

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO DE ADMINISTRAÇÃO GERAL E APLICADA
CENTRO DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO INDUSTRIAL**

**REVISÃO TEÓRICA DO CEP – EXEMPLO PRÁTICO EM INDÚSTRIA
DE ARGAMASSAS**

ISABELLA SILVESTRE DE MORAES

Monografia apresentada à Universidade Federal do Paraná, Departamento de Administração Geral e Aplicada, como parte das exigências para obtenção do título de Especialista em Administração Industrial.

Curitiba – Paraná – Brasil
Abril de 2005

2.10.5. Carta de controle do número de defeitos por unidade (Carta u)	41
2.10.6. Classificação de defeitos	41
3. VANTAGENS DA ESTABILIDADE OU DO ESTADO DE CONTROLE ESTATÍSTICO	43
4. INSPEÇÃO POR AMOSTRAGEM	45
4.1. Conceitos fundamentais e tipos	45
4.2. Lotes rejeitados	46
5. IMPLEMENTAÇÃO DO CEP	48
6. EXEMPLO PRÁTICO	52
6.1. Descrição geral da empresa	52
6.2. Faturamento da empresa	53
6.3. Produtos e serviços	53
6.3.1. Cimento	53
6.3.2. Cal	53
6.3.3. Agregados	54
6.3.4. Corretivos agrícolas	54
6.3.5. Argamassas	55
6.3.6. Sistema Matrix	55
6.4. Proposta - aspectos gerais do estudo de caso	55
6.4.1. Procedimentos para avaliação da estabilidade do processo	56
6.4.1.1. Coleta de dados para o controle do processo	56
6.4.1.2 Resultados obtidos	57
7. CONCLUSÕES	65
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67
ANEXOS	68

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1 - Fatores d_2 para cálculo de S^2_{rpt} e S^2_{rpd}	38
Tabela 2 - Medidas da resistência à compressão para argamassas (MPa)	57
Tabela 3 – Valores de amplitudes móveis	57

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1 – Controle por detecção	14
Figura 2 – Controle por prevenção	15
Figura 3 – Fluxograma do processo – símbolos	16
Figura 4 – Fluxograma do processo	16
Figura 5 – Tabela de registro de ocorrência e gráfico de contagem	17
Figura 6 – Diagrama de causa e efeito de Ishikawa	19
Figura 7 – Histograma de frequência	20
Figura 8 – Gráfico de Pareto	21
Figura 9 – Exemplo de distribuição de frequência de combinações	23
Figura 10 – Esquema de grafico de controle	25
Figura 11 – Cartas de controle para a resistência à compreensão	60
Figura 12 – Avaliação da capacidade do processo de fabricação de argamassa	61
Figura 13 – Classificação do processo a partir do índice C_p	62
Figura 14 – Relacionamento entre os índices C_p e C_{pk}	63
Figura 15 – Ação que deve ser adotada para melhorar a capacidade do processo, em função da comparação das magnitudes C_p e C_{pk}	64

RESUMO

Esta monografia aborda o Controle Estatístico do Processo como uma ferramenta para monitorar um processo produtivo, com a finalidade de controlar a qualidade dos produtos ou serviços no momento em que estão sendo produzidos, em lugar de realizar-se uma inspeção após sua produção. Serão abordadas as principais representações gráficas, que permitem visualizar e analisar o desempenho ao longo do processo produtivo, como gráficos de controle, diagrama de causa e efeito, histograma de frequência e cartas de controle. Também, será pontuada uma abordagem histórica do Controle de Qualidade e do Método Deming de Administração, além de um exemplo prático, realizado no Grupo Votorantim, visando à aplicação desse método, através das cartas de controle, para avaliar a estabilidade e a capacidade do processo de fabricação de argamassa, quanto à resistência para determinado tipo de revestimento.

Termos para indexação: CEP – Método Deming – cartas de controle – estabilidade do processo – controle de qualidade

APRESENTAÇÃO

Controle Estatístico de Processo é um método para monitoramento de qualquer processo produtivo, com o objetivo de controlar a qualidade dos produtos ou serviços no momento em que estão sendo produzidos, em vez de confiar numa inspeção após estarem prontos. Assim, o operador pode agir de imediato, se constatar algum tipo de anomalia.

Este trabalho é uma monografia que estudará as 7 ferramentas do Controle Estatístico do Processo, ou seja, os fluxogramas, as folhas de verificação, os histogramas, os diagramas de dispersão, o diagrama de Pareto, o diagrama de causa e efeito e as cartas de controle.

Esses itens são indispensáveis como ferramentas para o controle da qualidade, nas várias divisões do processo de produção, tanto na fabricação, como planejamento, projeto, marketing, compras e tecnologia.

Esta monografia apresentará, finalmente, exemplo prático realizado no Grupo Votorantim, localizado em São Paulo, onde serão usadas as cartas de controle, com a finalidade de avaliar a estabilidade e a capacidade do processo de produção de argamassa, quanto à resistência para determinado tipo de revestimento.

1. INTRODUÇÃO

O Controle Estatístico é considerado pela maioria das pessoas como um método sofisticado, que requer conhecimentos profundos de teorias estatísticas e aplicável apenas aos processos de fabricação.

Este trabalho tem como objetivo geral demonstrar que a maioria das técnicas abordadas utiliza, somente, operações elementares de aritmética, funções matemáticas e estatísticas do Microsoft Excel, que podem ser aplicáveis a qualquer processo repetitivo e mensurável.

O objetivo específico é avaliar a estabilidade do processo de produção da argamassa, através da utilização das ferramentas de Cartas x AM.

A justificativa deste estudo evidencia-se no fato de o Controle Estatístico de Processo ser o ramo do Controle da Qualidade que consiste na coleta, análise e interpretação de dados para a utilização nas atividades de melhoria e controle de produtos e serviços.

Assim, este trabalho justifica-se na medida em que visa a aplicar, através de um exemplo prático, o Controle Estatístico do Processo em uma empresa que se reveste de imensa relevância no cenário econômico do país.

Será apresentada uma revisão teórico-empírica, baseada em bibliografia especializada sobre o assunto, uma seção destinada ao exemplo prático, com a descrição geral da empresa em estudo e, no final, as conclusões obtidas do estudo de caso.

Em relação à metodologia utilizada no estudo, será feito levantamento bibliográfico e de informações gerais, com o diagnóstico da situação, na própria empresa. Também, serão usadas planilhas executadas através do programa Microsoft Excel.

Na última seção, esta monografia apresentará as conclusões obtidas do estudo de caso e sua adequação, ou não, aos fundamentos teóricos expostos anteriormente no desenvolvimento do trabalho.

2. REVISÃO TEÓRICO-EMPÍRICA

2.1. Controle estatístico do processo – conceito e histórico

Deming (1997) define qualidade como “Atender continuamente às necessidades e expectativas dos clientes a um preço que eles estejam dispostos a pagar”.

A Norma ISO 8402 define esse termo como “a totalidade das características de uma entidade que lhe confere a capacidade de satisfazer necessidades explícitas e implícitas dos clientes” (International Organization for Standartization).

A história do Controle Estatístico de Qualidade é tão antiga quanto a própria indústria, em seus primórdios, quando a qualidade era controlada, principalmente, pela imensa experiência dos artesãos da época. Essa experiência, aliada ao domínio de todo o processo produtivo, garantia a qualidade dos produtos fornecidos.

Para Ishikawa (1993), no controle da qualidade,

Fatos são importantes e sua importância precisa ser claramente reconhecida. Após fazer isto, tente expressar estes fatos com dados precisos. O passo final é utilizar métodos estatísticos para analisar os dados, que lhe permitirão fazer uma estimativa, expressar um julgamento e, em seguida, executar a ação apropriada (p. 113).

Modernamente, o sistema industrial iniciou uma nova técnica, onde o processo de produção dividia as operações complexas em tarefas simples, que podiam ser executadas por trabalhadores com habilidades específicas. Como conseqüência, o operário deixou de ser responsável pela fabricação de todo o produto, ficando responsável apenas por parte desse.

Porém, segundo Deming (1997), esse sistema produtivo possibilitou a fabricação em massa de produtos de baixo custo, trazendo também alguns novos

problemas. Um deles foi a necessidade de intercambiar adequadamente as peças componentes de um produto, que era uma exigência básica de um processo produtivo baseado na linha de montagem.

Assim, nesse contexto surgiu a inspiração cujo objetivo principal era assegurar peças intercambiáveis e produtos uniformes. Desse modo, a inspeção visava separar os itens inadequados, a partir do estabelecimento das especificações e dos limites de tolerância.

No início, a inspeção era realizada em todos os itens produzidos, mas com o crescimento da demanda e a conseqüente intensificação da produção em massa, surgiu a necessidade de aumento da produtividade industrial, levando à revisão das atividades de inspeção, que deveriam ser aprimoradas e ter seus custos reduzidos.

Como conseqüência, métodos estatísticos começaram a ser usados na indústria, como alternativa à inspeção 100% de uma produção em franco crescimento. Surgiu, então, a inspeção por amostragem.

A simples inspeção final, entretanto, não melhorava a qualidade dos produtos fornecidos, apenas fornecia informações sobre o nível de qualidade desses e separava os itens conformes daqueles não-conformes. A preocupação constante com os custos e com a produtividade deu origem a seguinte indagação: como utilizar as informações obtidas com a inspeção para melhorar a qualidade dos produtos?

A resposta a essa indagação levou ao reconhecimento de que a variabilidade era um fator inerente aos processos industriais e podia ser compreendida através da estatística e da probabilidade. Logo, compreendeu-se que a obtenção das informações necessárias não implicava uma inspeção 100% dos itens produzidos, podendo ser feita através de amostragens adequadamente dimensionadas e planejadas.

Além disso, não era mais necessário esperar a conclusão do ciclo de produção para realizar as medições, pois as mesmas poderiam ser feitas durante o processo de fabricação.

Em 1924, W. A. Shewhart, da Bell Telephone Laboratories, desenvolveu uma carta estatística para o controle da variabilidade dos produtos. Este é considerado o começo do Controle Estatístico da qualidade, e Shewhart, o "Pai" do Controle Estatístico da Qualidade. No final da década de 20, H. F. Dogde e H. G.

Romig, ambos trabalhando também na Bell Telephone Laboratories, desenvolveram a área de inspeção por amostragem, como substituição da inspeção 100%.

Porém, o reconhecimento do valor do Controle Estatístico da Qualidade tornou-se evidente a partir de 1942, durante a Segunda Guerra Mundial, quando foi considerado segredo de estado dos Estados Unidos.

Em 1960, foi formado pelo Japão o primeiro Círculo de Controle de Qualidade, por K. Ishikawa. Técnicas simples de controle de qualidade foram aprendidas e aplicadas pelos trabalhadores japoneses, incluindo os operadores.

Os estudos da capacidade do processo têm por objetivo verificar se um processo, estatisticamente estável, atende as especificações de engenharia do produto, ou se há geração de itens não-conformes. Tal análise costuma ser efetuada mediante cálculo e interpretação de índices específicos para essa finalidade.

Assim, para Deming (1990), a estratégia básica na gestão da qualidade é a utilização da estatística para a tomada de decisão, enfatizando o uso de dados numéricos.

Segundo Shewhart, citado por Deming (1990) um processo estável, sem indicação de causa especial de variação é considerado “sob controle estatístico”, ou estável. É um processo cujas variações são aleatórias e seu comportamento, no futuro próximo, é previsível. Embora, com o surgimento de uma mudança brusca, que tire o processo do controle estatístico, o sistema sob tal controle tem uma identificação e uma capacidade definíveis.

Walton (1989) afirma que “o uso dos gráficos de controle é conhecido, em geral, por Controle Estatístico da Qualidade (CEQ) ou Controle Estatístico do Processo (CEP)” (p. 120).

No estado de controle estatístico, todas as causas especiais detectadas até então já foram removidas. A variação remanescente – ou seja, as causas comuns – deve ser deixada ao acaso, a menos que novas causas especiais surjam e sejam removidas. Isso não significa não fazer nada, no estado de controle estatístico; significa, por um lado, não agir quando das subidas e descidas remanescentes, já que a ação criaria uma variação adicional e mais perturbações.

Por outro lado, significa que o passo seguinte é melhorar o processo num esforço interminável. A melhora do processo pode ser realizada eficazmente, uma vez conseguido e mantido o controle estatístico.

A remoção de causas comuns: de perturbação e de variação; de erros; de falhas; de baixa produção; de baixas vendas; e da maioria dos acidentes é de responsabilidade da administração.

Assim, vários casos comuns podem surgir como más vendas causadas por um produto defeituoso ou por preço muito elevado. O operador da máquina nada pode fazer com relação a causas que são comuns a todos no trabalho, como a iluminação ou a compra de matéria-prima.

Entretanto, Deming (1990) afirma que:

(...) o controle estatístico é essencial para a administração, a engenharia, a fabricação, a aquisição de materiais e os serviços. Estabilidade, ou existência de um sistema, raramente é um estado natural, mas é o resultado da eliminação de causas especiais, uma a uma, baseando-se nos sinais estatísticos, fazendo com que reste apenas a variação aleatória a qual quando existe, sozinha, caracteriza um processo estável (p. 230).

Assim, por ser um método para monitoramento de qualquer processo produtivo, com o objetivo de controlar a qualidade dos produtos ou serviços no momento em que estão sendo produzidos, a característica mais desafiante do CEP é o confronto entre a Prevenção e a tradicional Detecção, ou seja, a ação imediata versus ação após o fato.

2.2. Controle por detecção e controle por prevenção

Na abordagem de controle por detecção, o produto ou serviço, depois de concluído, é comparado com as especificações e considerado conforme e aceito, ou não conforme e rejeitado, devolvido para ser retrabalhado, ou ainda vendido a preço de sucata, evidenciando-se como uma fonte de desperdício.

No controle por prevenção, são feitas medições periódicas e seletivas em tempo real ao longo da jornada de trabalho, tanto do produto ou serviço como do

processo. Desse modo, no fim do ciclo produtivo, o produto ou serviço deve estar conforme com as especificações e pronto para consumo pelo usuário.

Em geral, todos concordam em que é melhor evitar desperdício, reduzir custos e melhorar o produto, e o controle por prevenção faz exatamente isso. As Figuras 1 e 2 ilustram os dois conceitos.

