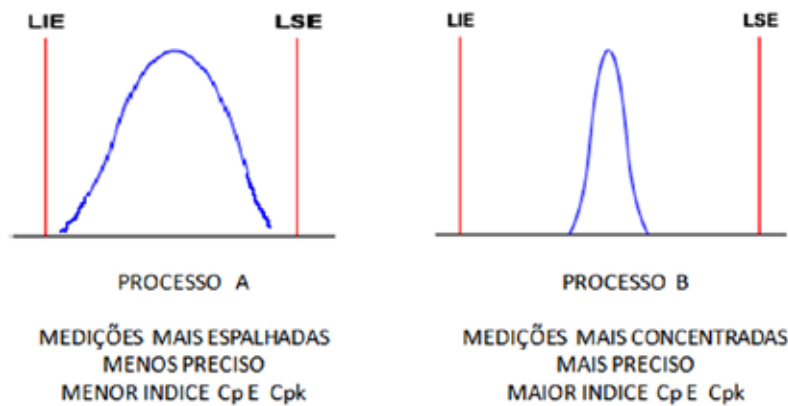
Vamos agora entender as interpretações do que está ocorrendo com os índices Cp e Cpk graficamente.

3 INTERPRETAÇÃO GRÁFICA DE Cp E Cpk

O cálculo dos índices Cp e Cpk é importante em todo o processo inicial de implantação do CEP. Uma coisa é ter a fórmula e analisar o número gerado, mas precisamos entender e interpretar o seu significado conforme a realidade dos dados coletados, e assim os gráficos nos ajudam a interpretar os fatos que estão ocorrendo no processo.

Da estatística temos que quanto mais estreita a curva da distribuição, menor a variação existente entre as medições e, consequentemente, teremos maiores valores para os índices Cp e Cpk, consequentemente, quanto maior o valor de Cp e Cpk, melhores são os resultados do processo e da fabricação da peça.

FIGURA 26 – FORMA DA CURVA DE DISTRIBUIÇÃO



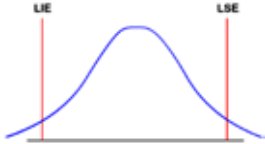
FONTE: O autor

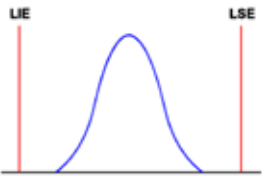
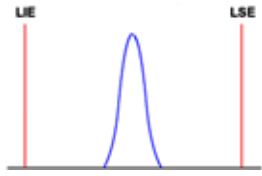
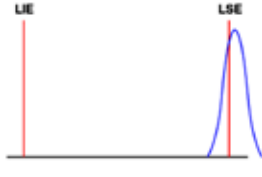
Como podemos ver na figura, o processo B gera peças com melhor assertividade em relação aos limites estipulados, por consequência, gerando melhores peças.

Conforme Datalyzer (2017, p. 1), “Cp e Pp mostram o que acontece quando o processo trabalha de forma centralizada na nominal da especificação, enquanto o Cpk e Ppk representam o que acontece quando o processo não está centrado no ponto médio das especificações”.

No quadro a seguir apresentamos uma análise dos principais pontos analisados em relação aos resultados de Cp e Cpk, os quais devem ser considerados em um processo de análise de processo, mas é importante que o engenheiro também acompanhe o processo na prática.

QUADRO 4 – ANÁLISE DOS ÍNDICES CP E CPK COM RELAÇÃO AO PROCESSO

	Cp baixo Causa: variação maior que a faixa dos limites especificados no projeto	Cpk baixo Causa: a distribuição está centrada, mas há uma variação maior que a faixa dos limites especificados no projeto	Processo: incapaz
---	--	--	-------------------

	Cp bom Causa: variação menor que a faixa dos limites especificados no projeto	Cpk bom Causa: a distribuição está centrada e há uma variação menor que a faixa dos especificados no projeto	Processo: satisfatório
	Cp alto Causa: baixa variação em relação à faixa dos limites especificados no projeto	Cpk alto Causa: a distribuição está centrada e há uma baixa variação em relação à faixa dos limites especificados no projeto	Processo: capaz
	Cp alto Causa: baixa variação em relação à faixa dos limites especificados no projeto	Cpk baixo Causa: há uma baixa variação em relação à faixa dos limites especificados no projeto, mas a distribuição não está centrada	Processo: incapaz

FONTE: Adaptado de Montgomery (2004)



Prezado acadêmico, você poderá ampliar o seu conhecimento sobre o tema consultando os sites:

<[<https://www.harbor.com.br/harbor-blog/2017/07/06/capacidade-performance-significado/](https://www.harbor.com.br/harbor-blog/2017/07/06/capacidade-performance-significado/)>;

<[<http://www.datalyzer.com.br/site/suporte/administrador/docs/arquivos/doc57/57.html](http://www.datalyzer.com.br/site/suporte/administrador/docs/arquivos/doc57/57.html)>.

BOA LEITURA!

Apresentamos a seguir um texto disponível no Portal Action, uma importante fonte de informação, especializada em *softwares* estatísticos e de CEP. Faça uma boa leitura e aproveite para visitar o *site*, que tem mais informações sobre o tema que estamos estudando.

LEITURA COMPLEMENTAR

ANÁLISE DE CAPACIDADE DO PROCESSO

O objetivo da Análise de Capacidade do Processo é diagnosticar se os processos são capazes de satisfazer os requerimentos dos clientes. Nesta seção, vamos apresentar as definições da AIAG sobre os índices de capacidade e performance do processo. A **capacidade** do processo pode ser estabelecida somente quando nenhum fator estranho contamina o processo, isto é, somente causas naturais de variação estão presentes. O conceito de capacidade do processo considera apenas as variações devido às causas comuns de variação. Quando estamos na presença de causas especiais de variação ou quando não estudamos a estabilidade do processo, determinamos a **performance** do processo. Neste sentido, é importante notar que a Performance do processo não é a mesma coisa que capacidade do processo.

A partir de uma amostra de dados, queremos fazer previsões sobre o comportamento do processo para que possamos avaliar se estes satisfazem os requerimentos dos clientes. Se os dados são retirados de um processo sob controle estatístico (estável), então os dados provenientes do processo devem seguir uma distribuição específica. Caso contrário, se o processo está fora de controle (instável), a distribuição pode variar com o tempo, e não apresentar um formato específico. O formato da distribuição dos dados nos fornece informação importante sobre o comportamento do processo, como as caudas e a probabilidade de obtermos uma peça/serviço fora de especificação. Na prática, temos diversas distribuições para dados contínuos, como a normal, Weibull, Lognormal, entre outras. De acordo com o teorema central do limite, quando a variação de um processo é consequência de diversas causas com pouco impacto isolado, a distribuição resultante é geralmente normal. Entretanto, a distribuição dos dados do processo pode assumir qualquer formato. Neste módulo, vamos estudar os índices de capacidade e performance para dados normais e não normais.

Toda Análise de Capacidade do Processo deve ser planejada para responder às seguintes questões:

O processo esteve sob controle durante o estudo?

O processo satisfaz as tolerâncias estabelecidas? Caso contrário, pode satisfazer essas tolerâncias "centrando" a média do processo no valor nominal?

É o processo inerentemente capaz de satisfazer as tolerâncias especificadas?

Se o processo não for capaz, é economicamente factível reduzir a variabilidade do processo?

Dessa forma, a Análise de Capacidade do Processo tem por objetivo quantificar as causas comuns de variação e estabelecer o que pode ser esperado do processo no futuro. Na prática, dois tipos de variabilidade contaminam os processos:

- A variabilidade "natural", também chamada de inerente. Esta é a variabilidade devido às causas comuns de variação.
- A variabilidade ao longo do tempo, onde as causas especiais de variabilidade se manifestam.

A Análise de Performance (desempenho) tem por objetivo comparar a variabilidade total do processo (devido a causas comuns e especiais) com a tolerância (ou especificação). Para estimarmos a variabilidade total associada ao processo (causas comuns e causas especiais), precisamos associar uma distribuição de probabilidade para descrever o comportamento dos dados. Desta forma, é importante destacarmos que a escolha deste modelo probabilístico é fundamental para avaliarmos a capacidade e/ou performance do processo. A seguir, apresentamos algumas definições que serão utilizadas ao longo deste módulo.

1. **Variação total do processo:** corresponde à variação do processo devido às causas especiais e comuns. Se a distribuição normal se ajusta bem aos dados, esta variação é estimada pelo desvio padrão amostral usando todas as medidas individuais retiradas do processo, isto é:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad \text{em que } x_i$$

representa as medidas do processo, $\bar{X}$ corresponde à média amostral e n o número de medidas obtidas do processo. Caso a distribuição normal não se ajusta aos dados, outras alternativas devem ser utilizadas, ver módulo Análise de Performance do Processo para Dados Não Normais.

2. **Variação inerente ao processo:** é a parcela da variação total devido às causas comuns. Esta variação pode ser estimada através dos gráficos de controle por $(\bar{R}/d_2)$ ou $(\bar{s}/c_4)$, entre outros. Para estimarmos a variabilidade devido às causas comuns é necessário que a distribuição normal se adeque aos dados, ou que exista uma transformação (por exemplo, transformação de Box-Cox) para os dados no qual a distribuição normal se adeque, ver módulo Transformação de Box-Cox.
3. **Capacidade do processo:** é a amplitude que corresponde a 99,73%(6 σ) da variação inerente ao processo (causas comuns) para um processo sob controle estatístico, em que σ é estimado via gráfico de controle $(\bar{R}/d_2)$ ou $(\bar{s}/c_4)$, entre outros. Para estimarmos a capacidade do processo é necessário que a distribuição normal se adeque aos dados, ou que exista uma transformação (por exemplo, transformação de Box-Cox) para os dados no qual a distribuição normal se adeque, ver módulo Transformação de Box-Cox.
4. **Performance do processo:** é a amplitude que corresponde a 99,73% da variação total do processo. Caso a distribuição normal se ajusta aos dados, a amplitude de 99,73% corresponde a 6 σ , no qual σ é estimado pelo desvio padrão amostral (s).

