

Prefácio ix
Prefácio à Edição Brasileira xiii

Capítulo 1
Introdução 1
O Papel dos Métodos Estatísticos no Gerenciamento
de Processos de Produção 2

Capítulo 2
Como Obter Dados 9
2.1 Como Coletar Dados 10
2.2 Folhas de Verificação 13

Capítulo 3
Análise de Pareto 21
3.1 O Que São Diagramas de Pareto? 22
3.2 Como Construir Diagramas de Pareto 23
3.3 Diagramas de Pareto por Efeitos e Diagramas de
Pareto por Causas 26
3.4 Notas Sobre os Diagramas de Pareto 27

Capítulo 4
Diagramas de Causa-e-Efeito 29
4.1 O Que São Diagramas de Causa-e-Efeito? 30
4.2 Como Construir Diagramas de Causa-e-Efeito 31
4.3 Notas Sobre os Diagramas de Causa-e-Efeito 35
4.4 Diagramas de Pareto e Diagramas de Causa-e-Efeito 37

Capítulo 5
Histogramas 41
5.1 Distribuições e Histogramas 42
5.2 Como Construir Histogramas 44
Métodos estatísticos para Melhoria da Qualidade

5.3 Como Interpretar Histogramas 53
5.4 Medidas para Representar as Características de
Distribuições 57
5.5 Distribuição Normal e Suas Características 64

MÉTODOS ESTATÍSTICOS PARA MELHORIA DA QUALIDADE

Hitoshi Kume



Editora Gente

Capítulo 1

Introdução



Contudo, independentemente dos tipos de produtos ou de métodos de produção usados, as causas de produtos defeituosos são universais.

Variação: Esta é a causa. O que acontecerá se fabricarmos produtos usando materiais exatamente com a mesma qualidade, máquinas e métodos de trabalho idênticos, e os inspecionarmos exatamente da mesma maneira? Qualquer que seja a quantidade fabricada, todos eles deverão ser idênticos caso as quatro condições anteriores sejam iguais. Isto é, os produtos serão todos conformes ou todos não-conformes? Todos eles serão defeituosos se materiais, máquinas, método de trabalho ou de inspeção não forem adequados. Nesse caso, serão invariavelmente produzidos produtos defeituosos exatamente idênticos. Desde que não haja falha nas quatro condições já mencionadas, os produtos resultantes devem ser todos "idênticamente" não-defeituosos.

No que diz respeito aos produtos que fabricamos, é quase impossível que todos venham a ser defeituosos. Dos produtos fabricados, alguns são defeituosos enquanto os demais não o são. Em outras palavras, produtos defeituosos e não-defeituosos vêm misturados.

Por que produtos defeituosos e não-defeituosos são produzidos juntos? A causa, como afirmamos antes, é a variação. *Varições nos materiais, na condição dos equipamentos, no método de trabalho, e na inspeção* são as causas dos defeitos. Se nenhuma dessas variações existisse, todos os produtos seriam idênticos e não haveria nenhuma variação da qualidade tal como a ocorrência de defeituosos e não-defeituosos.

Consideremos o trabalho de dobramento de chapas de aço. Todas elas parecem ter a mesma espessura. Mas, quando medidas com precisão, terão espessuras diferentes. Além disso, até numa mesma chapa, algumas partes têm espessura maior que outras. Se formos mais além para inspecionar a estrutura cristalina das chapas, encontraremos pequenas variações no formato dos grãos compostos de ferro, carbono e outros elementos, de uma parte da chapa à outra. Estas diferenças naturalmente afetam as características da qualidade. Mesmo quando se aplica o mesmo método de prensagem, as chapas não serão dobradas de maneira uniforme. Algumas delas poderão até mesmo trincar.

Consideremos, agora, a usinagem. A ferramenta que corte perde seu gume à medida que vai processando uma quantidade de produtos. A condição do óleo lubrificante também se altera com a mudança de temperatura. As dimensões dos produtos variam de acordo com o ajuste e

O Papel dos Métodos Estatísticos no Gerenciamento de Processos de Produção

(1) O Que Causa Produtos Defeituosos?

Um após outro, os produtos estão chegando na esteira transportadora. No fim da esteira existe uma máquina que, continuamente, empacota os produtos que chegam e manda-os para o depósito. Uma observação mais atenta revela um homem entre a esteira transportadora e a máquina empacotadora. Ele mantém seus olhos atentos ao fluxo de produtos e, ocasionalmente, apanha produtos que são jogados em uma cesta atrás de si. Esses produtos são defeituosos.