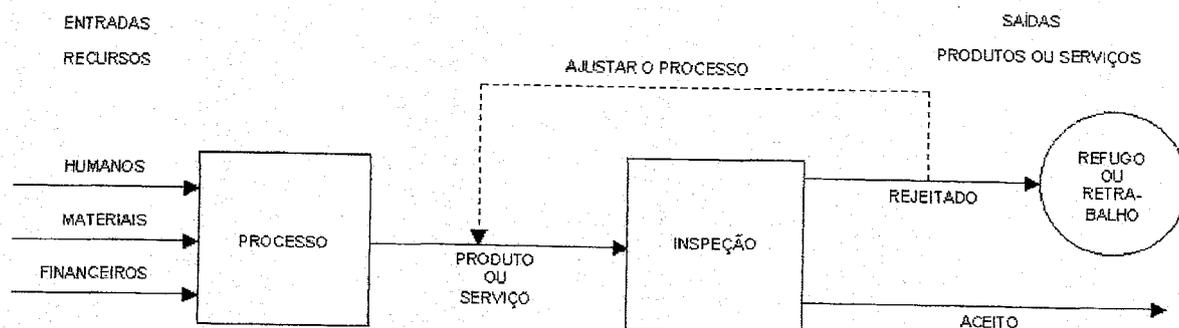


Figura 1 – Controle por detecção

2.3. Gráficos e diagramas para monitoramento do processo

A coleta pura e simples dos dados não reflete, com clareza, o que acontece nas operações de um processo produtivo. Para revelar o que realmente ocorre, os dados devem ser ordenados e estruturados.

O Controle Estatístico do Processo usa gráficos e diagramas, para ordenar e estruturar as operações do processo, os quais proporcionam a maneira precisa e sistemática de avaliar a informação e ajudar a determinar a estabilidade do processo, as causas dos problemas (se e quando surgem) com o objetivo de satisfazer as necessidades dos clientes.

Para Deming (1990),

O princípio básico é que ninguém deve ser culpado ou penalizado por um desempenho que não possa controlar. A violação deste princípio pode apenas levar à frustração e à insatisfação com o trabalho, e à redução da produção (p. 186).

Portanto, as representações gráficas oferecem melhores recursos de visualização, para ilustrar o desempenho e permitir a análise dos dados coletados, o que proporcionará uma avaliação contínua de todo o processo produtivo. Os três

primeiros gráficos apresentados nos próximos parágrafos - Fluxograma do Processo, Gráfico de Contagem e Diagrama de Causa e Efeito - não se constituem como técnicas estatísticas, porém são excelentes auxiliares para a análise e compreensão do processo em estudo.

Porém, os três gráficos seguintes - Histograma de Freqüência, Gráfico de Pareto e Gráficos de Controle - formam a estrutura estatística do método, e a ferramenta mais importante do Controle Estatístico do Processo são os Gráficos de Controle (Nunes, 2000).

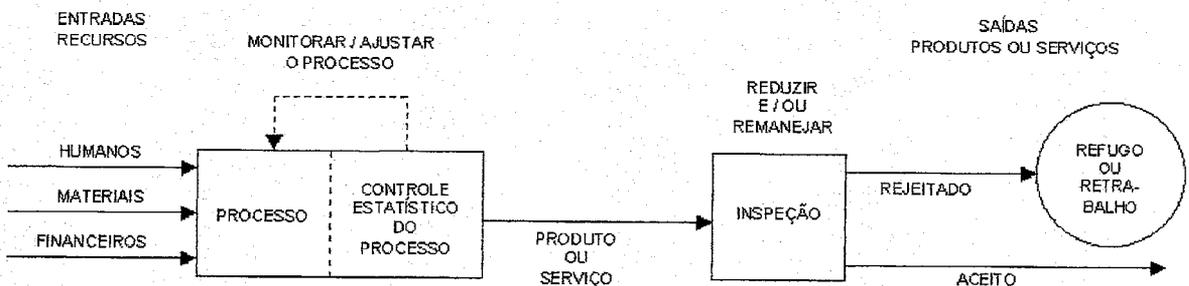


Figura 2 – Controle por prevenção

2.3.1. Fluxograma do processo

Segundo Nunes (2000), é a descrição gráfica de todas as fases do processo, oferecendo uma visão global e permitindo a análise das fontes de conflito potenciais e reais. O fluxograma do processo deve resultar da observação direta do fluxo das atividades e nunca basear-se em descrições ou normas existentes, as quais nem sempre refletem a realidade operacional.

Quando o processo for longo ou muito complexo, deve-se usar a regra simples de análise, isto é, desmembrar em componentes menores e depois juntar os subcomponentes. As Figuras 3 e 4 ilustram, respectivamente, os símbolos usados na montagem dos fluxogramas e um exemplo de fluxograma do processo.

<u>NOME</u>	<u>ÍCONE</u>
OPERAÇÃO	○
TRANSPORTE	➡
ESPERA	⌒
ARMAZENAGEM	▽
INSPEÇÃO	□
DECISÃO	◇

Figura 3 – Fluxograma do processo – símbolos

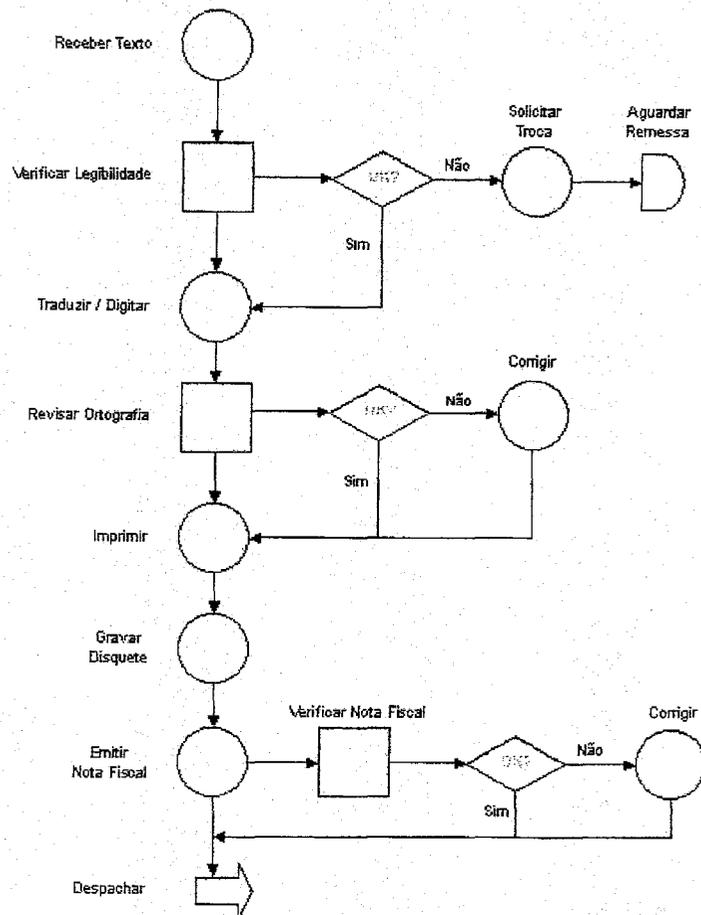


Figura 4 – Fluxograma do processo

2.3.2. Gráfico de contagem

Esta representação gráfica consiste em uma maneira simples de coletar dados para evidenciar a frequência de uma mesma ocorrência. Por exemplo, verificar a quantidade de solicitações de ferramentas pelos mecânicos de uma oficina de veículos.

A Figura 5 compara uma tabela de registro de ocorrências com o gráfico de contagem. A parte superior da figura mostra o número de vezes que os mecânicos requisitaram sete tipos de chaves de boca. A parte inferior exibe os mesmos dados sob a forma do gráfico de contagem.

Os dados estão organizados de tal forma no gráfico, que uma rápida visualização mostra a ferramenta mais solicitada, enquanto que a tabela não oferece uma análise clara da situação. O gráfico de contagem não tem base estatística, é apenas uma coletânea de dados organizados segundo algum critério de classificação.

TABELA DE REQUISIÇÃO DE FERRAMENTAS
REGISTRE O NUMERO DA FERRAMENTA DE CADA REQUISIÇÃO

C07	C05	C03	C04	C01	C07	C05	C05	C07
C07	C06	C05	C07	C03	C05	C01	C02	C03
C05	C07	C02	C04	C07	C02	C04	C07	C01
C03	C01	C07	C06	C05	C03	C07	C04	C07

VS

GRÁFICO DE CONTAGEM

No. da FERRAMENTA	FREQUÊNCIA										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
C01	X	X	X	X							
C02	X	X	X								
C03	X	X	X	X	X						
C04	X	X	X	X							
C05	X	X	X	X	X	X	X				
C06	X	X									
C07	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Figura 5 – Tabela de registro de ocorrência e gráfico de contagem

2.3.3. Diagrama de causa e efeito

O Diagrama de Causa e Efeito é usado, para identificar fontes de dispersão no processo em sessões no tipo “brain storming”; através da análise do processo,

pode-se determinar as relações entre as diversas variáveis e verificar o comportamento do processo. Também é conhecido pelas designações de Diagrama de Ishikawa, em homenagem ao seu criador Dr. Kaoru Ishikawa e Diagrama de Espinha de Peixe, devido ao seu formato.

Werkema (1995) afirma que :

É utilizado para sumarizar e apresentar as possíveis causas do problema considerado, atuando como um guia para identificação da causa fundamental desse problema e para a determinação das medidas corretivas que deverão ser adotadas (p. 101).

Portanto, esse diagrama foi desenvolvido para representar a relação entre o efeito e as possíveis causas que podem estar contribuindo para tal efeito. O efeito , ou problema, é colocado no lado direito do gráfico e as causas são agrupadas segundo categorias lógicas e listadas à esquerda.

É desenhado, a fim de ilustrar claramente as várias causas que afetam um processo por classificação e relação das causas. Para cada efeito, existem, com certeza , inúmeras categorias de causas. As causas principais podem ser agrupadas sob seis categorias conhecidas como os “6 M” e, nas áreas administrativas, são conhecidas como os “4P”. Tais categorias visam a auxiliar as pessoas a pensarem criativamente.

A Figura 6 ilustra o diagrama de causa e efeito universal, onde as causas são representadas pelas “espinhas” e o efeito é a “cabeça”.

O Programa de Qualidade GERANEGÓCIO (2000) ilustra esse diagrama com o seguinte exemplo:

Uma empresa de transporte urbano de passageiros desenvolveu um trabalho para levantar as causas para o aumento de custos mensais, através da ferramenta da Qualidade – Brainstorming – e chegaram a uma lista. Buscando organizar as causas levantadas, bem como o efeito, utilizaram o Diagrama de Causa e Efeito (...)

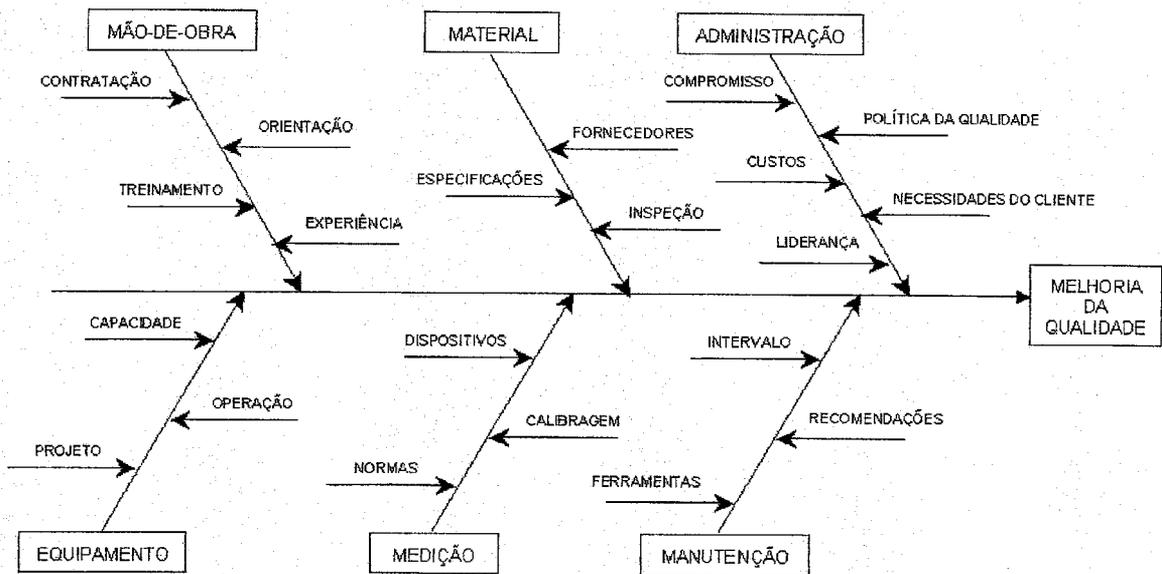


Figura 6 – Diagrama de causa e efeito de Ishikawa

2.3.4. Histograma de freqüência

Para Walton (1989), “usa-se um histograma para medir a freqüência de ocorrência de alguma coisa” (p. 115).

Segundo o Programa de Qualidade GERANEGÓCIO (2000), histograma:

É uma ferramenta de Sistema de Qualidade utilizada para analisar um determinado problema. Um histograma tem como base a medição de dados. Como exemplo, podemos destacar: dimensões de peças, variações de temperatura e outros dados. Logo, o histograma se utiliza de dados na forma de variáveis (valores numéricos) e revela quanto de variação existe em qualquer processo. O histograma típico tem forma de uma curva superposta a um gráfico de barras. Esta curva é chamada normal, sempre que as medidas concentram-se em torno da medida central e, de modo geral, um número igual de medidas situa-se de cada lado deste ponto central. Amostras aleatórias de dados sob controle estatístico seguem este modelo, chamado de curva do sino. Outras formas ocorrem, como "acúmulo" de dados em pontos afastados da medida central. Este tipo de distribuição é chamada "inclinadas".

O histograma de freqüência é um gráfico de colunas que mostra a forma de dispersão da distribuição de freqüência de uma série de dados. Um exemplo é a Figura 7.