5. Índices de capacidade e performance do processo:

- (a) **Cp**: corresponde à Amplitude das Especificações (tolerâncias) dividido pela Capacidade do Processo.
- (b) **Cpk**: este índice avalia se o processo está centrado. Este corresponde ao menor valor entre o Limite Superior de Especificação (LSE) menos a Média e a Média menos o Limite Inferior de Especificação (LIE), dividido por metade da Capacidade do Processo (3σ).
- (c) **Pp**: corresponde à Amplitude das Especificações (tolerâncias) dividido pela Performance do Processo.
- (d) **Ppk**: este índice avalia se o processo está centrado, corresponde ao menor valor entre o Limite Superior de Especificação (LSE) menos a Mediana dividido pela performance do processo em relação ao limite superior e a Mediana menos o Limite Inferior de Especificação (LIE), dividido pela performance do processo em relação ao limite inferior. Caso a distribuição normal se adeque aos dados, substituímos a mediana pela média.

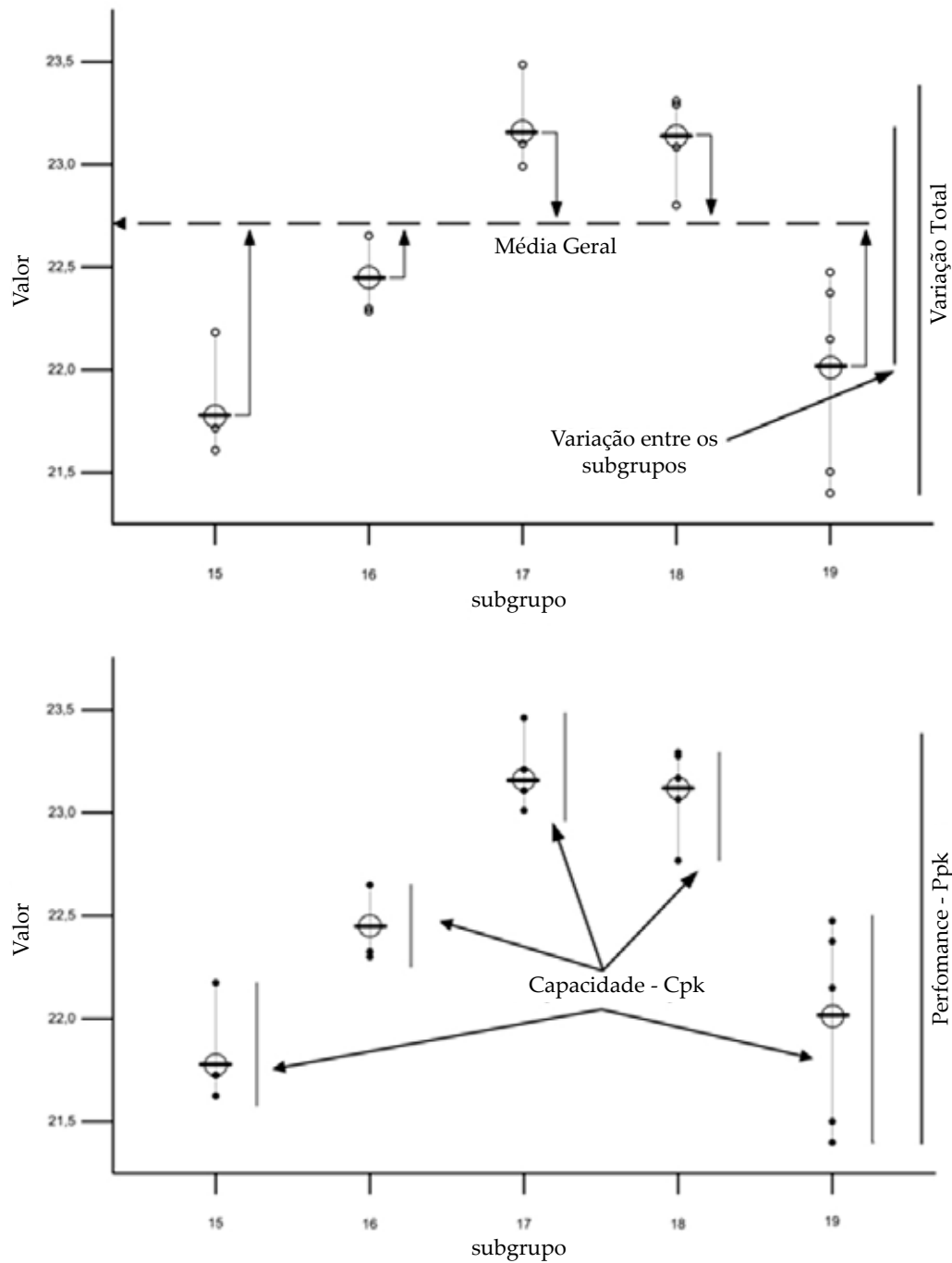
Variabilidade a curto prazo e variabilidade a longo prazo

A Capacidade do Processo descreve o melhor que se pode esperar dele. Por isso, utilizamos a variabilidade de Curto Prazo, na qual somente causas comuns se manifestam.

A variação de Longo Prazo permite uma avaliação do processo mais próximo às necessidades do cliente. A razão de utilizar a variação a Longo Prazo é que esta inclui as variações devido a causas especiais e comuns que podem ocorrer ao longo do processo, por exemplo, variações devido a diferentes lotes de matéria-prima.

Os índices de capacidade do processo Cp e Cpk utilizam a variabilidade a curto prazo, enquanto que os índices Pp e Ppk utilizam a variabilidade a longo prazo como estimativa do desvio padrão. A seguir apresentamos dois gráficos que ilustram a diferença entre os índices das famílias Cp e Pp. Se o processo está sob controle (estável), temos apenas causas comuns de variação e, neste caso, a capacidade e a performance são iguais. Por outro lado, se o processo está fora de controle (instável), temos causas comuns e especiais de variação, e somente a performance reflete o comportamento do processo.

GRÁFICO 1 – DIFERENÇA ENTRE OS ÍNDICES Cp E Pp



FONTE: Disponível em: <<http://www.portalection.com.br/analise-de-capacidade/analise-de-capacidade-do-processo>>. Acesso em: 15 jul. 2017.

RESUMO DO TÓPICO 2

Neste tópico, você aprendeu que:

- Analisar a capacidade de um processo permite aos engenheiros:
 - o Estudar e prever as tolerâncias aceitáveis do projeto de produto.
 - o Modificar o projeto do produto conforme a capacidade do processo, adequando-o.
 - o Definir os intervalos de monitoramento entre amostras para controlar o processo.
 - o Definir as condições de desempenho para equipamentos novos.
 - o Planejar a sequência de processos de produção quando existir variações de tolerâncias entre os processos.
 - o Diminuir a variação em um processo de produção.
- O índice C_p permite comparar a tolerância especificada no projeto com a variação potencial do processo, as suas fórmulas são:

$$C_p = \frac{\text{Amplitude da tolerância especificada}}{\text{Amplitude gerada no processo escolhido}}$$

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

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

- Índice CP e percentual de produtos defeituosos:

Valor de CP	Produto Fora da Especificação	Ação típica adotada
Menor que 1.0	Maior ou igual a 5%	Aumento de controle de processo, triagem, retrabalho etc.
1.0	0.3%	Aumento de controle de processo, inspeção.
1.33	64 ppm	Inspeção reduzida e utilização de cartas de controle.
1.63	1 ppm	Verificação pontual e utilização de cartas de controle.

- O Cpk avalia se o processo está centrado, este índice tem como objetivo realizar uma medição da distância entre o limite de especificação mais próximo da característica de qualidade estudada com a distância da amplitude do processo natural. A fórmula que você aprendeu é:

$$C_{pk} = \text{Minimo} \left(\frac{LSE - \bar{\bar{X}}}{3\sigma_c}; \frac{\bar{\bar{X}} - LIC}{3\sigma_c} \right)$$

- O índice Cpk e sua interpretação

	Interpretação
Cpk < 1	Processo incapaz
1 ≤ Cpk ≤ 1,33	Processo aceitável
Cpk ≥ 1,33	Processo capaz

- O índice Pp compara a tolerância especificada no projeto com a performance do processo no passado, e as fórmulas estudadas foram:

$$P_p = \frac{\text{Amplitude da tolerância especificada}}{\text{Amplitude do passado no processo escolhido}}$$

$$P_p = \frac{LSE - LIE}{6s}$$

- O Ppk avalia se o processo está centrado e este índice tem como objetivo realizar uma medição da distância entre o limite de especificação mais próxima da característica de qualidade estudada com a distância da amplitude do processo histórico. As fórmulas aprendidas são:

$$S = \sqrt{s^2} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}}{n - 1}$$

$$P_{pk} = \text{Minimo} \left(\frac{LSE - \bar{\bar{X}}}{3s}; \frac{\bar{\bar{X}} - LIC}{3s} \right)$$

- O índices Cp e Pp mostram o que acontece quando o processo trabalha de forma centralizada na nominal da especificação do projeto, enquanto o Cpk e Ppk representam o que acontece quando o processo não está centrado no ponto médio das especificações do projeto.