Cenas deste tipo são comumente vistas em muitas fábricas. No início, esses produtos jogados fora parecem ser um desperdício, mas logo passam a ser aceitos como processo rotineiro. Entretanto, acostumar-se aos itens defeituosos não resolve o problema; pelo contrário, é um passo no sentido oposto ao da solução.

Em primeiro lugar, como são fabricados itens defeituosos? O que deveria ser feito para diminuir sua ocorrência?

Para diminuir a quantidade de itens defeituosos, é preciso acreditar que os defeitos podem ser definitivamente reduzidos. Não é necessário dizer que não basta apenas esta crença para reduzir os defeitos. O que queremos dizer é que existem causas específicas para qualquer produto defeituoso, e que podemos nos livrar dos defeitos desde que essas causas sejam descobertas e eliminadas.

O que a maioria das pessoas pensa a respeito de itens defeituosos é que eles são inevitáveis. Pelo fato de os produtos terem de atender a especificações muito rígidas e de estarem sujeitos a vários fatores que causam defeitos.

posicionamento da ferramenta de corte. Embora possa parecer que uma operação é executada exatamente da mesma maneira que uma outra, muitas mudanças ou variações ocorrem sem serem percebidas, e elas afetam a qualidade do produto.

Consideremos o tratamento térmico como um outro exemplo. A temperatura do forno muda continuamente com a mudança da voltagem em um forno elétrico, e com a mudança da pressão do gás em um forno a gás. No forno, as áreas próximas à boca, topo, base ou laterais e a parte central possuem condições diferentes entre si. Quando colocamos materiais no forno para tratamento térmico, a quantidade de calor que os materiais recebem varia de acordo com a sua posição relativa, afetando características da qualidade, como a dureza do produto.

As características físicas e a habilidade do trabalhador também afetam a variação da qualidade do produto. Existem homens altos e baixos, hábeis e desajeitados, fortes e fracos, destros e canhotos. Todos os trabalhadores podem achar que estão trabalhando da mesma maneira, mas existem diferenças pessoais. Até um mesmo indivíduo trabalha de forma diferente conforme seu estado de espírito e a cada dia e suas condições físicas. Às vezes, ele comete um erro por desatenção.

Na inspeção, pode ocorrer uma aparente variação na qualidade. Se for usado um equipamento de medição em uma inspeção, a variação nos dados é causada pelo desajuste dele e pela maneira como ele é usado. No caso de inspeção sensorial, como a inspeção visual, a qualidade parece variar se houver variação nos critérios do inspetor. A variação na inspeção não tem uma relação direta com a variação da qualidade do produto em si, mas afeta o processo de decidir se um produto é defeituoso ou não.

Encarando o problema desta maneira, podemos agora perceber que no processo de fabricação de um produto existem inumeráveis fatores que afetam suas características de qualidade. Quando consideramos o processo de fabricação sob o ponto de vista da variação de qualidade, podemos entender o processo como *um agregado das causas de variação*. Estas causas são a explicação das mudanças nas características da qualidade dos produtos, originando produtos defeituosos ou não-defeituosos. Um produto é considerado não-defeituoso se suas características de qualidade satisfizerem uma certa especificação, e defeituoso, caso contrário. Mesmo os não-defeituosos possuem variações dentro dos limites da sua especificação. Isto significa que estes não são "exatamente iguais", como discutimos anteriormente.

Os defeitos são causados por variações. Se estas variações forem reduzidas, os defeitos certamente diminuirão. Este é um princípio simples e forte, que é válido independentemente dos tipos de produtos ou métodos de produção envolvidos.

(2) Diagnóstico do Processo

Embora as causas das variações da qualidade sejam incontáveis, nem toda causa afeta a qualidade com a mesma intensidade. Algumas delas, realmente, afetam muito a qualidade, enquanto outras, embora consideradas muito importantes na teoria, afetam muito pouco a variação da qualidade quando devidamente controladas.

As incontáveis causas que são concebíveis podem ser classificadas em dois grupos; o primeiro deles é constituído de uma quantidade pequena de causas que, no entanto, provocam grande efeito (as *poucas vitais*) e um segundo grupo que é composto de muitas causas que provocam somente efeitos de menor intensidade (as *muitas triviais*). Geralmente, não são muitos os fatores que realmente causam defeitos. Este fato é chamado de *Princípio de Pareto* porque aplica-se a muitos exemplos.