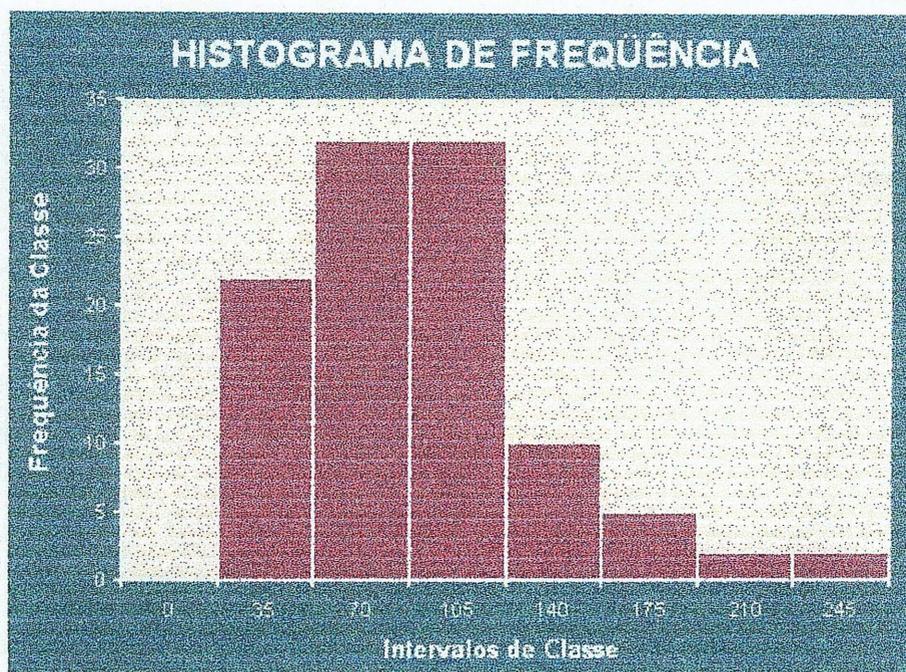


Figura 7 – Histograma de frequência

2.3.5. Gráfico de Pareto

Nunes (2000) afirma que:

(...) o gráfico de Pareto é um caso particular de histograma, em que a distribuição de frequência é ordenada em escala decrescente ou crescente, conforme o critério requerido pelo estudo. Tal característica facilita a classificação dos eventos observados em ordem de grandeza, para que se possa avaliar e decidir a seqüência e a escala de prioridades dos problemas identificados (p. 6).

Estudando a distribuição da renda na Itália em fins do século XIX, Vilfredo Pareto (economista italiano que dá o nome ao gráfico), constatou que 80% da riqueza dos italianos pertenciam a 20% da população e, baseado nessa constatação, desenvolveu um modelo logarítmico para explicar o fenômeno.

Na década de 50, Joseph Juran, um dos gurus do controle de qualidade moderno, ampliou o conceito com a regra dos 'poucos vitais e muitos triviais' e denominou o conceito de 'Princípio de Pareto'.

A proporção 80%/20% é observada nas mais diversas atividades empresariais. Assim, observa-se que 80% do volume das vendas é atribuída a 20%

dos clientes; ou ainda, que 80% do custo do estoque corresponde a 20% dos itens estocados. Podemos generalizar, afirmando que 80% dos problemas, que ocorrem num certo evento, podem ser atribuídos a 20% do total das causas prováveis de sua ocorrência.

A Figura 8 exemplifica um gráfico de Pareto.

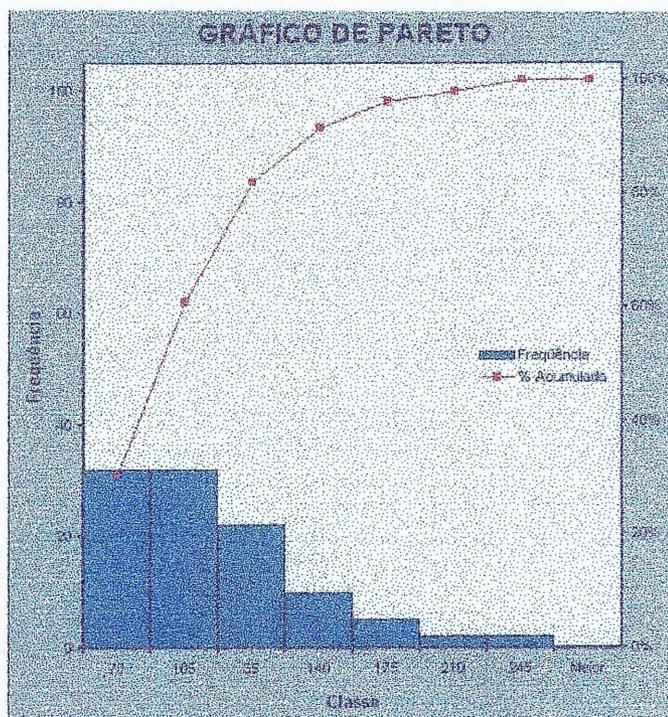


Figura 8 – Gráfico de Pareto

2.4. Conceito de dispersão

Se examinarmos detalhadamente dois ou mais objetos de mesma origem criados, tanto pela natureza como pelo homem, constatamos que não existem dois objetos perfeitamente iguais. As diferenças entre esses diversos objetos decorrem da dispersão do processo, a qual segue o padrão estatístico da distribuição de frequência das ocorrências do processo.

A dispersão origina-se em dois tipos de causas:

- **Causas comuns:** são as numerosas fontes naturais da dispersão, inerentes ao processo, difíceis de identificar, individualmente de pequena importância, mas que, em conjunto, contribuem para mudanças aleatórias na saída do processo. As deficiências do processo representam 85% dos problemas, são de responsabilidade

dos gerentes e só podem ser eliminadas com a intervenção direta da alta administração. Como exemplos de causas comuns temos: equipamento inadequado e/ou obsoleto; métodos inadequados ou errados; ambiente de trabalho impróprio (iluminação, umidade, temperatura).

- Causas especiais: são fontes que geram dispersão esporadicamente, não pertencem ao contexto do processo, são perfeitamente identificáveis e podem ser rastreadas até sua origem. As causas especiais representam 15% dos problemas, são de responsabilidade do operador e do supervisor e podem ser eliminadas pela implantação de medidas corretivas decididas nesse nível hierárquico. Como exemplos de causas especiais temos: o diagrama de causa e efeito.

A Figura 6 mostra as principais origens das causas especiais (mão-de-obra, material, administração, manutenção, medição e equipamento).

Quando o processo só está sujeito a causas comuns temos um processo estável, sendo considerado sob controle estatístico. A vantagem prática de um processo estável é que a saída do processo é previsível dentro de uma certa faixa de dispersão. Se houver algumas causas especiais, o processo é considerado instável, visto que não podemos prever quando a próxima causa especial vai se manifestar e, portanto, não podemos prever a amplitude da dispersão.

Em um processo estável, as causas comuns têm o mesmo comportamento estatístico que os fatores aleatórios num jogo de dados. A curva da distribuição de freqüência de um par de dados possui a mesma forma básica que a dos produtos criados em um processo produtivo.

Quando se lança um par de dados e somam-se os números da face de cima, as somas possíveis variam de 2 a 12. No entanto, nem todas as somas possíveis têm a mesma possibilidade de se repetirem. Por exemplo, 2 e 12 têm menor possibilidade de se repetirem do que qualquer outro valor possível. A freqüência de repetição da soma dos números da face dos dados é função das combinações possíveis daquela soma acontecer.

A soma 2 só tem uma combinação, 1 e 1; da mesma maneira 12 também só tem uma combinação, 6 e 6.

A soma 7, porém, possui seis combinações: 1 e 6; 6 e 1; 2 e 5; 5 e 2; 3 e 4; 4 e 3.

Usando o mesmo raciocínio, podemos montar a tabela e o gráfico da Figura 9, onde é mostrada a distribuição de frequência das combinações das somas das faces do par de dados.

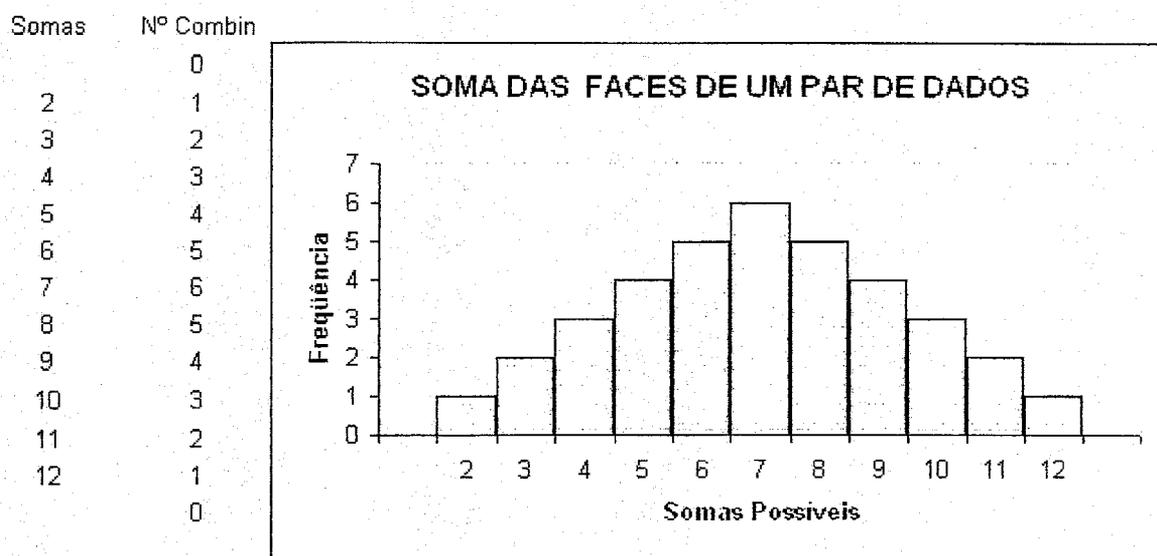


Figura 9 – Exemplo de distribuição de frequência de combinações

Indo um pouco mais além, o histograma da Figura 7 representa a distribuição de frequência das somas das faces do par de dados como uma seqüência de pontos isolados, mas os estatísticos demonstram que a distribuição de frequência do jogo de dados pode ser representada por uma curva contínua denominada curva de distribuição normal, ou curva de Gauss, ou ainda, curva em forma de sino.

A maioria dos processos produtivos apresenta comportamento estatístico semelhante ao do jogo de dados. Assim, a distribuição normal é o modelo estatístico apropriado, para representar a distribuição de frequência de tais processos, mesmo nos casos em que a distribuição real seja assimétrica.

Os gráficos de Contagem, Histograma de Frequência e Pareto, discutidos acima, são técnicas estritamente gráficas para plotagem de dados, ao contrário da distribuição normal, que é calculada em função dos dados observados. A distribuição normal é definida pela média aritmética, também chamada tendência central, e pelo desvio padrão do conjunto de dados.

2.5. Gráficos de controle

Um gráfico de controle consiste, basicamente, de uma linha média, um par de limites de controle, colocados um abaixo e outro acima da linha média, e de valores característicos traçados no gráfico, os quais representam a situação do processo. Se todos os valores das médias do processo são locados dentro dos limites de controle, sem qualquer tendência especial, ele é considerado sob controle.

Entretanto, se eles caem fora dos limites de controle ou apresentam forma peculiar, o processo é considerado fora do controle. Estes limites de controle são estabelecidos em 3 vezes o desvio padrão dos dados para cima da linha média, e 3 vezes para baixo. Dessa forma, são garantidos 99,7% dos dados possíveis sob a curva normal.

Walton (1989) afirma que Deming fala, muitas vezes, na necessidade de se usarem gráficos de controle para analisar processos. A finalidade é “fazer com que as pessoas parem de ficar procurando causas”. Quando bem entendido, um gráfico de controle é um guia constante para um aperfeiçoamento constante.

Os gráficos de controle são de fácil uso e, sem dúvida, não estão acima da capacidade da maioria dos empregados. Para Deming, citado por Walton (1989) “até os especialistas, às vezes, acham difícil interpretar-los” (p. 120).

Sob este aspecto, o empregado da produção precisa apenas de algum conhecimento de aritmética simples para fazer uma representação gráfica. Deming, citado por Walton (1989) também enfatiza:

Cabe à administração ensinar o uso dos gráficos de controle no trabalho (dia-a-dia), onde eles podem ser eficazes. (...) a proliferação de gráficos sem finalidade deve ser evitada (p. 120).

O uso dos gráficos de controle é conhecido, em geral, por Controle Estatístico da Qualidade (CEQ) ou Controle Estatístico de Processo (CEP).

Assim, Walton (1989) define:

Um gráfico de controle é simplesmente um gráfico corrido com limites superior e inferior estatisticamente determinados, traçados de ambos os lados da média do processo (p. 120).

Demonstramos um exemplo na Figura 10. Os Gráficos de Controle demonstram a existência de variabilidade em todos os processos. Aproximadamente a metade dos pontos ficará acima da média, e a outra metade ficará abaixo, pois mesmo minimizando-se a variação pela eliminação de suas fontes, ela nunca será totalmente eliminada.