AUTOATIVIDADE



1 Uma peça “x” foi desenvolvida pela engenharia e tem a dimensão de projeto de 28 mm mais um campo de tolerância de $\pm 2,00$ mm. A empresa possui os processos “A” e “B” que poderiam ser utilizados em sua fabricação. Utilizando uma análise dos índices Cp, Cpk, Pp e Ppk, qual dos processos você indicaria ser trabalhado, você faria alguma recomendação?

A seguir apresentamos os valores coletados referentes aos dois processos:

PROCESSO A

SUBGRUPO (M)	AMOSTRAS/ REPLICATAS (N)					X BARRA	R
	X1	X2	X3	X4	X5		
1	27,1	28,5	27,4	29,0	27,0		
2	27,3	28,8	27,8	28,5	27,9		
3	28,0	28,4	27,9	27,9	27,7		
4	28,3	27,3	28,3	27,6	28,9		
5	27,5	28,4	27,7	28,8	28,9		
6	28,1	27,7	28,3	27,5	27,1		
7	28,2	29,0	28,1	28,2	27,2		
8	28,0	27,8	27,0	27,2	27,7		
9	27,6	27,3	28,4	28,1	27,3		
10	27,8	28,4	27,6	28,6	29,0		
11	28,6	27,0	27,2	28,7	28,2		
12	28,3	28,6	28,0	27,8	27,0		
13	28,8	27,6	28,2	28,8	27,3		
14	27,2	28,7	29,0	28,4	27,3		
15	27,1	28,4	27,4	27,1	27,7		
16	28,3	27,3	27,7	27,0	27,8		
17	28,4	28,5	28,9	29,0	27,1		
18	27,9	28,5	28,1	27,6	29,0		
19	28,2	27,3	27,9	27,9	27,3		
20	27,8	27,1	28,1	27,0	27,7		

PROCESSO B

SUBGRUPO (M)	AMOSTRAS/ REPLICATAS (N)					X BARRA	R
	X1	X2	X3	X4	X5		
1	28,9	27,8	29,1	29,5	29,0		
2	29,2	28,6	27,9	29,4	29,3		
3	30,3	28,7	30,6	27,9	30,6		
4	27,9	27,5	28,1	30,3	31,0		
5	29,8	27,9	29,4	29,0	30,5		
6	30,9	28,8	28,8	28,1	27,7		
7	30,8	30,8	28,4	30,9	28,6		
8	28,2	27,8	27,8	28,3	30,5		
9	30,5	28,7	28,6	28,7	27,5		
10	28,6	30,1	27,9	30,5	29,0		
11	30,8	27,9	29,8	28,9	28,6		
12	28,7	28,3	27,9	30,4	28,7		
13	28,7	29,7	30,3	29,1	27,6		
14	27,5	29,3	30,5	31,0	27,5		
15	28,4	29,7	30,4	27,5	29,4		
16	30,6	28,7	30,3	27,5	28,9		
17	29,5	29,4	30,3	29,2	28,9		
18	28,0	28,4	28,7	27,8	30,6		
19	28,6	29,6	30,4	27,5	29,9		
20	28,5	29,1	29,3	28,3	28,1		

APLICAÇÃO DO CEP

1 INTRODUÇÃO

Prezado acadêmico, estamos começando o último tópico deste livro, e ele tratará, principalmente, da aplicação do que você aprendeu sobre o CEP, relacionando com atividades fabris e a sua importância na fábrica moderna.

Com o advento da informática, dos *softwares* e *hardwares* cada vez mais robustos, vimos muitas técnicas e ferramentas que em um passado recente exigiam muito tempo de cálculo dos engenheiros, hoje estes *softwares* o fazem muito ligeiramente, dando uma agilidade enorme nos processos decisórios dos mesmos.

Apesar do advento desta informatização toda no mercado e nas indústrias, é primordial que os engenheiros possuam uma base sólida para interpretar os dados gerados pelos *softwares*, e assim tomar decisões melhores nos processos de fabricação.

Vamos agora conhecer um pouco mais sobre a aplicação nas fábricas modernas, finalizaremos com um exemplo prático de todo o processo de CEP.

2 A FÁBRICA MODERNA E O CEP

O controle estatístico do processo (CEP) é uma ferramenta importante para as indústrias se manterem competitivas no mercado, permitindo conhecer o processo, mantendo o mesmo em estado de controle estatístico e, principalmente, ajudando a melhorar a capacidade de produção e a qualidade final dos produtos, principalmente quando serve de apoio às ferramentas modernas, como a metodologia 6σ (sigma), *Lean Manufacturing*, entre outras.

Atualmente, o CEP, conforme Paladini (2012), é mais entendido como uma filosofia de gerenciamento que visa garantir a estabilidade de operação dos processos e a sua melhoria contínua.

O controle de qualidade, juntamente ao CEP, é de suma importância para garantir e assegurar a qualidade, eficácia e credibilidade dos produtos produzidos pela empresa, cumprindo assim as determinações impostas pelo consumidor.

As indústrias, para se manterem competitivas no mercado, precisam também se dispor a ser competitivas em seus processos de produção, e isto só acontece com processos robustos, e o CEP garante processos adequados ao grau de competitividade atual.

Atualmente, a própria automação da coleta de dados no chão de fábrica visa melhorar o resultado da utilização de mão de obra, evitando os desperdícios de utilização da mão de obra em tarefas sem valor agregado.

A utilização de uma solução de CEP moderna e versátil em tempo real possibilita a tomada de medidas preventivas, garantindo o controle do processo e potencializando as ações de qualidade.

A indústria moderna, com todos os processos de automação industrial e de ferramentas de *Business Intelligence* (BI), ERP, entre outras, precisa também focar na inteligência da produção, e principalmente na inteligência da qualidade. A metodologia CEP reforça este enfoque, principalmente se tivermos mão de obra habilitada para analisar os dados gerados e desenvolver trabalhos de melhoria nos processos.

Os engenheiros e gestores de produção baseiam as suas decisões nos dados obtidos na linha de produção e dos processos e a correta análise da produtividade e da qualidade. Métricas adequadas e capazes de retratar a eficiência no chão de fábrica são fundamentais para os engenheiros, e por isso é importante a utilização de parâmetros como a Capabilidade do Processo (CP) e o CEP, para um bom processo de tomada de decisão e gestão industrial.

Atualmente, o CEP não é mais uma ferramenta isolada dentro da produção, mas é sim integrada com outros sistemas de suporte de qualidade e desenvolvimento da inteligência da produção, e, não muito longe no tempo, deveremos ver a IA (Inteligência Artificial) dentro dos processos fabris, através de sensores e sistemas de controle, auxiliando-nos no intuito de produzir produtos adequados ao consumidor.

Precisamos, sim, para esta nova Revolução Industrial, de engenheiros capazes e capacitados para revolucionar os processos e seus controles.

Para encerrarmos esta unidade, iremos a seguir apresentar os principais passos para implantar o CEP em uma empresa, através de um exemplo prático, relembrando todos os procedimentos estudados neste livro.

3 APLICAÇÃO PRÁTICA E EXEMPLOS

Atualmente, temos muitos *softwares* disponíveis no mercado que trabalham o CEP e seus controles, mas ainda precisamos do ser humano para realizar as implementações dos procedimentos necessários para implantação da filosofia do CEP em uma organização. O Portal Action, que é uma das principais referências atuais em CEP, mencionou 12 etapas para implantação do CEP em uma organização, as quais foram resumidas e apresentadas no quadro a seguir.

QUADRO 5 – ETAPAS PARA IMPLANTAÇÃO DO CEP EM UMA ORGANIZAÇÃO

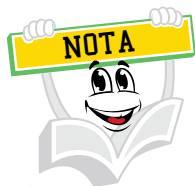
Etapa 1: Obter compromisso da alta administração	• Obter o compromisso efetivo da alta administração. • Formar um comitê de gerentes responsável pelo programa. • Responsável: Produção, Engenharia de Produto, Engenharia de Processo, Qualidade. • Ferramentas: Apresentação de consultores externos e seminários gerenciais.
Etapa 2: Formular uma política (diretrizes) Responsável: Comitê Ferramentas: Reuniões de trabalho.	• Indicar um “facilitador” e uma “equipe de melhoria”. • O comitê, em conjunto com o facilitador, deve estabelecer um plano geral que contemple as principais diretrizes do programa de CEP: 1. objetivos gerais; 2. as responsabilidades gerenciais; 3. a estratégia de treinamento; 4. os recursos necessários para execução do programa; 5. as necessidades financeiras; 6. cronograma.

Etapa 3: Estabelecer responsabilidades do facilitador e da equipe de melhoria Responsável: Comitê Ferramentas: Reuniões de trabalho.	• A principal função do facilitador é estabelecer, desenvolver e monitorar o programa de CEP. • Dependendo do tamanho da organização, talvez seja necessário indicar mais do que um facilitador. • Uma das principais responsabilidades do facilitador é de ser o treinador, de fornecer suporte às áreas que se propõem a implantar o CEP. • Principais características ou habilidades que o facilitador deve ter: boa comunicação, habilidades em análises estatísticas práticas, adequado relacionamento com o chão de fábrica, ter a confiança de todos os níveis da organização e ser um entusiasta do CEP. • A Equipe de Melhoria deve ser composta por representantes de cinco áreas: engenharia, gerência, produção, manufatura e controle da qualidade. • A principal responsabilidade da Equipe de Melhoria é a de participar das reuniões e sessões de <i>brainstorming</i> na busca e eliminação de causas especiais de variação.
Etapa 4: Definir uma estratégia de treinamento Responsável: Comitê e facilitador Ferramentas: Reuniões de trabalho.	• Algumas questões ajudam a definir a estratégia: 1. Quantas pessoas necessitam ser treinadas? 2. Quais os tipos diferentes de cursos que necessitam ser desenvolvidos? 3. Quem fará o treinamento? 4. Quantas pessoas serão treinadas? 5. Os treinamentos serão feitos fora ou dentro da empresa?
Etapa 5: Treinar gerentes e supervisores Responsável: Comitê Ferramentas: Apresentação de consultores externos e seminários gerenciais.	• Após definida a estratégia de treinamento, é importante realizá-los inicialmente com os gerentes e, em seguida, com os supervisores. • É importante que o treinamento seja complementado com uma atividade prática.

Etapa 6: Informar os operadores Responsável: Diretor, gerente geral Ferramentas: Técnicas de apresentação, vídeos.	• Declarar aos operadores que o CEP será implantado. • É importante lembrar que esta atividade de comunicação ainda não envolve treinamento.
Etapa 7: Envolver fornecedores Responsável: Comitê Ferramentas: Seminários gerenciais, treinamento etc.	• Muito provavelmente, as melhorias a serem obtidas com a implantação do CEP dependem da participação dos fornecedores. • A melhoria dos processos pode, algumas vezes, depender diretamente da melhoria da qualidade da matéria-prima.
Etapa 8: Escolha das características da qualidade para a aplicação do CEP. Responsável: Gerentes, técnicos e facilitador. Ferramentas: FMEA, MSA, Gráfico de Pareto.	• Para fazer a escolha das características de qualidade que serão avaliadas pelo CEP, sugerimos os seguintes pontos: 1. Análise das necessidades do cliente. 2. Especificações e desenhos fornecidos pelo cliente. 3. Regulações aplicadas (legislações). 4. FMEAs. 5. Resultados de testes. 6. Lições aprendidas do passado. • Na utilização de FMEAs sugerimos o seguinte critério: • D-FMEA detecta características de qualidade “potenciais” a serem avaliadas quando: 1. S = 10 ou 9 (S = Severidade) 2. S = 8 e se Ocorrência é estritamente maior do que 1 • P-FMEA transforma características de qualidade “potenciais” em características “confirmadas” quando: 1. S = 10 ou 9 2. S = 8 e se Ocorrência é estritamente maior do que 4 • Aplicar MSA às características escolhidas.

Etapa 10: Detecção das causas especiais e ações sobre o processo. Responsável: Manufatura, Facilitador, Técnicos e Equipe de Melhoria. Ferramentas: Gráficos de controle, Cp, Cpk, Pp, Ppk.	• Retirar os pontos fora de controle da fase de coleta de dados e recalcular os limites de controle. • Elaborar a carta de CEP com os limites fixados. • Definir quais os sinais de falta de controle. • Definir o responsável pela carta de CEP em cada turno de produção. • Definir o diário de bordo apropriado do processo em análise. • Treinar os envolvidos na melhoria do processo. • Reiniciar a coleta de dados. • Estabilizar o processo com ações de melhoria. • Avaliar a capacidade do processo. • Vai para a Etapa 9.
Etapa 11: Melhoria de Processo Responsável: Manufatura, Facilitador, Técnicos e Equipe de Melhoria. Ferramentas: Gráficos de controle, Cp, Cpk, Pp, Ppk	• Manter o CEP para monitorar o processo. • Aplicação de técnicas dos Seis Sigmas para melhoria de processo: 1. Identificação das causas comuns de variação. 2. Redução de causas comuns de variação. 3. Aplicação de DOE. • Vai para a Etapa 9.
Etapa 12: Monitoramento do Processo Responsável: Manufatura, Facilitador, Técnicos e Equipe de Melhoria. Ferramentas: Gráficos de controle, Cp, Cpk, Pp, Ppk.	• Elaborar o gráfico do farol. • Avaliar a capacidade do processo. • Vai para a Etapa 9.

FONTE: Adaptado de <<http://www.portaaction.com.br/controle-estatistico-do-processo/31-planejamento-para-implantacao-do-cep>>. Acesso em: 20 out. 2017.



Prezado acadêmico, você poderá encontrar outras variantes destas etapas de implantação do CEP em uma organização, mas a apresentada é uma das mais completas e detalhadas, e lhe permitirá utilizá-la se algum dia você necessitar implantar em uma organização.

Com as etapas definidas e em execução, agora precisamos montar um procedimento de cálculos necessários para a definição dos parâmetros de trabalho, e o faremos através de um exemplo completo, que apresentaremos a seguir.

3.1 MODELO COMPLETO DE DIMENSIONAMENTO DE CEP

A empresa PRENSANDO está implantando o CEP em sua linha de produção, e ela optou em fazê-lo inicialmente na linha de estampagem 1 com a peça chamada de “chapinha”, a qual tem uma dimensão de projeto de um rasgo a ser controlado de 4,50 mm, com tolerância de $\pm 0,15$ mm.

Como era a primeira vez que estavam levantando dados da linha de estampagem 1, optou-se em levantar 210 amostras no lote inicial separados em grupo de sete replicatas. Os dados coletados estão listados na tabela a seguir.

TABELA 35 – DADOS LEVANTADOS REFERENTE AO RASGO

SUB GRUPO (M)	AMOSTRAS/ REPLICATAS (N)								
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X BARRA	R
1	4,32	4,26	4,45	4,39	4,40	4,33	4,36		
2	4,48	4,56	4,31	4,52	4,26	4,58	4,59		
3	4,33	4,46	4,56	4,52	4,56	4,53	4,26		
4	4,45	4,54	4,53	4,30	4,31	4,28	4,36		
5	4,33	4,51	4,44	4,25	4,31	4,32	4,50		
6	4,40	4,55	4,52	4,42	4,42	4,44	4,46		
7	4,60	4,58	4,48	4,59	4,45	4,53	4,35		
8	4,26	4,51	4,54	4,32	4,60	4,30	4,48		
9	4,33	4,36	4,48	4,29	4,49	4,44	4,41		
10	4,52	4,25	4,56	4,35	4,35	4,53	4,55		

11	4,46	4,36	4,43	4,32	4,34	4,48	4,37		
12	4,54	4,59	4,30	4,50	4,47	4,49	4,48		
13	4,44	4,59	4,60	4,37	4,37	4,36	4,31		
14	4,41	4,31	4,56	4,50	4,49	4,39	4,48		
15	4,29	4,44	4,32	4,54	4,32	4,54	4,50		
16	4,41	4,28	4,46	4,53	4,25	4,57	4,51		
17	4,52	4,54	4,36	4,44	4,41	4,45	4,48		
18	4,60	4,43	4,48	4,45	4,39	4,55	4,27		
19	4,44	4,52	4,57	4,31	4,30	4,59	4,49		
20	4,50	4,49	4,58	4,54	4,54	4,46	4,30		
21	4,54	4,43	4,35	4,29	4,51	4,51	4,46		
22	4,37	4,33	4,50	4,34	4,58	4,31	4,36		
23	4,54	4,56	4,52	4,48	4,47	4,31	4,26		
24	4,25	4,41	4,42	4,45	4,52	4,37	4,38		
25	4,39	4,48	4,25	4,31	4,28	4,59	4,40		
26	4,57	4,46	4,35	4,39	4,38	4,34	4,29		
27	4,56	4,27	4,31	4,59	4,35	4,42	4,42		
28	4,56	4,48	4,25	4,48	4,50	4,28	4,46		
29	4,50	4,56	4,51	4,31	4,26	4,58	4,55		
30	4,27	4,50	4,26	4,33	4,40	4,38	4,41		

Podemos agora calcular XBARRA E R, logo, temos:

SUBGRUPO (M)	AMOSTRAS/ REPLICATAS (N)								
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X BARRA	R
1	4,37	4,36	4,55	4,47	4,30	4,46	4,42	4,42	0,25
2	4,31	4,49	4,52	4,50	4,25	4,28	4,44	4,40	0,27
3	4,49	4,44	4,56	4,45	4,54	4,28	4,42	4,45	0,28
4	4,38	4,52	4,30	4,38	4,31	4,44	4,33	4,38	0,22
5	4,34	4,45	4,47	4,54	4,33	4,58	4,53	4,46	0,25
6	4,48	4,46	4,42	4,47	4,32	4,57	4,60	4,47	0,28
7	4,45	4,43	4,41	4,48	4,52	4,60	4,34	4,46	0,26
8	4,40	4,41	4,25	4,25	4,44	4,34	4,48	4,37	0,23
9	4,56	4,34	4,33	4,33	4,36	4,47	4,32	4,39	0,24
10	4,48	4,45	4,47	4,48	4,27	4,41	4,28	4,41	0,21

11	4,58	4,29	4,41	4,43	4,41	4,46	4,52	4,44	0,29
12	4,29	4,50	4,57	4,40	4,36	4,27	4,46	4,41	0,30
13	4,60	4,60	4,38	4,44	4,52	4,56	4,28	4,48	0,32
14	4,25	4,28	4,35	4,52	4,30	4,53	4,56	4,40	0,31
15	4,28	4,46	4,50	4,27	4,60	4,36	4,60	4,44	0,33
16	4,36	4,39	4,57	4,41	4,30	4,47	4,29	4,40	0,28
17	4,48	4,41	4,35	4,46	4,27	4,33	4,56	4,41	0,29
18	4,51	4,32	4,30	4,47	4,40	4,38	4,51	4,41	0,21
19	4,45	4,45	4,52	4,55	4,35	4,41	4,34	4,44	0,21
20	4,57	4,33	4,55	4,34	4,26	4,31	4,26	4,37	0,31
21	4,60	4,37	4,40	4,50	4,50	4,32	4,51	4,46	0,28
22	4,28	4,45	4,52	4,31	4,51	4,36	4,41	4,41	0,24
23	4,58	4,52	4,47	4,45	4,58	4,51	4,28	4,48	0,30
24	4,56	4,60	4,38	4,48	4,31	4,34	4,41	4,44	0,29
25	4,27	4,32	4,47	4,50	4,29	4,56	4,32	4,39	0,29
26	4,53	4,44	4,39	4,48	4,31	4,27	4,48	4,41	0,26
27	4,27	4,53	4,31	4,28	4,38	4,54	4,28	4,37	0,27
28	4,59	4,40	4,52	4,60	4,29	4,50	4,51	4,49	0,31
29	4,44	4,37	4,54	4,38	4,32	4,45	4,31	4,40	0,23
30	4,44	4,48	4,56	4,32	4,56	4,53	4,29	4,45	0,27
MÉDIAS							4,423905	0,269333	