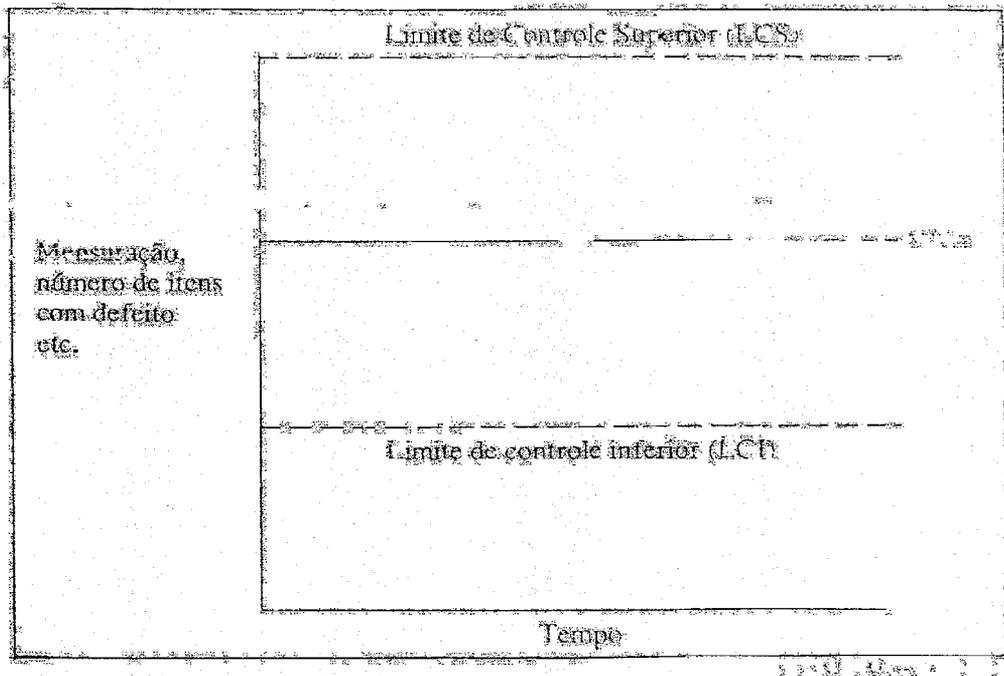


Figura 10 – Esquema de gráfico de controle

2.5.1. Limites de controle

Para Walton (1989), os limites de controle superior e inferior são determinados deixando-se que um processo se desenrole sem interferência e, depois, analisando os resultados com uma fórmula matemática. Todo processo tem variação., e quanto mais sincronizado for, menos desvios da média ele apresentará.

Existem dois tipos de variação. A primeira é a resultante de muitas causas pequenas: pequenas variações da capacidade do empregado, clareza das normas, capacidade da máquina e dos equipamentos, entre outros. Essas são “causas comuns”, só podendo, muitas vezes, ser alteradas pela administração.

A outra forma de variação é, em geral, mais fácil de ser eliminada, como o mau funcionamento de uma máquina, um empregado sem treinamento posto para

fazer o serviço, ou a chegada de material com defeito de um fornecedor. Deming, citado por Walton (1989) chama-as de “causas especiais”. Elas aparecem nos gráficos de controle como pontos fora dos limites.

A fórmula dos limites de controle visa a estabelecer o equilíbrio econômico entre a busca excessiva de causas especiais, quando elas não existem, e a falta de busca, quando se pode encontrar uma. A melhor forma de se aperfeiçoar um sistema ocorre, quando se eliminam causas especiais e ele está sob controle estatístico. Assim, a administração pode trabalhar eficazmente com o sistema, procurando maneiras de reduzir a variação.

Walton (1989) assim afirma sobre os limites de controle:

Uma vez sob controle o sistema, podem-se usar gráficos de controle de acompanhamento, para se saber, imediatamente, quando alguma coisa está saindo errada – uma causa especial. Os operadores de linha podem registrar os dados e agir – parando a linha, se necessário. Um ponto não precisa estar fora dos limites, para indicar a necessidade de providências. Deslocamentos abruptos ou tendências distintas, dentro dos limites, também são sinais para investigação (p. 121).

Os cálculos que mostram onde colocar os limites de controle numa carta têm sua base na teoria das probabilidades. Entretanto, seria errado atribuir probabilidades específicas (em valores numéricos):

a - de que sinal estatístico, oriundo de uma carta de controle, detectando uma causa especial, seja falso;

b - de que a carta de controle deixe de dar seu sinal estatístico quando houver uma causa especial.

A razão para isso consiste no fato de que nenhum processo, exceto em demonstrações artificiais pelo uso de números aleatórios, é imutável.

2.5.2. Construção das cartas de controle

Segundo o manual IQA (1997), carta de controle é “uma representação gráfica de uma característica de um processo, mostrando os valores de alguma

estatística obtida daquela característica, uma linha central, e um ou dois limites de controle”.

A carta de controle é uma ferramenta extremamente útil, para identificar se as variações observadas num processo são decorrentes de causas comuns de variação e, portanto, de pequena importância, ou decorrem de causas especiais de variação e, portanto, de grande relevância, que necessitam ser identificadas e eliminadas do processo.

Assim, uma carta de controle é um registro gráfico da qualidade da característica particular de um produto. Deming (1990) observa o seguinte sobre o uso das cartas de controle :

Quem trabalha rotineiramente com uma carta precisa apenas ter conhecimentos básicos de aritmética para representá-la. Porém, não pode, por si só, decidir se deve usar carta de controle em um trabalho que faz. Pode, ainda menos, iniciar um movimento para a utilização das cartas de controle.

É de responsabilidade da administração ensinar o uso das cartas de controle nas operações rotineiras, onde mais podem ser eficazes. “(...) a carta de controle nas mãos de um operador só pode ser eficaz, se este não for afetado por barreiras que lhe tirem o justo orgulho por seu trabalho” (p. 242).

Para construir uma carta de controle, primeiramente deve-se selecionar a característica de amostragem e o tamanho da amostra. Deve ser uma característica de qualidade mensurável e que possa ser expressa em números, ou seja, expressa em termos de uma das sete unidades básicas: comprimento, massa, tempo, corrente elétrica, potência, velocidade, força, energia, densidade, pressão, etc.

Deve-se dar prioridade àquelas características que trazem dificuldades em termos de problemas e/ou custos de produção. Depois, deve-se definir o método de amostragem e o tamanho da amostra. Os dados plotados nas cartas de controle referem-se a valores médios das amostras, retiradas do processo de produção, e são chamadas de subgrupos. Existem, basicamente, dois métodos para retirada dessas amostras: método instantâneo e método periódico.

▪ Método instantâneo: Este método consiste na retirada da amostra, correspondente ao subgrupo da produção realizada simultaneamente ou

consecutivamente. Por exemplo, quatro parafusos produzidos simultaneamente na mesma máquina, ou quatro lâmpadas produzidas consecutivamente em uma máquina.

▪ Método periódico: Consiste na retirada da amostra, correspondente ao subgrupo, aleatoriamente, da produção realizada durante um determinado período de tempo, de forma que a amostra seja representativa de toda a produção neste período. Por exemplo, o operador a cada intervalo de uma hora, retira aleatoriamente, a amostra correspondente ao subgrupo da produção realizada durante a última hora.

O terceiro passo a ser seguido é a coleta dos dados. Anota-se, em uma planilha pré-elaborada, o número do subgrupo, a data e a hora da coleta, as medidas tomadas e as médias e *ranges* de cada subgrupo.

Além dessas informações, o inspetor deverá registrar, na última coluna do formulário, todas as ocorrências anormais observadas durante o processo de produção, e que possam ajudar na identificação das causas especiais de variação.

O quarto ponto é fazer os cálculos das médias e desvios. Os cálculos que devem ser feitos são os seguintes:

A média aritmética ou, abreviadamente, média, é o valor central da distribuição normal, representada pelo símbolo \bar{X}

\bar{X} é calculada pela expressão:

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{N}$$

onde $\sum X$ é a soma dos valores observados X_1, X_2, \dots, X_n e N é o número de observações. O desvio padrão, cujo símbolo é a letra grega σ , mede a dispersão da distribuição normal. Existem diversas fórmulas para calcular o desvio padrão; uma delas é a expressão:

$$\sigma = \sqrt{\frac{N \sum X^2 - (\sum X)^2}{N(N-1)}}$$

onde $\text{núm1}, \text{núm2}, \dots$, são os valores observados X_1, X_2, \dots, X_n , como na fórmula da média aritmética.

Para facilitar a visualização dos dados coletados e cálculos realizados, devemos organizar tabelas:

Tabela da Curva Normal

L.S.E. = Limite Superior de Especificação

L.I.E. = Limite Inferior de Especificação

\bar{X} = média geral

σ = desvio padrão estimado da população

Porcentagem de valores sob a curva normal

Média + / - 1 desvio-padrão = 68,44% dos valores

Média + / - 2 desvio-padrão = 95,44% dos valores

Média + / - 3 desvio-padrão = 99,73% dos valores

Média + / - 4 desvio-padrão = 99,994% dos valores

Z = Quantidade de desvios padrão

“Z” é a quantidade de desvios-padrão entre o Limite Superior de Especificação (L.S.E.) ou Limite Inferior de Especificação (L.I.E.) e a média \bar{X} , ou seja, “Z” mede quantos desvios-padrão cabem neste intervalo.

$$Z_i = \frac{\bar{X} - L.I.E.}{\sigma}$$

$$Z_s = \frac{L.S.E. - \bar{X}}{\sigma}$$

Nos processos estáveis, a área compreendida entre a curva normal e o eixo das abcissas é igual a 1 (um), representando a probabilidade de ocorrência do evento observado. Teoricamente, os extremos da curva não tocam o eixo das abcissas (eixo dos X), tendem para infinito (:).

Quando as cartas de controle são implantadas numa estação de trabalho, geralmente ocorre uma melhoria na performance do processo. Esta melhoria inicial

é facilmente percebida quando o processo depende, especialmente, da habilidade do operador.

A introdução das cartas de controle provoca um efeito psicológico, fazendo com que o operador melhore sua performance. A maioria dos trabalhadores querem e preferem produzir com qualidade, portanto, se os gerentes demonstrarem interesse pela qualidade, os trabalhadores respondem positivamente.

2.5.3. Pré-controle

Segundo Siqueira (1997), pré-controle é um simples algoritmo usado para controlar o progresso, baseado na tolerância. Ele assume que o processo está produzindo uma característica de qualidade, que varia com base numa distribuição anormal, e também que o processo está centrado na média das especificações, sendo a sua capacidade igual a diferença entre elas.

O pré-controle pode ser aplicado a qualquer processo onde o operador pode medir a característica de qualidade a ser controlada e ajustar o processo, para alterar essa característica. Além disso, o processo deve ser contínuo e apresentar comportamento normal.

2.6. Cartas de controle por variáveis

2.6.1. Conceito de variação

Para Siqueira (1997), o conceito de variação está relacionado com uma lei da natureza que afirma não existirem dois seres exatamente iguais. Da mesma forma, como ocorre na natureza, pode-se dizer que não existem dois objetos fabricados exatamente iguais.

A variação pode ser facilmente notada, como a altura de dois seres humanos, ou pode ser muito pequena, como a diferença de peso de dois fios de cabelo de uma mesma pessoa. Quando a variação é muito pequena, aparentemente os objetos são iguais.

A fim de controlar as qualidades de um produto, é necessário ter habilidades para avaliar as variações que ocorrem no mesmo. Assim, podemos enumerar três tipos de variações que podem ocorrer na produção de um produto:

1. Variação interna: é aquela que ocorre dentro do mesmo item. Por exemplo, o acabamento superficial é diferente em faces opostas da mesma peça, o diâmetro de um eixo varia ao longo do seu comprimento.

2. Variação item a item: é aquela que ocorre entre itens produzidos em tempos próximos. Por exemplo, a intensidade luminosa de quatro lâmpadas produzidas, consecutivamente por uma máquina, será diferente.

3. Variação tempo a tempo: é aquela que ocorre entre itens produzidos em diferentes períodos durante o dia. Por exemplo, a peça produzida pela manhã será diferente daquela produzida à noite, devido ao desgaste da ferramenta de corte.

Ainda, processos diferentes poderão ter tipos diferentes de variação, entretanto o conceito será semelhante. Existem seis fatores que contribuem para essa variação: máquinas, métodos, materiais, meio ambiente, mão-de-obra e medidas.

1. Máquinas: este fator de variação inclui o desgaste de ferramentas, o ajuste das máquinas, as vibrações das mesmas, as flutuações elétricas, hidráulicas e pneumáticas, etc. Quando todas essas fontes estão correndo juntas, existe uma certa variabilidade na qual o processo opera. Mesmo máquinas, supostamente iguais, terão variabilidades diferentes.

2. Métodos: as alterações nos parâmetros dos processos, ou na tecnologia utilizada, podem provocar variações nos produtos produzidos.

3. Materiais: uma vez que ocorrem em produtos acabados, elas também ocorrem em matérias-primas, já que essas são produtos acabados de outros processos. Variações em características, tais como resistência à tração, ductilidade, limite de escoamento, porosidade, composição química, entre outras, contribuem para variações no produto final.

4. Meio ambiente: temperatura, umidade, luminosidade e radiação podem contribuir para variações no processo e, conseqüentemente, no produto final.

5. Mão-de-obra: o treinamento do operador, a forma como executa uma operação, suas condições físicas e emocionais podem contribuir para a variação de sua performance e conseqüentemente, do produto final.

6. Medidas: as falhas nos equipamentos de inspeção, a utilização inadequada desses equipamentos, ou a aplicação incorreta de padrões de qualidade, podem contribuir para variações no produto final. Em geral, as variações decorrentes da inspeção correspondem a um décimo do total de variações.

O diagrama da causa e efeito está ilustrado na Figura 6.

Quando esses seis fatores de variação estão presentes nos processos, de uma forma normal ou esperada, dizemos que um padrão de causas comuns ou causas aleatórias está se desenvolvendo. Causas comuns ou causas aleatórias de variação são inevitáveis e são difíceis de serem identificadas, pois são de pequena significância. As causas de variação de grande importância e, portanto, facilmente identificáveis, são classificadas como causas especiais de variação.

Quando apenas causas comuns estão presentes no processo, dizemos que o mesmo está sob controle. Porém, quando causas especiais de variação também estão presentes e a variação se torna excessiva, o processo é classificado como estando fora de controle, ou além da expectativa normal de variação.

2.6.2. Finalidades das cartas de controle por variáveis

Conforme Siqueira (1997), o uso da carta de controle por variável tem a finalidade de fornecer informações:

1. Para melhorar a qualidade: utilizar carta de controle unicamente para comprovar a existência de um programa de qualidade é perda de tempo. A carta de controle por variável é a mais efetiva técnica, para alcançar a melhoria da qualidade.

2. Sobre a capacidade do processo: a verdadeira capacidade do processo só pode ser alcançada depois que uma significativa melhoria de qualidade foi obtida. Durante o ciclo de melhoria de qualidade, a carta de controle indica quando não é mais possível obter melhoria sem investimento significativo. Nesse momento, a verdadeira capacidade do processo pode ser obtida.

3. Para tomada de decisões relativas à especificação do produto: uma vez que a verdadeira capacidade do processo foi obtida, as especificações podem ser definidas.

4. Para tomada de decisões sobre o processo de produção: a carta de controle pode ser usada, para definir se um padrão normal de variação está

ocorrendo e, portanto, o processo está sob controle, ou se um padrão instável de variação está ocorrendo, e há necessidade de eliminação das causas especiais de variação.