Precisamos agora definir os índices Cp, Cpk, Pp e Ppk com as fórmulas apresentadas a seguir, para inicialmente verificarmos se o processo está sob controle ou não.

$$\sigma_c = \frac{\bar{R}}{d_2} \tag{102}$$

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma_c} \tag{101}$$

$$C_{pk} = \text{Mínimo} \left(\frac{LSE - \bar{X}}{3\sigma_c}; \frac{\bar{X} - LIC}{3\sigma_c} \right) \tag{103}$$

$$S = \sqrt{s^2} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}}{n - 1} \tag{106}$$

$$P_p = \frac{LSE - LIE}{6s} \quad (105)$$

$$P_{pk} = \text{Mínimo} \left(\frac{LSE - \bar{\bar{X}}}{3s}; \frac{\bar{\bar{X}} - LIC}{3s} \right) \quad (103)$$

Chegamos aos seguintes resultados:

Cp=3,012
 Cpk=0,247
 Pp=2,950034
 Ppk=0,242246

Analisando os resultados através das tabelas, verificamos que os índices Cp e Pp estão adequados, mas os índices Cpk e Ppk não atendem às necessidades, indicando que o processo não está adequado.

Antes de continuarmos o processo é necessário ajustar os processos da linha de estampagem 1. Após a realização dos ajustes, retirou-se novamente 210 amostras, e as novas dimensões estão representadas na tabela a seguir.

TABELA 36 – NOVOS DADOS COLETADOS APÓS AJUSTES DO PROCESSO

SUBGRUPO (M)	AMOSTRAS/ REPLICATAS (N)								
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X BARRA	R
1	4,48	4,50	4,51	4,45	4,47	4,47	4,45	4,48	0,06
2	4,54	4,45	4,50	4,50	4,47	4,54	4,49	4,50	0,09
3	4,56	4,52	4,54	4,48	4,45	4,46	4,51	4,50	0,11
4	4,54	4,50	4,54	4,45	4,53	4,49	4,45	4,50	0,09
5	4,48	4,53	4,45	4,47	4,48	4,49	4,48	4,48	0,08
6	4,50	4,48	4,55	4,54	4,54	4,47	4,49	4,51	0,08
7	4,55	4,51	4,51	4,53	4,56	4,46	4,56	4,53	0,10
8	4,45	4,51	4,45	4,50	4,56	4,50	4,46	4,49	0,11
9	4,56	4,50	4,53	4,53	4,54	4,52	4,55	4,53	0,06
10	4,53	4,48	4,53	4,45	4,56	4,56	4,52	4,52	0,11
11	4,45	4,52	4,52	4,47	4,45	4,56	4,47	4,49	0,11
12	4,48	4,47	4,52	4,53	4,45	4,50	4,51	4,49	0,08
13	4,49	4,53	4,55	4,56	4,49	4,50	4,53	4,52	0,07
14	4,46	4,54	4,49	4,46	4,53	4,51	4,56	4,51	0,10

15	4,55	4,54	4,50	4,55	4,51	4,45	4,55	4,52	0,10
16	4,51	4,54	4,46	4,51	4,48	4,46	4,55	4,50	0,09
17	4,49	4,47	4,51	4,52	4,50	4,55	4,48	4,50	0,08
18	4,56	4,48	4,45	4,50	4,47	4,55	4,53	4,51	0,11
19	4,56	4,54	4,46	4,53	4,55	4,55	4,47	4,52	0,10
20	4,52	4,56	4,55	4,47	4,49	4,54	4,55	4,53	0,09
21	4,55	4,55	4,48	4,52	4,47	4,52	4,54	4,52	0,08
22	4,46	4,46	4,46	4,54	4,48	4,49	4,55	4,49	0,09
23	4,56	4,47	4,53	4,50	4,52	4,53	4,47	4,51	0,09
24	4,56	4,55	4,53	4,49	4,55	4,51	4,52	4,53	0,07
25	4,45	4,46	4,48	4,49	4,45	4,50	4,46	4,47	0,05
26	4,47	4,50	4,55	4,53	4,50	4,55	4,46	4,51	0,09
27	4,56	4,47	4,47	4,48	4,54	4,46	4,47	4,49	0,10
28	4,56	4,50	4,49	4,56	4,50	4,46	4,45	4,50	0,11
29	4,52	4,47	4,45	4,50	4,51	4,52	4,54	4,50	0,09
30	4,51	4,46	4,56	4,45	4,50	4,53	4,51	4,50	0,11

FONTE: O autor

Com estes novos dados, calcula-se novamente os valores de Cp, Cpk, Pp e Ppk:

Cp= 9,013
Cpk= 1,448
Pp= 8,3806
Ppk= 1,3467

Analisando o quadro a seguir para o índice de Cp, verificamos que é indicada a utilização do CEP.

QUADRO 6 – ÍNDICE CP E PERCENTUAL DE PRODUTOS DEFEITUOSOS

Valor de CP	Produto Fora da Especificação	Ação típica adotada
Menor que 1.0	Maior ou igual a 5%	Aumento de controle de processo, triagem, retrabalho etc.
1.0	0.3%	Aumento de controle de processo, inspeção.
1.33	64 ppm	Inspeção reduzida e utilização de cartas de controle.
1.63	1 ppm	Verificação pontual e utilização de cartas de controle.

FONTE: Adaptado de Montgomery (2004)

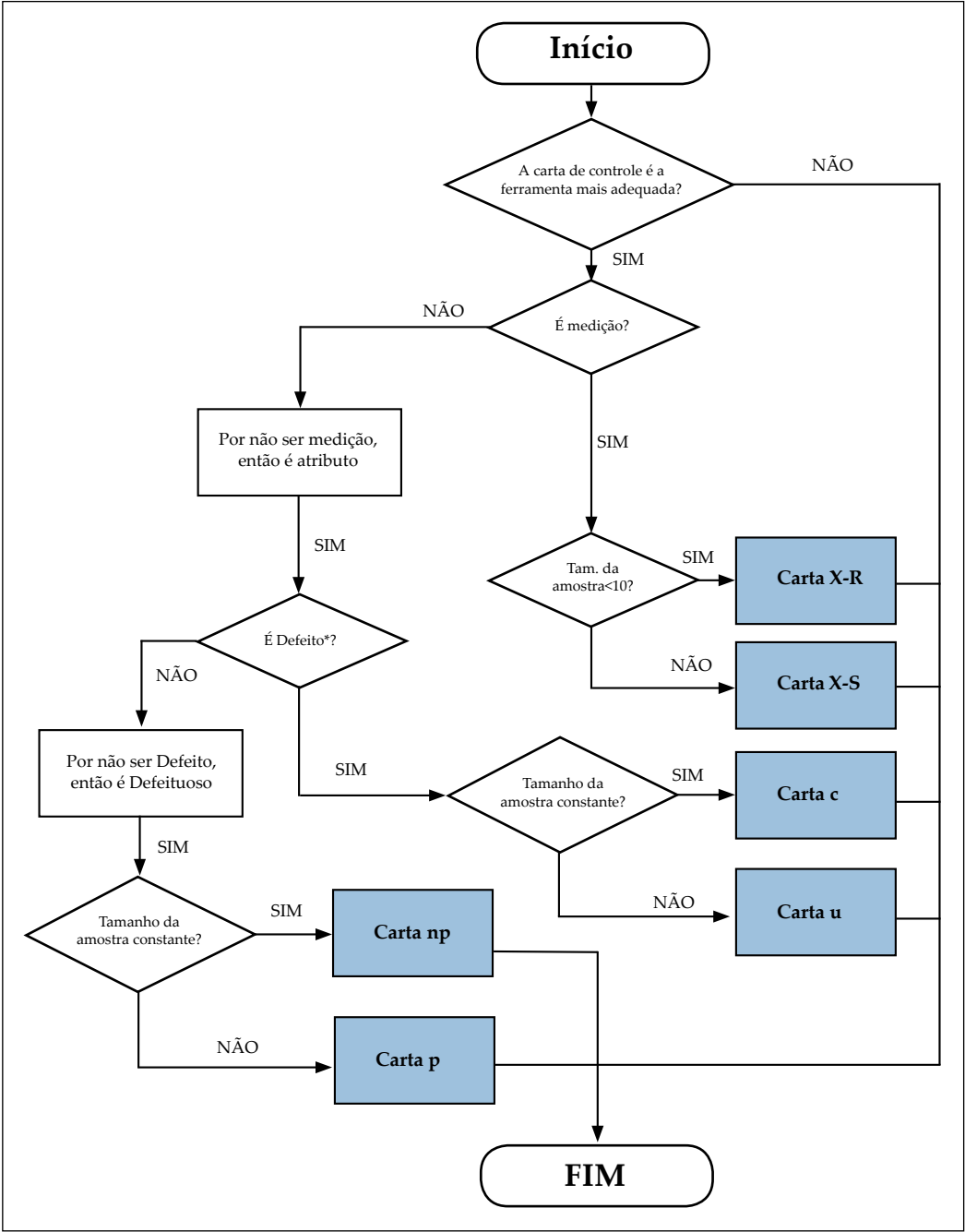
Agora, analisando o próximo quadro, também verificamos que Cpk e Ppk indicam que o processo é capaz.

QUADRO 7 – Cpk E SUA INTERPRETAÇÃO

	Interpretação
$Cpk < 1$	Processo incapaz
$1 \leq Cpk \leq 1,33$	Processo aceitável
$Cpk \geq 1,33$	Processo capaz

Já que identificamos que o processo é capaz, agora precisamos definir os limites de controle do CEP, e para isto precisamos ver que tipo de gráfico deveremos utilizar. A figura a seguir, disponibilizada na Unidade 2, servirá de orientação para definirmos o melhor tipo de gráfico (a replicamos aqui):

FIGURA 27 – FLUXOGRAMA DE AUXÍLIO PARA DEFINIÇÃO DO TIPO DE GRÁFICO DE CONTROLE A SER UTILIZADO



FONTE: Bertulucci (2016)

Como estamos lidando com amostras, e com tamanho de amostra menor que 10, que no nosso caso $n=7$, então escolheremos a carta tipo $\bar{X}$ -R, e utilizaremos as seguintes fórmulas para calcular:

Para a carta de $\bar{X}$:

$$LC = \mu = \bar{\bar{X}} \quad (9)$$

$$LSC = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R} \quad (12)$$

$$LIC = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R} \quad (13)$$

Para a carta de R:

$$LC = \bar{R} \quad (14)$$

$$LSC = D_4 \bar{R} \quad (19)$$

$$LIC = D_3 \bar{R} \quad (20)$$

Então, pelos dados apresentados na tabela anterior, temos:

$$\bar{\bar{X}} = 4,505$$

$$\bar{R} = 0,090$$

Da tabela do anexo 1, temos:

$$n=7$$

$$A_2 = 0,419$$

$$D_4 = 1,924$$

$$D_3 = 0,076$$

Com estes valores conseguimos calcular os limites de controle dos gráficos.

Para a carta de $\bar{X}$:

$$LC = 4,5054$$

$$LSC = 4,5430$$

$$LIC = 4,4680$$

Para a carta de R:

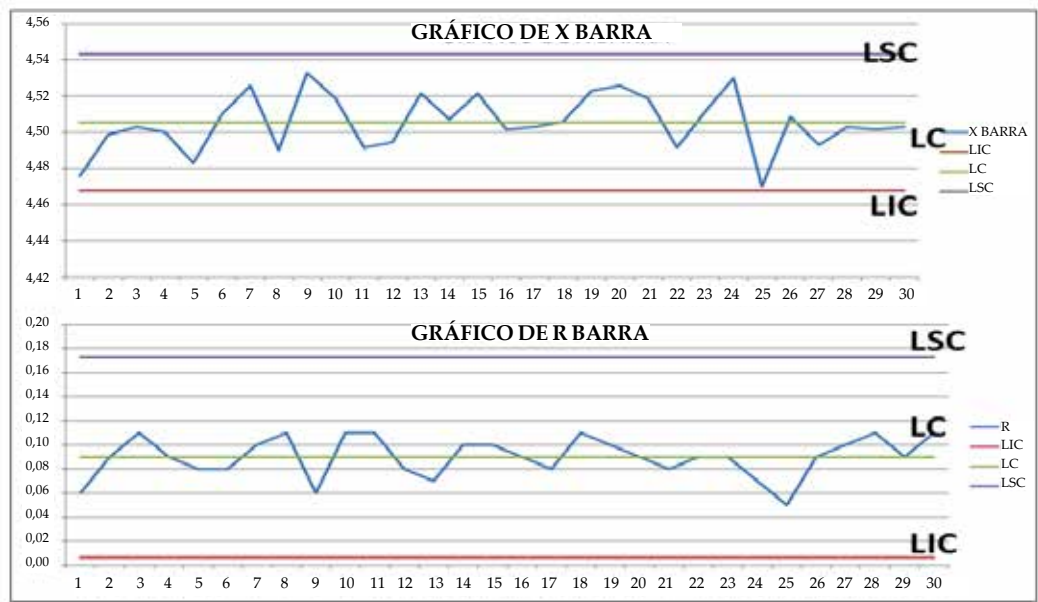
$$LC = 0,090$$

$$LSC = 0,173$$

$$LIC = 0,007$$

Assim, podemos lançar os primeiros dados apresentados nos gráficos a seguir.

GRÁFICO 24 – CONTROLE



FONTE: O autor

Conforme podemos observar, o presente processo está sob controle, e o grupo amostral consolidou o procedimento para a elaboração do processo de CEP, agora somente precisamos definir a periodicidade em que a produção irá recolher as amostras e implantar o CEP na linha de produção da “chapinha”.

Prezado acadêmico, estamos completando mais uma disciplina em seu curso, esperamos que você tenha gostado. É um assunto de relevante importância, principalmente para quem irá trabalhar com produção. Desejamos que você tenha aproveitamento desta disciplina. Apresentamos a seguir um texto que trata de procedimentos de implantação de CEP.

LEITURA COMPLEMENTAR

ETAPAS PARA IMPLANTAÇÃO DE CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO: UM ESTUDO APLICADO

ALVES; P. H. B. F.; NEUMANN, Carla S. R.; RIBEIRO, J. L. D.

[...]

3. Estudo de caso

A Empresa entrou em contato com a universidade através de um de seus gerentes. Segundo ele, a Empresa estaria interessada em começar a controlar estatisticamente seus processos e saber a capacidade de suas máquinas. Iniciou-se assim um projeto piloto de implantação de CEP em operações críticas, culminando com os cálculos de capacidade dessas máquinas, realizado pelos alunos da Empresa Junior e os profissionais da Empresa. A Empresa Junior funciona junto às instalações do curso de Engenharia de Produção e obtém todo o apoio dos professores do curso. A Empresa que foi auxiliada neste estudo situa-se na região metropolitana de Porto Alegre, possui aproximadamente 800 funcionários e fabrica armamentos de diversos tipos. Seu principal problema são as tolerâncias muito estreitas do produto manufaturado, o que gera altos índices de sucata e retrabalho.

Após análise das diferentes abordagens citadas na literatura, a equipe optou em adotar uma abordagem semelhante àquela proposta por Owen. A seguir, as etapas que foram desenvolvidas em conjunto pelos profissionais da empresa e pela equipe da universidade serão descritas e exemplificadas.

Etapas 1 – treinamento dos funcionários envolvidos: Nesta etapa, foram realizados treinamentos de 20 horas com o objetivo de capacitar o grupo de funcionários a desenvolver as atividades futuras propostas no CEP (análise estatística, elaboração de cartas de controle, monitoramento das cartas e análise de causas especiais). Foram treinados aproximadamente 100 funcionários divididos em quatro turmas. Participaram dos treinamentos funcionários de diferentes níveis (engenheiros, técnicos e operadores), setores (revólveres e pistolas) e turnos (manhã, tarde e noite).

Etapas 2 – escolha dos modelos: Nesta etapa, as peças para início do CEP foram escolhidas conjuntamente entre os integrantes da Empresa e a equipe responsável pelo projeto piloto. A escolha destas peças foi baseada na demanda, na ocorrência de problemas na fabricação (tais como índice de sucata e/ou retrabalho) juntamente com a ocorrência de problemas na montagem final das mesmas. Optou-se por trabalhar com quatro peças que serão denominadas de peça A, B, C e D. Todas as peças são de aço e envolvem principalmente operações de fresa.

Etapa 3 – estudo de repetitividade e reprodutibilidade: Esta etapa iniciou com a análise de cada peça selecionada, a fim de mensurar o quanto as medidas coletadas eram confiáveis. Todas as peças utilizavam o mesmo dispositivo de medição, sendo do tipo “passa ou não passa”. Sabe-se que estes dispositivos (gabaritos) permitem averiguar se a peça se encontra nos padrões de tamanho. Nas peças A e B o dispositivo de medição utilizava um relógio comparador, que quando ajustado usando um padrão de referência, indicava se a peça medida estava dentro ou fora das especificações. Já nas peças C e D, o dispositivo de medição consistia em um bloco padrão. Contudo, para implantação do CEP, foi necessário mudar o atual sistema de medição das quatro peças de atributos para variáveis, aumentando a riqueza das informações contidas nas cartas de controle. Para todas as peças foi necessário realizar alterações que podem ser observadas no Quadro 2.

QUADRO 2 – AÇÕES TOMADAS PARA APROVAR O SISTEMA DE MEDIÇÃO

Peça	Alteração
A	Melhoria no dispositivo de medição. Melhoria da fixação da peça ao dispositivo. Padronização das leituras. Treinamento dos operadores.
B	Melhoria no dispositivo de medição. Melhoria da fixação da peça ao dispositivo.
C	Aquisição de micrômetro externo. Aquisição de suporte para fixação do instrumento de medição. Treinamento dos operadores.
D	Aquisição de micrômetro interno. Desenvolvimento do dispositivo de fixação da peça. Treinamento dos operadores.

Os dados referentes aos estudos de R&R podem ser observados na tabela que se encontra abaixo. A coluna do número de rodadas indica o número de repetições de cada estudo. Após a execução das rodadas, o sistema de medição foi considerado apto a coletar os dados para as cartas de controle.