5. Para tomada de decisões sobre peças recém-produzidas: a carta de controle também pode ser usada, para decidir se um ou mais itens podem ser liberados para o processo seguinte, ou se é necessária alguma ação de inspeção ou reparo.

2.6.3. Análise de uma carta de controle

A análise de uma carta de controle deve seguir os seguintes passos:

- 1 – Definição da área piloto;
- 2 – Definição das características significativas;
- 3 – Elaboração ou atualização das folhas de processo e dos planos de controle;
- 4 – Adequação dos meios de medição;
- 5 – Coleta de dados para estudos potenciais preliminares;
- 6 – Treinamento de operadores;
- 7 – Normalização do processo;
- 8 – Monitoramento contínuo.

2.7. Controle do processo

2.7.1. Processo sob controle

Siqueira (1997) afirma que, quando as causas especiais de variação são eliminadas de um processo e os pontos plotados na carta de controle permanecem dentro dos limites de controle, o processo está sob controle, ou é um processo estável. Nesse caso, ocorre um padrão normal de variação, caracterizado pelos seguintes aspectos:

- Cerca de dois terços dos pontos ficam aos limites de controle;
- Poucos pontos ficam juntos aos limites de controle;

- Ocorre uma distribuição balanceada dos pontos, abaixo e acima do valor central;
- Nenhum ponto situa-se além dos limites de controle.

O padrão normal de variação dos pontos correspondentes aos subgrupos constitui a própria distribuição de frequência, que obedece á curva normal. Os limites de controle são estabelecidos a mais ou menos três desvios-padrão do valor central.

Portanto, quando um processo está sob controle, apenas causas comuns de variação estão presentes. Pequenas variações na performance das máquinas, dos operadores e nas características dos materiais são consideradas como parte do processo estável.

Um processo sob controle, também chamado de processo estável, traz certas vantagens para o produtor e para o consumidor, como a seguir:

- Os produtos individualmente produzidos serão mais uniformes, ou terão menos variações;
- Uma vez que os produtos serão mais uniformes, poucas amostras serão necessárias para avaliar a qualidade. Portanto, os custos de inspeção serão menores. Esta vantagem é, particularmente, importante quando a inspeção 100% não é necessária;
- Como se conhece a variabilidade do processo, decisões confiáveis sobre as especificações dos produtos podem ser tomadas;
- A porcentagem de produtos cujas características caem dentro de dois valores quaisquer pode ser prevista, com elevado grau de confiança. Esta vantagem pode ser muito útil no ajuste de máquinas, para obtenção de porcentagens diferentes de itens abaixo, acima ou entre determinados valores;
- O consumidor pode usar os dados do produtor e testar apenas alguns subgrupos, para confirmar os registros de qualidade;
- Os operadores e supervisores estão trabalhando com performance satisfatória do ponto de vista da qualidade.

2.7.2. Processo fora de controle

Segundo Siqueira (1997), quando um ponto, correspondente a um subgrupo cai fora dos limites de controle, o processo está fora de controle, ou trata-se de um

processo instável, porque uma causa especial de variação está presente. Outra maneira de visualizar a saída de controle de um processo é imaginar que o ponto, fora dos limites de controle, pertence a uma população diferente daquela para a qual os limites de controle foram estabelecidos.

Um processo também pode ser considerado fora de controle, mesmo quando todos os pontos caem dentro dos limites de controle. Isso ocorre, quando um padrão de variação anormal está presente no processo. Não é normal que 9 ou mais pontos consecutivos situem-se de um mesmo lado da linha média e , também não é normal, quando 15 pontos consecutivos situam-se dentro da faixa de $\pm 1\sigma$ em torno do valor central.

A probabilidade de ocorrência de um padrão anormal é, aproximadamente, igual à probabilidade de um ponto cair além do limite de $\pm 3\sigma$. Alguns desses padrões anormais estão descritos a seguir:

- Padrão 1: um único ponto além do limite superior de controle ou abaixo do limite inferior de controle;
- Padrão 2: nove pontos consecutivos de um mesmo lado de valor central, ou seja, todos os nove pontos acima da linha média ou abaixo;
- Padrão 3: seis pontos consecutivos que aumentam ou diminuem continuamente no gráfico;
- Padrão 4: quatorze pontos consecutivos que se alternam para cima e para baixo no gráfico;
- Padrão 5: dois em três pontos consecutivos, situados no mesmo lado do gráfico, acima ou abaixo da linha média;

2.8. Capacidade do processo

A verdadeira capacidade do processo deve ser determinada após o mesmo ter sido otimizado, estabilizado, sob controle, constituindo-se na sua própria variabilidade. Essa otimização é aquela realizada sem investimentos significativos.

A fórmula mais conhecida para a capacidade do processo é:

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

Onde σ é o desvio-padrão do processo otimizado e estável (sob controle).

A melhor forma de verificar-se a adequação de um processo às necessidades de engenharia de produto é através do estudo de capacidade do processo, ou da relação entre a capacidade do processo e a diferença entre os limites de especificação (tolerância do produto). Tal relação, também conhecida como índice de capacidade ou razão de capacidade, é dada pela seguinte fórmula:

$$C_P = \frac{LSE - LIE}{6\sigma}$$

onde C_P é o índice de capacidade, LSE é o limite superior de especificação, LIE é o limite inferior de especificação, 6σ é a capacidade do processo.

Esse índice compara a variabilidade total permissível para as peças (ou tolerância de especificação) com a variabilidade do processo de fabricação (tolerância natural). A análise do índice de capacidade é muito útil na tomada de decisões sobre a adequação do processo às especificações.

Para o processo ser capaz, o valor desse índice não pode ser inferior a 1,33. É recomendado o seu uso, quando se estiver trabalhando com especificações unilaterais, ou quando a média do processo não puder ser deslocada (impossibilidade física ou custo excessivo).

Com esse índice, além de se avaliar a variabilidade total permissível para as peças com tolerância natural de fabricação, pode-se verificar, também, a centralização do processo com relação aos limites (superior e inferior) da especificação. A figura do anexo 2 ilustra a classificação dos processos segundo o C_P .

2.9. Estudos de repetibilidade e reprodutibilidade estudos de R – R

Exatidão é a capacidade de o instrumento observar a medida real da amostra. Siqueira (1997) observa, ainda que, repetibilidade (RTP) é a capacidade do processo de medição de repetir observações, quando um operador o usa, repetidamente, para medir características idênticas da mesma peça.

Reprodutibilidade (RPD) ou Reproducibilidade (RPD) é a capacidade do processo de medição de observar medidas idênticas, quando as medições das mesmas peças são feitas por operadores diferentes em características idênticas.

Estabilidade é a capacidade do processo de medição de repetir observações de médias de, pelo menos, dois conjuntos de medições nas mesmas peças tomadas em tempos diferentes. No contexto do CEP, a estabilidade desempenha um papel fundamental, pois descreve a propriedade “alvo” das ações voltadas para a prevenção de defeitos (IME/USP, 2005).

2.9.1. Exatidão vs. precisão – estudos de R-R

Uma vez que um processo tenha sido trazido para um estado de controle estatístico, passa a ter uma capacidade passível de ser definida, como também, as especificações que ele tem condições de atender são previsíveis.

Uma maneira simples de identificar, na própria carta de média (\bar{X}), as especificações que tal processo poderá atender é marcar, para cima e para baixo, a partir da média, \sqrt{n} vezes a distância entre limites de controle para \bar{X} . (onde n é o número de elementos da amostra). A dispersão previsível entre os elementos individuais \bar{X} também é igual a $\frac{6R}{d_2}$.

O símbolo d_2 refere-se a um número que depende de n (o número de elementos da amostra) e é derivado da distribuição da faixa. Com aproximação, d_2 é igual a \sqrt{n} até $n = 10$. Portanto, é correto afirmar que a Carta R, sob controle, nos diz qual é a capacidade do processo.

Uma falha comum, no uso de cartas \bar{X} e R e no cálculo da capacidade de um processo, é o fato de que a faixa precisa expressar aleatoriamente, num determinado ponto, a faixa das observações plotadas para \bar{X} e, não para uma outra fonte.

Eis algumas formas de localizar d_2 :

Para Repetibilidade:

Calcular os valores de A e B;

A = número de operadores (k) x número de peças medidas (n);

B = número de vezes que cada peça é medida pelo mesmo operador (neste caso B=2).

Para Reprodutibilidade

Calcular os valores de A e B;

A = 1;

B = número de operadores utilizados;

Localizando d_2 na tabela abaixo, utilizando os valores de A e B obtidos acima.

Tabela 1 - Fatores d_2 para cálculo de S^2_{rpt} e S^2_{rpd}

A B	1	2	3	4	5	8	10	Maior que 10
2	1,410	1,280	1,230	1,211	1,190	1,170	1,160	1,128
3	1,908	1,812	1,770	1,751	1,739	1,721	1,721	1,693
4	2,242	2,151	2,119	2,110	2,101	2,079	2,079	2,059
5	2,481	2,398	2,381	2,370	2,358	2,347	2,342	2,326

2.10. Cartas de controle por atributos

2.10.1. Conceito de atributo

De acordo com Siqueira (1997) o termo atributo, utilizado em controle da qualidade, refere-se àquela característica da qualidade que pode estar, ou não, conforme as especificações. Assim, é comum utilizar-se os termos “bom” e “defeituoso”, em lugar de “conforme” e “não-conforme”.

2.10.2. Carta de controle da fração defeituosa (Carta p)

A Carta P é usada para reportar a fração defeituosa de um produto, de uma característica da qualidade ou de um grupo de características de qualidade. Uma vez que a fração defeituosa é a razão entre números de peças defeituosas em uma

amostra e o número total de peças nesta amostra, a fórmula da fração defeituosa é a seguinte:

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

onde p é a fração defeituosa de uma amostra ou subgrupo; n é o número de peças na amostra ou subgrupo; e np é o número de peças defeituosas na amostra ou subgrupo.

A fração defeituosa p é, normalmente, menor que 0,15. Valores maiores que 0,15 indicam que a empresa está com sérias dificuldades, e são necessárias medidas mais drásticas que cartas de controle.

2.10.3. Variação da carta de controle da fração defeituosa

Existem outros tipos de carta, freqüentemente utilizadas no lugar da Carta p ., como a Carta da percentagem defeituosa e a Carta do número de defeitos.

2.10.3.1. Carta de controle da porcentagem defeituosa (Carta 100p)

A carta de controle da porcentagem defeituosa, ou Carta 100p, é usada para facilitar o entendimento dos operadores. Os valores são os mesmos usados na Carta p , a menos da escala, que é multiplicada por 100. O valor central é igual a $100 p_0$, e os limites de controle são:

$$LSC_{100p} = 100 \left(p_0 + 3 \sqrt{\frac{p_0(1-p_0)}{n}} \right)$$

$$LIC_{100p} = 100 \left(p_0 - 3 \sqrt{\frac{p_0(1-p_0)}{n}} \right)$$

2.10.3.2. Carta de controle do número de defeitos (Carta np)

Na carta np , os resultados da inspeção são plotados diretamente na mesma, sem qualquer cálculo. Desde que a carta do número de defeituosos é

matematicamente equivalente à Carta da fração defeituosa, o valor central da primeira é igual ao valor central da segunda, multiplicado pelo fator n . Os limites de controle, para a Carta do número de defeitos, são calculados pelas fórmulas:

$$LSC_{np} = np_0 + 3\sqrt{np_0(1-p_0)}$$

$$LIC_{np} = np_0 - 3\sqrt{np_0(1-p_0)}$$

Desde que o número de defeituosos é sempre um número inteiro, os limites de controle são arredondados para números inteiros. Porém, o valor central pode ser um número fracionário, pois expressa um valor médio.

2.10.4. Carta de controle do número de defeitos (Carta c)

Siqueira (1997) também observa que o outro grupo de cartas de controle por atributos é o das cartas de controle de defeitos. Enquanto a Carta p controla a fração defeituosa produzida, as cartas para defeitos controlam o número de defeitos produzidos. Existem dois tipos de cartas para defeitos: a Carta do número de defeitos, ou Carta c , e a Carta do número de defeitos por unidade, ou Carta u .

Os objetivos das Cartas de Controle do número de defeitos são tais como a Carta p , e podem ser estabelecidas para uma característica de qualidade, para um grupo de características de qualidade ou para todo o produto; para uma única máquina, para um grupo de máquinas ou para toda a fábrica.

Os objetivos das Cartas de Controle de Defeitos são:

- Determinar o nível médio de qualidade;
- Alertar os gerentes para qualquer mudança do nível médio de qualidade;
- Melhorar a qualidade do produto;
- Avaliar a performance do pessoal de operação e supervisão;
- Indicar áreas para aplicação de cartas de controle por variáveis;
- Fornecer informações para aceitação de lotes.

2.10.5. Carta de controle do número de defeitos por unidade (Carta u)

A Carta c é aplicável, quando o tamanho do subgrupo é uma simples unidade do produto, como mil metros quadrados de tecido, uma resma de papel ou uma caixa de pregos.

A Carta u é desenvolvida, calculando-se o valor central e os limites de controle, fazendo uma estimativa do valor de referência para o número de defeitos por unidade e revisando os limites de controle.

As fórmulas usadas são:

$$u = \frac{c}{n}$$

$$\bar{u} = \frac{\sum c}{\sum n}$$

$$LSC_u = \bar{u} + 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}}$$

$$LIC_u = \bar{u} - 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}}$$

onde c é o número de defeitos em um grupo; n é o número inspecionado em subgrupo; u é o número de defeitos por unidade em um subgrupo; e \bar{u} é o número médio de defeitos por unidade em todos os subgrupos.

2.10.6. Classificação de defeitos

Nas cartas para números de defeitos, todos os defeitos têm o mesmo peso, do ponto de vista da severidade. Por exemplo, na inspeção de duas cadeiras, uma apresentou cinco defeitos relacionados ao acabamento superficial, e outra apresentou apenas um defeito, que era um pé quebrado.

Do ponto de vista da Carta c, a cadeira com cinco defeitos tem qualidade muito inferior à cadeira com um defeito, embora a primeira seja utilizável, enquanto a segunda é inútil. Esta situação evidencia uma avaliação incorreta da qualidade do produto. Uma forma de corrigir esta deficiência é através da classificação de defeitos.