TABELA 2 – AÇÕES TOMADAS PARA APROVAR O SISTEMA DE MEDIÇÃO

Peça	R&R inicial (%)	R&R final (%)	Número de rodadas
A	32,4	27,3	2
B	51,5	29,6	6
C	52,5	25,6	4
D	73,9	28,1	5

Etapa 4 – treinamento específico dos operadores: Antes da primeira coleta de dados na linha de produção foram realizados treinamentos específicos para os operadores que participariam do monitoramento do CEP. Estes treinamentos foram realizados individualmente, e além de reforçar os objetivos gerais do CEP, tinham também o objetivo de solucionar algumas dúvidas dos operadores quanto aos procedimentos de preenchimento das cartas de controle. Para complementar este treinamento procedeu-se a elaboração de cartazes para a operacionalização do CEP, alertando sobre os cuidados na coleta, preenchimento das cartas e cálculos a serem realizados. Este material foi fixado junto às máquinas.

Etapa 5 – coleta e análise dos dados: A etapa de coleta de dados contemplou amostras obtidas com diferentes frequências de amostragem. Essas frequências eram devidas às diferentes demandas que os produtos possuíam. Em geral, procurou-se coletar aproximadamente 20% da produção. As frequências de amostragem podem ser observadas no Quadro 3.

QUADRO 3 – FREQUÊNCIAS DE AMOSTRAGEM

Peça	Frequência de amostragem/hora	Produção/hora
A	3 peças	20 peças
B	2 peças	12 peças
C	4 peças	20 peças
D	3 peças	15 peças

Esta etapa foi dificultada pelos equipamentos antigos que eram utilizados. Eram necessárias correções frequentes, devido aos desgastes do equipamento e das ferramentas, o que dificultou a distinção entre causas comuns e causas especiais. Ao serem encontradas causas especiais em cada peça foram viabilizadas diferentes soluções para cada caso, como pode ser visto no Quadro 4.

QUADRO 4 – AÇÕES TOMADAS PARA ELIMINAR AS CAUSAS ESPECIAIS

Peça	Ações
A	Troca da máquina Retirada dos cavacos
B	Não ocorreram causas especiais
C	A causa especial era gerada pela operação anterior. A operação anterior foi melhorada através de eliminação de cavacos, inserção de uma pré-operação e criação de um novo dispositivo de fixação da peça na máquina.
D	Confecção de nova ferramenta

Após implantação das melhorias propostas, foram realizados os cálculos de Cp e Cpk para cada peça, os quais podem ser observados na Tabela 3.

TABELA 3 – ÍNDICES DE CAPACIDADE DO PROCESSO

Peça	Cp	Cpk	Análise
A	1,19	1,04	Capaz
B	0,95	0,82	Incapaz
C	1,82	1,79	Extremamente capaz
D	1,58	1,13	Capaz

Observa-se que o processo da peça B foi considerado incapaz. Esse processo deve ser objeto de melhorias, de modo que possa atender às especificações definidas pela engenharia. No momento essas melhorias estão sendo realizadas.

Para as demais peças, os índices de Cp e Cpk revelam um processo capaz, com possibilidade de ganhos imediatos através da centralização do processo.

Como pontos positivos podem ser citadas as grandes participações dos processistas, dos supervisores, do grupo de metrologia e qualidade e especialmente dos operadores do setor. Observou-se que os operadores buscaram incorporar os conceitos dos treinamentos, mudando inclusive sua maneira de trabalhar.

4. CONCLUSÕES

Este estudo de caso apresentou as etapas desenvolvidas durante a implantação do CEP em uma empresa forjadora de aço. Observou-se que a Empresa envolvida forneceu o suporte necessário para a equipe de trabalho realizar as melhorias possíveis. As melhorias implantadas forneceram subsídios para justificar o desempenho do processo. A Empresa pretende dar continuidade ao projeto estendendo-o para outras operações.

Durante os cursos e os treinamentos individuais, as dificuldades dos operadores se evidenciaram, principalmente, no manuseio dos instrumentos de medição, no correto preenchimento das cartas de controle e nos cálculos matemáticos, o que pôde ser sanado. Por outro lado, o projeto trouxe vantagens evidentes para a empresa. A maior delas foi a maior compressão por parte dos operários no que diz respeito aos seus respectivos processos.

Também pode ser constatado um importante aprendizado por parte dos alunos integrantes da Empresa Junior, pois tiveram a oportunidade de colocar em prática vários conteúdos vistos nas disciplinas da graduação.

FONTE: Disponível em: <<http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:yu2LDtxUH2AJ:www.ufrgs.br/epr/upload/artigos/ArtigoCEP.doc+8cd=4&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br>>. Acesso em: 15 jul. 2017.

RESUMO DO TÓPICO 3

Neste tópico, você aprendeu que:

- O Controle Estatístico do Processo (CEP) é uma ferramenta importante para as indústrias se manterem competitivas no mercado.
- O CEP, atualmente, é uma filosofia de gerenciamento que visa garantir a estabilidade de operação dos processos e, principalmente, atuar na melhoria contínua dos processos.
- O CEP, na versão atual, busca a versatilidade e ações em tempo real, possibilitando aos gestores a tomada de medidas preventivas, garantindo o controle do processo e potencializando as ações de qualidade.
- Os engenheiros e gestores de produção baseiam as suas decisões através dos dados obtidos na linha de produção e dos processos.
- Métricas adequadas e capazes de retratar a eficiência no chão de fábrica são fundamentais para os engenheiros.
- As 12 etapas para implantar o CEP são:

Etapa 1: Obter compromisso da alta administração
Etapa 2: Formular uma política (diretrizes)
Etapa 3: Estabelecer responsabilidades do facilitador e da equipe de melhoria
Etapa 4: Definir uma estratégia de treinamento
Etapa 5: Treinar gerentes e supervisores
Etapa 6: Informar os operadores
Etapa 7: Envolver fornecedores
Etapa 8: Escolha das características da qualidade para a aplicação do CEP
Etapa 9: Coletar dados (FASE 1 do Modelo de Melhoria)
Etapa 10: Detecção das causas especiais e ações sobre o processo
Etapa 11: Melhoria de Processo
Etapa 12: Monitoramento do Processo

AUTOATIVIDADE



Um eixo foi desenvolvido pela engenharia e tem a dimensão de projeto de 50,00 mm mais um campo de tolerância de $\pm 0,50$ mm. Fazer todos os procedimentos de cálculo e definição para implantação do CEP na linha de usinagem, calculando o Cp, Cpk, Pp e Ppk.

SUBGRUPO (M)	AMOSTRAS/ REPLICATAS (N)								
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X BARRA	R
1	50,080	50,060	50,060	50,080	50,020	49,970	50,080	50,050	0,110
2	49,990	50,100	50,010	50,090	50,080	50,010	50,090	50,053	0,110
3	49,930	50,100	49,940	50,070	50,070	49,940	50,110	50,023	0,180
4	49,930	49,960	50,030	50,070	50,080	50,120	49,980	50,024	0,190
5	50,040	50,010	50,050	50,100	50,100	49,930	49,970	50,029	0,170
6	50,100	50,120	49,950	49,930	49,940	49,940	49,950	49,990	0,190
7	50,080	49,960	50,070	49,980	49,940	50,050	50,010	50,013	0,140
8	49,990	49,990	50,120	50,020	49,950	50,000	50,100	50,024	0,170
9	50,120	50,120	50,050	50,030	50,080	50,080	49,960	50,063	0,160
10	50,020	50,080	49,940	50,040	50,080	49,950	49,960	50,010	0,140
11	50,000	49,960	50,060	49,990	50,100	50,050	49,990	50,021	0,140
12	50,060	50,020	50,000	50,120	50,080	49,980	50,040	50,043	0,140
13	49,930	50,120	50,020	50,090	50,030	50,110	49,940	50,034	0,190
14	49,940	50,120	49,950	49,930	50,070	50,070	50,120	50,029	0,190
15	49,980	50,040	50,040	50,010	50,010	50,010	50,060	50,021	0,080
16	50,050	49,960	50,100	50,000	49,990	49,980	50,040	50,017	0,140
17	50,070	49,950	50,080	50,020	50,070	49,930	50,080	50,029	0,150
18	50,120	49,990	50,030	49,990	50,120	49,930	50,110	50,041	0,190
19	49,940	50,070	50,030	50,110	50,030	50,080	50,000	50,037	0,170
20	50,030	50,090	49,950	50,070	50,010	49,980	50,050	50,026	0,140
21	50,040	50,060	50,120	50,100	50,080	50,040	50,110	50,079	0,080
22	50,120	50,050	49,930	49,950	50,070	49,950	50,000	50,010	0,190
23	50,060	50,110	50,000	49,950	50,050	50,080	50,110	50,051	0,160
24	50,020	50,100	50,060	50,050	50,000	49,960	50,000	50,027	0,140
25	50,000	49,950	49,930	49,990	49,960	50,100	50,080	50,001	0,170
26	50,030	49,930	50,010	50,070	50,020	50,080	50,060	50,029	0,150
27	50,110	49,990	49,980	49,970	50,090	50,040	50,110	50,041	0,140
28	50,000	50,090	49,950	50,100	49,960	50,080	50,050	50,033	0,150
29	50,010	50,050	50,000	49,930	50,090	50,120	50,030	50,033	0,190
30	50,020	49,940	49,990	50,000	50,000	50,120	50,000	50,010	0,180

REFERÊNCIAS

BAPTISTA, Nilson. **Introdução ao estudo de controle estatístico de processo, CEP**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1996.

BARÇANTE, Luiz Cesar. **Qualidade total**: uma visão brasileira. Rio de Janeiro: Campus, 1998. Disponível em: <<https://professorbarcante.files.wordpress.com/2009/05/capic3adtulo-1-a-evoluc3a7c3a3o-da-qualidade.pdf>>. Acesso em: 7 maio 2017.

BERTULUCCI, Cristiano Silveira. **Cartas de Controle**. 2016. Disponível em: <<https://www.citisystems.com.br/cartas-de-controle/>>. Acesso em: 20 jun. 2017.