Segundo Ishikawa (1993), os defeitos são classificados de acordo com a sua severidade e podem, normalmente, ser agrupados em três classes:

1ª) Defeito Crítico: um defeito crítico é aquele que pode produzir condições perigosas ou inseguras para quem usa ou mantém o produto. O defeito crítico pode, também, impedir o funcionamento ou o desempenho de uma função importante de um produto. “Por exemplo, pneus que se soltam de um carro, ou freios que não funcionam” (p. 50).

2ª) Defeito Importante: um defeito importante é aquele considerado não crítico, que pode resultar em falha ou reduzir substancialmente a utilidade do produto para o fim a que se destina. “Por exemplo, um motor de carro que não funciona” (p. 50).

3ª) Defeito Pequeno: pode também ser chamado de tolerável; é aquele que não provoca falhas nem reduz, substancialmente, a utilidade do produto. Normalmente estão associados com a aparência do mesmo. “Por exemplo, a marca de um arranhão em um carro” (p. 50).

Resumindo, pode-se dizer que o defeito crítico afeta a utilização do produto, o defeito importante pode afetar a utilização do produto, e o defeito tolerável, ou pequeno, não afeta a utilização do produto.

3. VANTAGENS DA ESTABILIDADE OU DO ESTADO DE CONTROLE ESTATÍSTICO

Um processo estável, ou seja, que está sob controle estatístico, apresenta diversas vantagens em relação à instabilidade, conforme Deming (1990):

- *O processo tem uma identidade; seu desempenho é previsível. É possível definir operacionalmente sua capacidade. Produção, dimensões e outras características qualitativas, inclusive o número de defeitos, se houver, permanecem quase constantes, hora após hora, dia após dia.*
- *Os custos são previsíveis;*
- *A regularidade de saída é uma consequência importante do controle estatístico. O sistema Kanban de entregas flui, normalmente, quando todos os sistemas conexos estão sob controle estatístico.*
- *Sob tal sistema, a produtividade está no máximo (e os custos no mínimo). Melhoras adicionais só são possíveis mudando o processo.*
- *As relações com um fornecedor que entrega material, cujos processos de produção estão sob controle estatístico, são grandemente simplificadas. O custo diminui ou a qualidade melhora.*
- *Os efeitos de mudança no sistema (responsabilidade da administração) podem ser medidos com maior rapidez e confiabilidade. Quando não se está sob controle estatístico, é difícil medir o efeito de uma mudança no sistema, isto é, apenas efeitos catastróficos são identificáveis (p. 244) .*

Também Walton (1989), citando Deming, afirma que o controle estatístico do processo consegue melhorar e descobrir as causas dos problemas, ocasionando o que chama de:

Reação em cadeia. Se melhorarmos a qualidade, o que é que acontece? Os custos baixam, devido a menos trabalho refeito, menos erros, menos atrasos, empecilhos, e ao melhor uso das máquinas e dos materiais. A produtividade aumenta.

(...) Conseguir o mercado com uma qualidade melhor e um preço mais baixo. Ficar no negócio. Oferecer empregos e aumentar essa oferta. (p. 27).

4. INSPEÇÃO POR AMOSTRAGEM

4.1. Conceitos fundamentais e tipos

Siqueira (1997) observa que os planos de inspeção por amostragem, por atributos, são os mais utilizados na indústria. Nesse tipo de plano, um número pré-determinado de itens (amostras) de cada lote produzido é inspecionado por atributos. Se o número de itens defeituosos, encontrados na amostra, é menor do que um certo número previamente definido, o lote é aceito; caso contrário, o lote é rejeitado, considerado de qualidade inferior a um padrão.

Dessa forma, cada lote produzido é inspecionado por amostragem e aceito ou rejeitado. Os planos de inspeção por amostragem podem ser usados para porcentagem de defeituosos, ou para número de defeitos por cem unidades.

Os planos de inspeção para porcentagem de defeituosos serão utilizados nas explicações, ficando claro, entretanto, que a aplicação é válida também para número de defeitos por cem unidades.

Juran (1991) assim define amostragem, observando que se deve definir muito bem a seleção da amostra.

Um erro comum e fatal na procura de dados de campo é procurar coletar 100 % dos dados. Normalmente, uma amostra bem selecionada oferece informações adequadas a custos razoáveis e não proibitivos.

Por exemplo, um fabricante de veículos tentou coletar todos os dados de campo de seus 5.000 revendedores. A qualidade dos dados foi baixa e o custo alto. A companhia, então, mudou a sistemática. Limitou-se aos dados de uma amostra de 35 revendedores (...) bem distribuídos e que representavam 5% das vendas. O resultado foi um feedback mais imediato, (...) a um custo muito mais baixo (p. 243).

Dessa forma, um plano de amostragem simples é definido pelo tamanho do lote N , pelo tamanho da amostra n , pelo número de aceitação Ac e pelo número de rejeição Re . Assim, o plano

$$N = 9000$$

$$n = 300$$

$$Ac = 7$$

$$Re = 8$$

significa que, de um lote de 9000 itens, foi extraída e inspecionada para uma amostra de 300 itens. Se o número de itens defeituosos, encontrados nesta amostra, for menor ou igual a 7, o lote é aceito. Se 8, ou mais itens defeituosos forem encontrados, o lote é rejeitado.

Segundo Siqueira (1997), a inspeção por amostragem é particularmente aplicável nas seguintes condições:

- Quando os testes são destrutivos, como os testes de fusíveis e ensaios de tração;
- Quando o custo da inspeção 100% é alto, se comparado ao custo de aceitação de itens defeituosos;
- Quando existem muitos itens similares, para serem inspecionados, a inspeção por amostragem dará resultados iguais ou melhores do que a inspeção 100%;
- Quando não se têm informações referentes à qualidade do produto, ou cartas de controle não estão disponíveis;
- Quando a inspeção automática não é usada.

Existem três tipos de planos de inspeção por amostragem: simples, duplo ou múltiplo, de acordo com Siqueira (1997).

4.2. Lotes rejeitados

Para Siqueira (1997), quando um lote é rejeitado, existem três opções de ações a serem tomadas:

- 1 - O lote rejeitado pode ser passado para o processo seguinte, onde será 100% inspecionado. Esta não é a melhor alternativa, uma vez que modifica o

propósito da inspeção e atrasa a produção. Entretanto, se as peças são necessárias ao processo seguinte, pode ser a única solução.

2- O lote rejeitado pode ser 100% inspecionado nas instalações do consumidor por inspetores do produtor ou do consumidor. Embora os custos de transporte sejam evitados, existe uma desvantagem psicológica nesse caso, pois todos ficam sabendo que o fornecedor X entregou um lote em péssima qualidade.

3- O lote rejeitado pode ser retornado, para que o produtor faça a inspeção 100%. Esta é a melhor alternativa e pode resultar em melhoria da qualidade. Uma vez que os custos de transporte do lote rejeitados são pagos pelo produtor, existe um fator de motivação, para melhorar a qualidade.

A Norma NBR – 5426 estabelece planos de amostragem e procedimento para inspeção de atributos. Normalmente, é utilizada para regular a relação produtor-consumidor, em relação ao fornecimento de produtos e serviços. Os planos de amostragem, descritos nesta Norma, podem ser utilizados para inspeção de produtos acabados, componentes, matérias-primas, operações, materiais em processamento, materiais estocados, operações de manutenção, procedimentos administrativos, relatórios e dados.

5. IMPLEMENTAÇÃO DO CEP

A implementação desta ferramenta da qualidade pode seguir os seguintes passos, conforme Nunes (2000).

Etapa 1: Identificação do projeto piloto

Nesta etapa, é selecionada a área para o início de implementação do CEP, a qual deve apresentar problemas que justifiquem a utilização dos gráficos de controle e os benefícios em termos de aumento de produtividade, como também, a redução de custos.

Etapa 2: Elaboração do fluxograma de processo

Nesta etapa, é preparado um fluxograma de processo para a identificação dos pontos e parâmetros críticos do processo, onde serão utilizados os gráficos de controle.

Etapa 3: Definição do cronograma de projeto piloto

Esta etapa ajuda o coordenador do projeto na tarefa de acompanhamento do andamento e verificação dos resultados. Podem ser adotados documentos, para registro das atividades pendentes e resultados obtidos.

Etapa 4: Identificação e solução de problemas da área piloto

Esta é a primeira etapa efetiva da implementação do CEP. São levantados os principais problemas da área piloto os quais, com a utilização das ferramentas básicas da qualidade (diagrama de causa-efeito, Pareto), são eliminados.

Etapa 5: Seleção do tipo de gráfico de controle a ser utilizado

Nesta etapa, é definido o tipo de gráfico de controle que será utilizado no processo. Se a decisão for pela utilização de gráficos por atributos, deve-se partir para a etapa sete. Caso a decisão seja pela utilização de gráficos por variáveis, deve ser realizada a etapa 6.

Etapa 6: Avaliação da capacidade do processo

Esta etapa indica se o processo já está apto para a utilização dos gráficos de controle. Se o processo for capaz, deve-se partir para a etapa 6, se não, deve-se voltar à etapa 4.

Etapa 7: Elaboração de procedimento para uso do gráfico de controle

Nesta etapa, são estabelecidas as responsabilidades das pessoas envolvidas com os gráficos de controle, incluindo as atividades de registro e monitoramento dos mesmos.

Construção do Histograma:**Etapa 1: Cálculo da Amplitude (R):**

$$R = \text{Maior valor} - \text{Menor valor}$$

Obter o maior valor e o menor valor de cada linha ou coluna e, depois, com os dados selecionados obter o menor e o maior valor da amostra.

Etapa 2: Determinar os intervalos das classes:

Os intervalos das classes são determinados de forma que todos os dados sejam incluídos. Para isso, basta dividir a amplitude da amostra em intervalos de mesmo valor.

Etapa 3: Preparar tabela para registro das frequências de ocorrência.**Etapa 4: Determinar os limites dos intervalos de classe:**

O intervalo de classe deverá ser aberto à esquerda ou à direita. Observar se todos os valores da amostra foram classificados.

Etapa 5: Obter a frequência em cada intervalo de classe.

Etapa 6: Construir o histograma:

Escala horizontal: valores da variável; escala vertical: frequências.

Construção do gráfico das médias/ amplitudes:

Etapa 1: Coletar os dados:

Dividir os dados em subgrupos (com no máximo 10 dados)

Etapa 2: Calcular a média de cada subgrupo.

Etapa 3: Calcular a média das medias.

Etapa 4: Calcular a amplitude de cada subgrupo.

Etapa 5: Calcular a média das amplitudes.

Etapa 6: Calcular os limites de controle.

Etapa 7: Plotar os pontos nos gráficos.

Construção do gráfico das médias/desvios:

Etapa 1: Coletar os dados:

Dividir os dados em subgrupos (com no máximo 10 dados)

Etapa 2: Calcular a média de cada subgrupo.

Etapa 3: Calcular a média das medias.

Etapa 4: Calcular o desvio-padrão de cada subgrupo.

Etapa 5: Calcular o desvio-padrão médio.

Etapa 6: Calcular os limites de controle

Etapa 7: Plotar os pontos nos gráficos.

Construção do gráfico Proporção de não-conformes:

Etapa 1: Coletar os dados:

Dividir os dados em subgrupos (com no máximo 10 dados)

Etapa 2: Calcular a proporção média.

Etapa 3: Calcular os limites de controle.

Etapa 4: Plotar os pontos nos gráficos.

Construção do gráfico do número de defeitos por unidade

Etapa1: Coletar os dados:

Dividir os dados em subgrupos (com no máximo 10 dados)

Etapa 2: Calcular o número médio de defeitos por unidade.

Etapa 3: Calcular os limites de controle.

Etapa 4: Plotar os pontos nos gráficos.

6. EXEMPLO PRÁTICO

6.1. Descrição geral da empresa

O Grupo Votorantim, em 1933, decidiu investir em um mercado até então desconhecido, que era o de cimento, começando a construção da Fábrica de Cimento Santa Helena, localizada no interior de São Paulo, inaugurada em 1936.

Desde sua fundação, o Grupo Votorantim sempre realizou pesados investimentos em suas fábricas, tanto na automação, como na modernização de instalações, com o objetivo de adequar a produção ao mercado consumidor, assegurando a qualidade de seus produtos e melhorando a competitividade.

A Votorantim Cimentos possui 12 empresas no Brasil e no exterior, emprega mais de 8 mil funcionários em 26 unidades fabris e está entre os dez maiores produtores do mundo. É líder do mercado brasileiro de cimento e cal e vice-líder no segmento de argamassa, como também do mercado nacional de concreto através da Engemix. A capacidade de produção total de suas empresas, no Brasil e América do Norte, alcança 28 milhões de toneladas/ano.

Em 2004, a Votorantim Cimentos iniciou a construção de uma nova linha com capacidade de produção de 2 milhões de toneladas/ano na Unidade Cimesa, no Estado de Sergipe, tendo projetos de duas novas fábricas, uma no Tocantins e outra em Santa Catarina.

No mercado externo, há uma reforçada decisão de continuar o processo de expansão, visando a firmar a empresa como uma operadora de classe mundial e dobrar a operação internacional em três anos.

6.2. Faturamento da empresa

Receita	Líquida	(R\$	milhões)
2003	—		4.694
2002	—		4.016
2001 – 3.022			
Lucro	Líquido	(R\$	milhões)
2003	—		1.787
2002	—		1.339
2001 – 1.036			
CAPEX		(R\$	milhões)
2003		—	201
2002		—	265
2001 – 174			

6.3. Produtos e serviços

6.3.1. Cimento

A Votorantim Cimentos tem a maior linha de cimentos do mercado. A empresa investe maciçamente em pesquisa e desenvolvimento, para fornecer produtos de alto domínio técnico e aplicações diversas, incluindo cimentos especiais que atendam necessidades específicas em obras de qualquer porte.

6.3.2. Cal

A Votorantim Cimentos é líder na produção nacional de cal hidratada, produto amplamente utilizado na construção civil. A obtenção da cal ocorre em fornos que transformam a calcita (carbonato de cálcio), Calcário Calcítico, Magnesiano ou Dolomítico (Carbonato de Cálcio e Magnésio) em cal virgem (Óxido de Cálcio e Magnésio), com posterior hidratação, no caso da cal hidratada (Hidróxido de Cálcio e Magnésio).