CAULLIRAUX, Heitor; CLEMENTE, Rafael; PAIM, Rafael. **Gestão de Processos**. Porto Alegre: Bookman, 2009.

DATALYZER. **Cp e Cpk – Série**: Índices de Capacidade e Performance do Processo. Disponível em: <<http://www.datalyzer.com.br/site/suporte/administrador/docs/arquivos/doc57/57.html>>. Acesso em: 10 jul. 2017.

DINIZ, Marcelo Gabriel. **Desmistificando o controle estatístico de processo**. São Paulo: Artliber, 2001.

FALCONI, Vicente. **O verdadeiro poder**: práticas de gestão que conduzem a resultados revolucionários. Nova Lima: INDG Tecnologia e Serviços Ltda., 2009.

FALCONI, Vicente. **Qualidade total**: padronização de empresas. Nova Lima, MG: INDG Tecnologia e Serviços, 2004.

GARVIN, David A. **Gerenciando a qualidade**: a visão estratégica e competitiva. Rio de Janeiro: Qualitymark Ed., 2002.

HARBOR. **Capacidade e Performance**: entenda os índices Cp, Cpk, Pp e Ppk. Disponível em: <<https://www.harbor.com.br/harbor-blog/2017/07/06/capacidade-performance-significado/>>. Acesso em: 10 jul. 2017.

LIMA, A. A. N. et al. Aplicação do controle estatístico de processo na indústria farmacêutica. **Rev. Ciênc. Farm. Básica Apl.**, v. 27, n. 3, p. 177-187, 2006. Disponível em: <http://serv-bib.fcfar.unesp.br/seer/index.php/Cien_Farm/article/viewFile/380/364>. Acesso em: 10 maio 2017.

LOUZADA, Francisco; DINIZ, Carlos. **Controle Estatístico de Processos**: Uma abordagem para cursos de Engenharia e Administração. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

LUCINDA, Marco Antônio. **Qualidade**: fundamentos e práticas para cursos de graduação. Rio de Janeiro: Brasport, 2010.

MARTINS, Petrônio G; LAUGENI, Fernando P. **Administração da produção**. 2. ed. rev., aum. e atual. São Paulo: Saraiva, 2005.

MONTGOMERY, Douglas C. **Introdução ao controle estatístico da qualidade**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004.

MOREIRA, Daniel Augusto. **Administração da produção e operações**. 2. ed. revisada e ampliada. São Paulo: Cengage Learning, 2008.

OLIVEIRA, Camila Cardoso de et al. **Manual para elaboração de cartas de controle para monitoramento de processos de medição quantitativos em laboratórios de ensaio**. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2013. Disponível em: <http://www.ial.sp.gov.br/resources/editorinplace/ial/2016_3_19/manual-carta-controle_ial_2013.pdf>. Acesso em: 5 jun. 2017.

OLIVEIRA, Otávio José de. **Gestão da qualidade**: tópicos avançados. São Paulo: Thomson, 2004.

PALADINI, Edson P. **Gestão da qualidade**: teoria e prática. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2012.

PIERITZ, Alfredo Netto. **Gestão de processos de produção**. Centro Universitário Leonardo da Vinci – Indaial, Grupo UNIASSELVI, 2010(a).

PIERITZ, Alfredo Netto. **Gestão de processos de produção**. Indaial: Grupo UNIASSELVI, 2010b.

PIERITZ, Alfredo Netto. **Organização do trabalho industrial**. Indaial: Grupo UNIASSELVI, 2016.

PIERITZ, Alfredo Netto. **Planejamento industrial**. Indaial: Grupo UNIASSELVI, 2010.

PRADELLA, Simone; FURTADO, J. C.; KIPPER, L. M. **Gestão de processos**: da teoria à prática. São Paulo: Atlas, 2016.

RIBEIRO, José Luís Duarte; CATEN, Carla Shwengber ten. **Controle Estatístico do Processo**: Cartas de Controle para Variáveis, Cartas de Controle para Atributos, Função de Perda Quadrática, Análise de Sistemas de Medição. Porto Alegre: FEENG/UFRGS, 2012. Disponível em: <http://www.producao.ufrgs.br/arquivos/disciplinas/388_apostilacep_2012.pdf>. Acesso em: 20 maio 2017.

ROSA, Leandro C. da. **Introdução ao controle estatístico de processos**. Santa Maria: Ed. da UFSM, 2015. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=TxIUQAAQBAJ&pg=PA132&lpg=PA132&dq=defini%C3%A7%C3%A3o+de+controle+estatistico+de+qualidade+paladini&source=bl&ots=buXK2767DD&sig=c8jvnG8Iw-JVeYrko1RdmgXLmB0&hl=pt-BR&sa=X&ved=0ahUKEwils-a28IDUAhXDIZAKHQsxAvQ4ChDoAQhdMAc#v=onepage&q=defini%C3%A7%C3%A3o%20de%20controle%20estatistico%20de%20qualidade%20paladini&f=false>>. Acesso em: 5 maio 2017.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração de Produção**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

SLACK, Nigel et al. **Administração da produção**: edição compacta. São Paulo: Atlas, 2006.

ANEXO

VALORES DAS CONSTANTES PARA CÁLCULO DOS LIMITES DE CONTROLE

n	Fatores para Limites de Controle											Fatores para Linha Central			
	A	A ₂	A ₃	B ₃	B ₄	B ₅	B ₆	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	c ₄	1/c ₄	d ₂	1/d ₂
2	2,121	1,880	2,659	0,000	3,267	0,000	2,606	0,000	3,686	0,000	3,267	0,7979	1,2533	1,128	0,8865
3	1,732	1,023	1,954	0,000	2,568	0,000	2,276	0,000	4,358	0,000	2,574	0,8862	1,1284	1,693	0,5907
4	1,500	0,729	1,628	0,000	2,266	0,000	2,088	0,000	4,698	0,000	2,282	0,9213	1,0854	2,059	0,4857
5	1,342	0,577	1,427	0,000	2,089	0,000	1,964	0,000	4,918	0,000	2,114	0,9400	1,0638	2,326	0,4299
6	1,225	0,483	1,287	0,030	1,970	0,029	1,874	0,000	5,078	0,000	2,004	0,9515	1,0510	2,534	0,3946
7	1,134	0,419	1,182	0,118	1,882	0,113	1,806	0,204	5,204	0,076	1,924	0,9594	1,0423	2,704	0,3698
8	1,061	0,373	1,099	0,185	1,815	0,179	1,751	0,388	5,306	0,136	1,864	0,9650	1,0363	2,847	0,3512
9	1,000	0,337	1,032	0,239	1,761	0,232	1,707	0,547	5,393	0,184	1,816	0,9693	1,0317	2,970	0,3367
10	0,949	0,308	0,975	0,284	1,716	0,276	1,669	0,687	5,469	0,223	1,777	0,9727	1,0281	3,078	0,3249
11	0,905	0,285	0,927	0,321	1,679	0,313	1,637	0,811	5,535	0,256	1,744	0,9754	1,0252	3,173	0,3152
12	0,866	0,266	0,886	0,354	1,646	0,346	1,610	0,922	5,594	0,283	1,717	0,9776	1,0229	3,258	0,3069
13	0,832	0,249	0,850	0,382	1,618	0,374	1,585	1,025	5,647	0,307	1,693	0,9794	1,0210	3,336	0,2998
14	0,802	0,235	0,817	0,406	1,594	0,399	1,563	1,118	5,696	0,328	1,672	0,9810	1,0194	3,407	0,2935
15	0,775	0,223	0,789	0,428	1,572	0,421	1,544	1,203	5,741	0,347	1,653	0,9823	1,0180	3,472	0,2880
16	0,750	0,212	0,763	0,448	1,552	0,440	1,526	1,282	5,782	0,363	1,637	0,9835	1,0168	3,532	0,2831
17	0,728	0,203	0,739	0,466	1,534	0,458	1,511	1,356	5,820	0,378	1,622	0,9845	1,0157	3,588	0,2787
18	0,707	0,194	0,718	0,482	1,518	0,475	1,496	1,424	5,856	0,391	1,608	0,9854	1,0148	3,640	0,2747
19	0,688	0,187	0,698	0,497	1,503	0,490	1,483	1,487	5,891	0,403	1,597	0,9862	1,0140	3,689	0,2711
20	0,671	0,180	0,680	0,510	1,490	0,504	1,470	1,549	5,921	0,415	1,585	0,9869	1,0133	3,735	0,2677
21	0,655	0,173	0,663	0,523	1,477	0,516	1,459	1,605	5,951	0,425	1,575	0,9876	1,0126	3,778	0,2647
22	0,640	0,167	0,647	0,534	1,466	0,528	1,448	1,659	5,979	0,434	1,566	0,9882	1,0119	3,819	0,2618
23	0,626	0,162	0,633	0,545	1,455	0,539	1,438	1,710	6,006	0,443	1,557	0,9887	1,0114	3,858	0,2592
24	0,612	0,157	0,619	0,555	1,445	0,549	1,429	1,759	6,031	0,451	1,548	0,9892	1,0109	3,895	0,2567
25	0,600	0,153	0,606	0,565	1,435	0,559	1,420	1,806	6,056	0,459	1,541	0,9896	1,0105	3,931	0,2544

FONTE: OLIVEIRA, Camila Cardoso de et al. **Manual para elaboração de cartas de controle para monitoramento de processos de medição quantitativos em laboratórios de ensaio**. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2013. Disponível em: <http://www.ial.sp.gov.br/resources/editorinplace/ial/2016_3_19/manual-carta-controle_ial_2013.pdf>. Acesso em: 5 jun. 2017.