6.3.3. Agregados

Agregados são produtos utilizados como insumo na fabricação de concreto e artefatos de concreto como blocos, postes, lajes, entre outros. São utilizados, também, na confecção de base para pavimentação de vias de rodagem, em envelopamento de linhas de transmissão de telefonia e berço de linhas férreas.

Os produtos comercializados pela Votorantim Cimentos são brita 01, brita 02, brita 03, brita 0, pedrisco misto, pó de pedra, bica corrida, brita 1/2", brita graduada, rachão de gabião, areia de brita tipo II, areia de brita tipo I e areia natural média.

A produção de agregados é desenvolvida com diferentes sistemáticas, visando ao aproveitamento ótimo das jazidas em desenvolvimento. Os modelos praticados e as fábricas envolvidas são:

- Fábricas independentes: Araçariguama, Itapiserra Mineração Itapeçerica da Serra e Itapiserra Mineração Mogi das Cruzes, que operam exclusivamente na fabricação de agregado;

- Aproveitamento de estéril ou calcário impuro: Fábrica Salto de Pirapora e Fábrica Tocantins, originalmente fábricas de cimento;

- Aproveitamento de calcário fora da especificação granulométrica: Fábrica São José da Lapa, Calmit, Fábrica de Itapeva e Cipasa, originalmente fábricas de cal e cimento;

- Outras oportunidades: Fábrica Rio Branco do Sul.

6.3.4. Corretivos agrícolas

A Votorantim Cimentos possui uma linha de produtos destinada ao mercado agrícola que inclui corretivos de solo, fertilizantes à base de cálcio e magnésio e matérias-primas para produção de defensivos naturais. São produtos com alto padrão de pureza e qualidade.

Para correção do solo e fornecimento de cálcio e magnésio para as plantas, os produtos comercializados são o calcário magnesiano, o calcário dolomítico, a calfétil calcítica, a calfétil magnesiana e a calfétil dolomítica, todos da marca Itaú. Já a cal virgem agrícola funciona como defensivo natural, pois produz uma calda sulfocálcica, sendo também comercializada na marca Itaú.

6.3.5. Argamassas

A Votorantim Cimentos fabrica uma linha completa de argamassas para múltiplas aplicações, desenvolvidas para o atendimento de todas as necessidades do mercado de construção civil. Elas combinam qualidade e tecnologia de ponta, garantindo alto rendimento e excelentes resultados finais. A principal vantagem dos produtos da linha Votomassa é a facilidade de preparo, pois a argamassa já vem pronta para o uso no canteiro de obra, sendo necessária apenas a adição de água.

O Grupo Votorantim produz diversos tipos de argamassas, classificadas como básicas e colantes, além do sistema de argamassa a granel.

6.3.6. Sistema Matrix

As argamassas a granel Votomassa - Sistema Matrix - estão disponíveis para alvenaria de vedação e estrutural, revestimentos internos e externos de paredes e contrapiso. O Sistema Matrix, envolve, nas unidades de produção, as etapas de extração, estocagem, dosagem, pesagem, mistura das matérias-primas e entrega do produto final.

Na obra, inicialmente será entregue um silo de estocagem por meio de caminhões com estrutura desenvolvida para o seu transporte e posicionamento. Em seguida, o fornecimento da argamassa é realizado por caminhões graneleiros com capacidade máxima de 27 toneladas, com reabastecimentos periódicos, conforme solicitação prévia.

Esse sistema permite que o material seja transportado com a preservação de suas características e a permanência de suas propriedades desde a fabricação até a aplicação.

6.4. Proposta - aspectos gerais do estudo de caso

- **Produto:** Argamassa para revestimento
- **Processo:** Fabricação de argamassa
- **Pâmetros de produto final (Y):** Resistência à compressão (MPa)

- **Objetivo do estudo de caso na empresa:** Avaliar a estabilidade e a capacidade do processo de fabricação de argamassa, quanto à resistência, para determinado tipo de revestimento.

6.4.1. Procedimentos para avaliação da estabilidade do processo

Com a finalidade de avaliar a estabilidade do processo de produção da argamassa foram utilizadas as ferramentas de Cartas x AM.

- ◆ Uma carta de controle consiste de:
 - Uma linha média (LM).
 - Um par de limites de controle, representados um abaixo (limite inferior de controle – LIC) e outro acima (limite superior de controle – LSC) da linha média.
 - Valores da característica da qualidade (indicador) traçados na carta.

6.4.1.1. Coleta de dados para o controle do processo

Os dados para a análise foram coletados, sendo necessárias 25 amostras de argamassa, com o intervalo de uma amostra a cada hora. O procedimento para a avaliação do atributo alvo constou dos seguintes passos:

- Executar os ensaios a fresco de acordo com as normas técnicas de argamassas de revestimento (NBR 13277 – Argamassa para assentamento de paredes e tetos – Determinação da retenção de água e NBR 13278 – Argamassa para assentamento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado).
 - Após a execução dos ensaios a fresco (densidade a fresco, retenção de água e teor de ar incorporado), moldar a argamassa conforme NBR 13279 – Determinação da resistência à compressão. Foi moldado um corpo de prova para cada amostra analisada, tendo-se, com isso, 25 amostras.
 - Após 28 dias, avaliar a RC (Resistência à compressão: rompimento do CP através de ensaios automáticos à compressão, utilizando prensa hidráulica, NBR 13279).

6.4.1.2 Resultados obtidos

Os resultados obtidos estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2 - Medidas da resistência à compressão para argamassas (MPa)

Amostra	Resistência	Amostra	Resistência
1	6,45	14	6,20
2	6,60	15	6,50
3	6,40	16	6,40
4	6,30	17	6,60
5	6,50	18	6,40
6	6,60	19	6,60
7	6,40	20	6,50
8	6,80	21	6,50
9	6,40	22	6,40
10	6,80	23	6,30
11	6,40	24	6,50
12	6,50	25	6,50
13	6,50		

• Cálculo das amplitudes móveis (AM), que são as diferenças entre a medida atual e a medida anterior, em módulo.

$$AM = |\text{Medida Atual} - \text{Medida Anterior}|$$

Tabela 3 – Valores de Amplitudes Móveis

Amostra	Amplitude móvel	Amostra	Amplitude móvel
1	0,15	14	0,30
2	0,20	15	0,10
3	0,10	16	0,20
4	0,20	17	0,20
5	0,10	18	0,20
6	0,20	19	0,10
7	0,40	20	0
8	0,40	21	0,10
9	0,40	22	0,10
10	0,40	23	0,20
11	0,10	24	0
12	0		
13	0,30		

- Cálculo da amplitude média:

$$\overline{AM} = \frac{\text{Soma de todas amplitudes móveis}}{\text{Número.de.valores.somados}}$$

$$\overline{AM} = \frac{0,15 + 0,2 + 0,1 + \dots + 0,1 + 0,1 + 0}{24} = 0,18$$

- Cálculo da média dos valores individuais (x): A média é calculada somando-se todos os elementos do conjunto considerado e dividindo-se o resultado pelo número de elementos somados.

$$\bar{x} = \frac{\text{Soma de todos valores individuais}}{\text{Número.de.valores.somados}}$$

$$\bar{x} = \frac{6,45 + 6,60 + 6,40 + 6,30 + \dots + 6,40 + 6,30 + 6,50 + 6,50}{25} = 6,482$$

- Cálculo dos limites de controle da carta AM:

$$LSC = 3,267 \times AM$$

$$LM = AM$$

$$LIC = 0$$

$$LSC = 3,267 \times AM = 3,267 \times 0,18 = 0,588$$

$$LM = AM = 0,18$$

$$LIC = 0$$

- Fórmula para cálculo do desvio padrão:

$$\sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}$$

Onde:

X_i = resultado individual do processo

\bar{X} = média dos resultados do processo

n = número de resultados avaliados

A simples observação do valor obtido para o desvio padrão não permite a interpretação do que aquele valor significa, ou seja, se a magnitude da variação é aceitável ou inaceitável. Essa dificuldade é resolvida por meio da comparação do valor do desvio padrão com outros valores.

- **Cálculo da Mediana (X):** Ela está diretamente associada à ordenação e à posição ocupada pelos elementos de um conjunto de dados. A mediana é o termo central de uma seqüência de valores, colocados em ordem crescente ou decrescente. Ela é o valor que divide um conjunto de dados em duas partes iguais, deixando 50% dos dados acima e 50% abaixo de seu valor.

Coloca-se os dados em ordem crescente e tem-se os prováveis resultados abaixo:

Se o número de valores é ímpar, a mediana é o número localizado exatamente no meio da lista: $X_{(n+1)/2}$

Se o número de valores é par, a mediana é a média dos dois valores centrais: $(X_{n/2} + X_{(n/2)+1})/2$

6,20 6,30 6,30 6,40 6,40 6,40 6,40 6,40 6,40 6,40 6,45 6,50 **6,50**
6,50 6,50 6,50 6,50 6,50 6,50 6,60 6,60 6,60 6,60 6,80 6,80

- **Quartis:** Assim como a mediana divide o conjunto de dados em duas metades, os quartis dividem esse conjunto em quartos. (1/4 e 3/4).

1° Quartil – É o valor que deixa 25% dos dados abaixo e 75% acima dele.

2° Quartil – Mediana.

3° Quartil – É o valor que deixa 25% dos dados acima e 75% abaixo dele.

1° Quartil – 6,40

2° Quartil – 6,50

3° Quartil – 6,50

• Amplitude (R): É definida como a diferença, em valor absoluto, entre os extremos superior e inferior. A amplitude baseia-se, somente, nos valores extremos do conjunto de dados

$R = \text{maior valor da amostra} - \text{menor valor da amostra}$

$R = \text{MAX} - \text{MIN}$

$R = 6,80 - 6,20$

$R = 0,60$

1. Na carta de controle:

- Traçar os limites da carta de controle;
- Marcar os pontos na carta de controle;
- Interpretar as cartas de controle.

Carta de Controle X e AM para RC

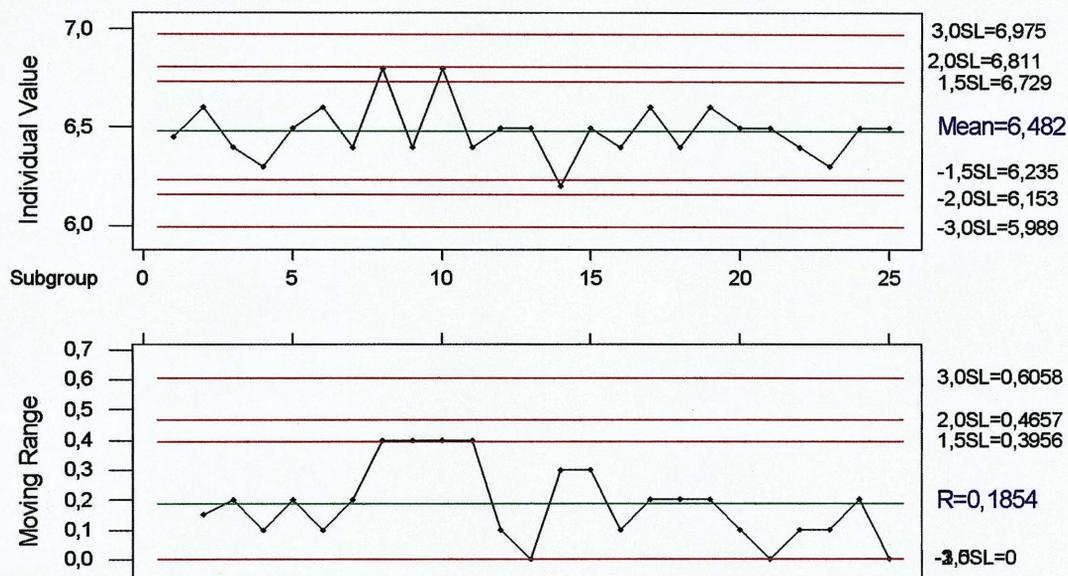


Figura 11 – Cartas de controle para a resistência à compressão

2. Histograma:

Cálculo da média e do desvio padrão:

Média = 6,482 MPa

Desvio padrão = $AM/d2 = 0,1854/1,128 = 0,164$

[Média – 3Desvio Padrão; Média + 3 Desvio Padrão] =

= $[x - 3AM/1,128; x + 3AM/1,128]$

= $[6,482 - 3 \times 0,1854/1,128; 6,482 + 3 \times 0,1854/1,128]$

= $[5,989; 6,975]$ MPa

Faixa de especificação: [5;8] MPa

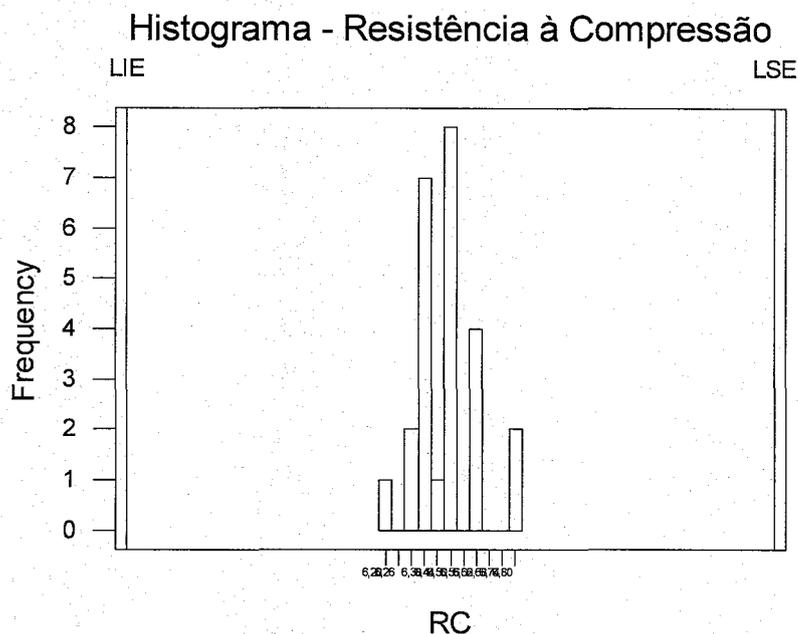


Figura 12 - Avaliação da capacidade do processo de fabricação de argamassa

3. Índices de Capacidade

Os índices de capacidade processam as informações, de forma que seja possível avaliar se um processo é capaz de gerar produtos que atendam às especificações provenientes dos clientes. Para utilizar os índices de capacidade, é necessário que o processo esteja sob controle estatístico e que a variável de

interesse tenha distribuição próxima da normal. A interpretação do índice C_p só tem sentido, se o processo estiver centrado no valor nominal. O valor mínimo geralmente exigido para C_p é 1,33.

Este índice é calculado através de:

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6 \text{ Desvio Padrão}}$$

Sendo:

LSE – Limite superior de especificação

LIE – Limite inferior de especificação

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6 \times \text{Desvio Padrão}} = \frac{8 - 5}{6 \times 0,164} = 3,04$$

$(1/C_p) \times 100$ é a percentagem da faixa de especificação utilizada pelo processo.

Assim,

$$\frac{1}{C_p} \times 100 = \frac{1}{3,04} \times 100 = 32,9\%$$

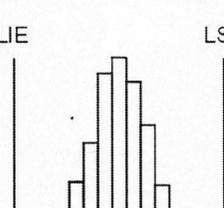
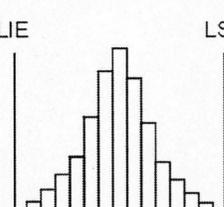
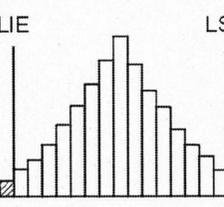
CLASSIFICAÇÃO DO PROCESSO	VALOR DE C_p	COMPARAÇÃO DO HISTOGRAMA COM AS ESPECIFICAÇÕES	PROPORÇÃO DE DEFEITUOSOS (p)
CAPAZ OU ADEQUADO (VERDE)	$C_p \geq 1,33$	 <p>LIE LSE</p> <p>Diagrama de um histograma normal centrado entre duas linhas verticais representando os limites de especificação LIE e LSE. O histograma está completamente contido dentro do intervalo definido por essas linhas.</p>	$p \leq 64 \text{ ppm}$
ACEITÁVEL (AMARELO)	$1 \leq C_p < 1,33$	 <p>LIE LSE</p> <p>Diagrama de um histograma normal centrado entre LIE e LSE, mas com uma parte da cauda à esquerda ultrapassando a linha LIE.</p>	$64 \text{ ppm} < p \leq 0,27 \%$
INCAPAZ OU INADEQUADO (VERMELHO)	$C_p < 1$	 <p>LIE LSE</p> <p>Diagrama de um histograma normal centrado entre LIE e LSE, com uma grande parte da cauda à esquerda ultrapassando a linha LIE e a cauda à direita ultrapassando a linha LSE.</p>	$p > 0,27 \%$

Figura 13 - Classificação de processos a partir do índice C_p

4. Índice C_{PK} : Quando a média do processo coincide com o valor nominal da especificação, temos que $C_P = C_{PK}$

$$C_{pk} = \text{MIN} \left[\frac{\text{LSE} - \text{Média}}{3 \text{ Desvio Padrão}}, \frac{\text{Média} - \text{LIE}}{3 \text{ Desvio Padrão}} \right]$$

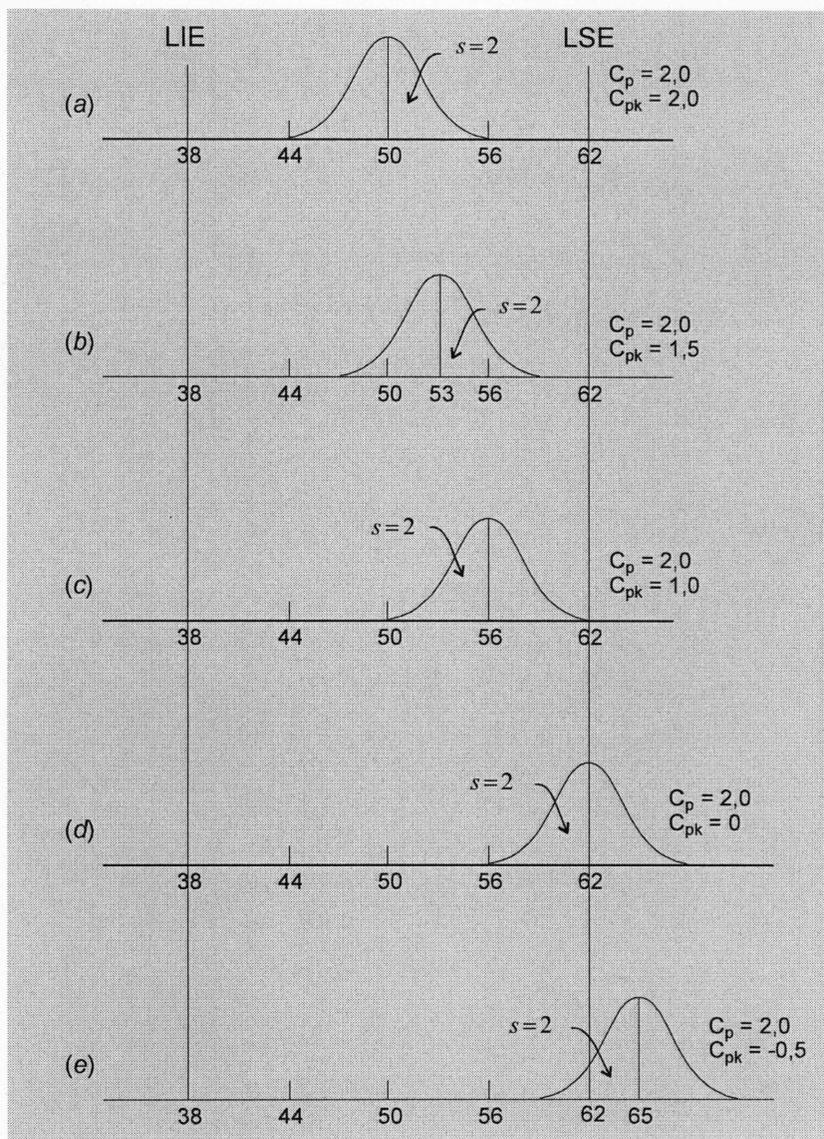


Figura 14 - Relacionamento entre os índices C_P e C_{PK} .

Serve como guia, para melhorar a capacidade do processo, em função da comparação entre C_P e C_{PK} :

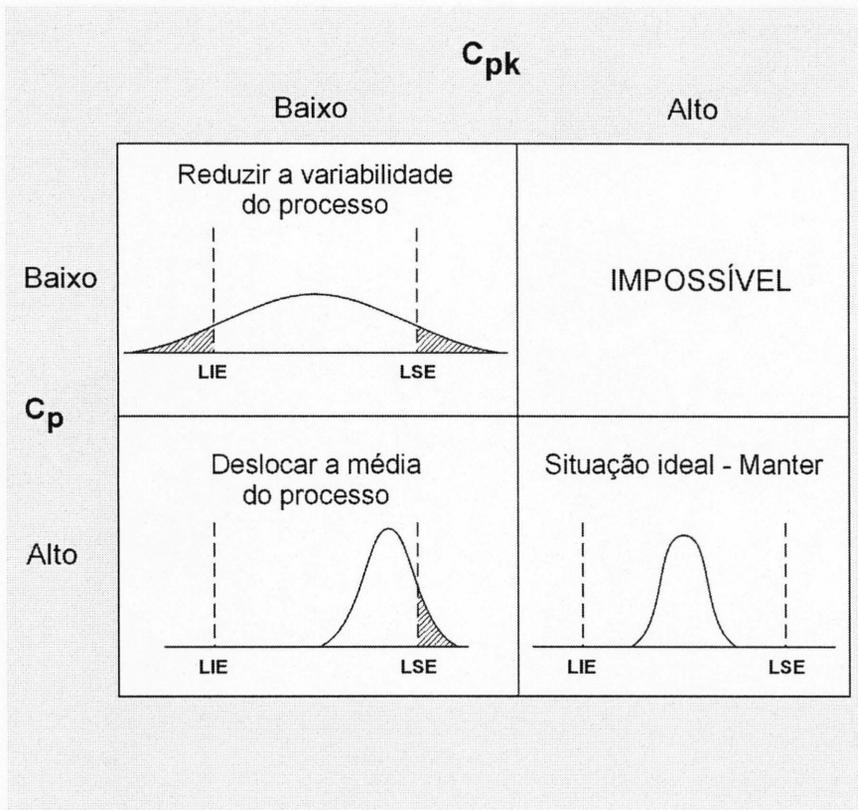


Figura 15 – Ação que deve ser adotada, para melhorar a capacidade do processo, em função da comparação das magnitudes de C_P e C_{PK}

Calculo do C_{PK} :

$$C_{pk} = \min \left[\frac{LSE - \bar{x}}{3AM/1,128} ; \frac{\bar{x} - LIE}{3AM/1,128} \right]$$

$$= \min \left[\frac{8 - 6,482}{3 \times 0,164} ; \frac{6,482 - 5}{3 \times 0,164} \right]$$

$$= \min [3,08; 3,01] = 3,01$$

7. CONCLUSÕES

A sobrevivência a longo prazo, em um ambiente competitivo e globalizado, é o grande desafio que as empresas têm de enfrentar atualmente. Nas duas últimas décadas, vivenciou-se uma série de programas e iniciativas relacionadas à revisão das práticas gerenciais, voltadas principalmente para a melhoria da qualidade e o aumento da produtividade da empresa, buscando uma maior competitividade.

Nesta última década, as empresas brasileiras que necessitavam concorrer com empresas no exterior, procuraram preparar-se em termos de excelência de qualidade. No entanto, com as mudanças ocorridas no mercado nacional nos últimos anos, todas as empresas nacionais sentem agora, bem de perto, a força de uma concorrência globalizada, com forte ênfase nos preços e na qualidade.

Conforme foi visto em capítulo anterior, as cartas de controle, por serem parte de um método para monitoramento de qualquer processo produtivo, com o objetivo de controlar a qualidade dos produtos ou serviços no momento em que estão sendo produzidos, enfatizam a característica mais desafiante do CEP, ou seja, o confronto entre a Prevenção e a tradicional Detecção, ou seja, a ação imediata versus ação após o fato.

Os resultados obtidos demonstram que as cartas de controle auxiliam na identificação de oportunidade de melhoria dos processos. Uma carta de controle não “descobre” as causas especiais de variação que estão atuando em um processo fora de controle estatístico, mas processa e dispõe informações que podem ser utilizadas na identificação de tais causas.

◆ Com a análise das cartas de controle, pode-se ter noção da tendência para a qual o processo está movimentando-se. As tendências são geralmente provocadas pela deterioração gradual de equipamentos, mas também podem ser devidas a fatores humanos, tais como cansaço do operador ou presença de

supervisores. Mudanças graduais nas condições ambientais, também podem resultar em tendência.

- ◆ Alguns exemplos de causas especiais de variação podem ser:
 - ◆ Descumprimento dos padrões operacionais;
 - ◆ Ocorrência de defeitos nos equipamentos;
 - ◆ Calibração inadequada de instrumentos de medição;
 - ◆ Funcionamento inadequado dos equipamentos;
 - ◆ Utilização de um novo tipo de matéria-prima.

Na carta de controle AM apenas o critério “ponto fora dos limites de controle” deve ser considerado. Quando analisada a carta de controle do exemplo citado, verifica-se que o processo está sob controle.

Do mesmo modo, com a análise do histograma, a faixa característica do processo encaixa-se, folgadoamente, faixa de especificação. Assim, de posse dessas informações, tornou-se possível fazer o cálculo do índice de capacidade.

Portanto, os resultados comprovam as afirmações de Deming, evidenciando que o controle estatístico é essencial para a administração, a engenharia, a fabricação, a aquisição de materiais e os serviços. A estabilidade, ou existência de um sistema, raramente é um estado natural, mas é o resultado da eliminação de causas especiais, uma a uma, baseando-se nos sinais estatísticos, fazendo com que reste apenas a variação aleatória a qual quando existe, sozinha, caracteriza um processo estável.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5426**: Planos de amostragem e procedimentos na inspeção por atributos. Rio de Janeiro, 1995.

DEMING, W.E. **A revolução da administração**, Rio de Janeiro: Marques-Saraiva, 1990.

DURECKER, P. **Prática de administração de empresas**. Rio de Janeiro: Fundo de Cultura, 1962.

FEIGENBAUM, A.V. **Métodos estatísticos aplicados à qualidade**. 4. ed., MacGraw Hill, 1990.

GERANEGÓCIO.COM.BR. Acesso em 02/02/2005.

JURAN, J.M.; GRZYNA, F.M. **Controle de qualidade, handbook – métodos estatísticos clássicos aplicados à qualidade**. V. VI, MacGraw Hill, 4ª Edição, 1993.

NUNES, J.P. **Modelos de controle estatístico do processo**. Disponível em www.geocities.com/Eureka/Plaza/6813. Acesso em 25/01/2005.

PINHEIRO, Paulo César. **Controle Estatístico da Qualidade**. Disponível em www.microvolt.com.br. Acesso em 25/01/2005.

REQUISITOS DO SISTEMA DA QUALIDADE – **Fundamentos do controle estatístico do processo – CEP**, Editora IQA - Instituto de Qualidade Automotiva, 1997.

ROSS, P.J. **Aplicação das técnicas Taguchi na engenharia da qualidade**. São Paulo: Makron Books, 1991.

SIQUEIRA, L.G.P. **Controle estatístico de processo**. São Paulo: Pioneira, 1997.

WALTON, M. **O método Deming de administração**, Rio de Janeiro: Marques-Saraiva, 1989.

ANEXOS

ANEXO 2 – Classificação dos Processos segundo o C_p

Nível do Processo	C_p	Proporção de Não Conformidade	Histograma Típico
Capaz	$C_p \geq 1,33$	$p \leq 64 \text{ ppm}$	
Razoável	$1 \leq C_p < 1,33$	$64 \text{ ppm} < p \leq 0,27\%$	
Incapaz	$C_p < 1$	$P > 0,27\%$	