Aplicando-se o princípio da variação, introduzido anteriormente, e o Princípio de Pareto, o problema de redução de defeitos torna-se consideravelmente mais fácil de tratar. O que precisamos fazer primeiro, é encontrar as poucas causas vitais de defeitos e eliminá-las após terem sido claramente identificadas. "Em nosso processo, existem tantas causas de defeitos que é realmente impossível controlá-las." Este é o tipo de comentário que se ouve de pessoas envolvidas em trabalho de eliminação de defeitos. Todo processo possui muitas causas de variação da qualidade e nenhum destes, em particular, tem uma quantidade excepcionalmente grande de tais causas. Há uma enorme diferença entre haver muitos "suspeitos" que poderiam estar causando defeitos e haver, de fato, muitos "culpados" que estão realmente causando-os.

O procedimento de encontrar as causas de defeitos, dentre muitos outros fatores, é chamado de *diagnóstico do processo*. A fim de reduzir a quantidade de produtos defeituosos, a primeira ação necessária é realizar um diagnóstico correto para ver quais são as verdadeiras causas dos

defeitos. Se isto não for realizado corretamente, os produtos defeituosos não poderão ser reduzidos. É como dar um remédio contra dor para um paciente com apendicite, o que não o curará. O remédio poderia manter o paciente melhor temporariamente mas, após algum tempo, o sofrimento voltaria pior do que antes.

Como devemos realizar um diagnóstico correto? Existem vários métodos. Alguns empregam a intuição, outros dependem da experiência. Outros ainda incluem análises estatísticas com base em dados, enquanto certas pessoas usam pesquisa experimental. O método intuitivo é frequentemente usado porque pode ser realizado com muita rapidez. De fato, existe algo além da capacidade do homem comum na intuição de um verdadeiro especialista, que merece receber o devido respeito. Um movimento que um especialista em jogo de xadrez faz intuitivamente é superior ao movimento feito por um grupo de cem amadores. O conselho e a intuição de especialistas e peritos devem ser muito respeitados. Contudo, a dificuldade que existe no problema da redução de defeitos está no fato de que nem sempre é claro distinguir quem é um verdadeiro especialista. No caso do xadrez, podemos confiar quase totalmente no conselho de especialistas, porque o mais forte e o mais fraco são evidentes em jogos reais, e os jogadores campeões são aqueles que já ganharam, e sobreviveram a estas duras disputas. No caso do diagnóstico do processo, contudo, muitas vezes um "médico" que aparenta ser competente não o é necessariamente, podendo vir a ser alguém que "teve muitos pacientes que morreram". Além disso, nesta época de rápido progresso, é difícil manter-se como um especialista atualizado em problemas diversos cuja natureza está, constantemente, sujeita a mudanças. Como os problemas com produtos defeituosos são frequentemente encontrados em áreas onde há falta de experiência anterior, o que se precisa não é tanto de anos de experiência, mas uma forte vontade de diminuir os defeitos e uma atitude de observar de forma objetiva a real situação. A forma estatística de olhar as coisas e o uso dos métodos estatísticos constituem o meio mais eficaz para esta observação.

Os métodos estatísticos proporcionam um meio muito eficaz para o desenvolvimento de novas tecnologias e controle da qualidade em processos de manufatura. Muitos fabricantes de vanguarda vêm lutando pelo uso ativo dos métodos estatísticos, e alguns deles gastam mais de 100 horas anuais em educação, dentro da empresa, neste assunto. Embora o

conhecimento de métodos estatísticos esteja tornando-se parte dos instrumentos normais de um engenheiro, o fato de alguém conhecer métodos estatísticos não leva, imediatamente, à capacidade de aplicá-los. A habilidade em tratar problemas com base no ponto de vista estatístico é mais importante do que os próprios métodos. Além disso, precisamos ser francos para admitir problemas e variações, e coletar dados a seu respeito. Finalmente, queremos enfatizar que o aspecto que importa não é apenas o conhecimento dos métodos estatísticos em si, mas a atitude do indivíduo no sentido de querer aplicá-los.

Notas do tradutor

1. Palavra japonesa que significa "Treinamento".
2. Os termos "conforme" e "não-conforme" fazem parte da terminologia básica para a Qualidade e são usados, respectivamente, para dizer se um item ou serviço está ou não de acordo com os requisitos especificados (vide Norma NBR 8541/1984 da ABNT).

Capítulo 2

Como Obter Dados



2.1 Como Coletar Dados

(1) Tenha Objetivos Bem Definidos

Dados são um guia para nossas ações. A partir de dados aprendemos os fatos pertinentes, e tomamos providências apropriadas baseadas em tais fatos. Antes de coletar dados, é importante definir o que se pretende fazer com eles.

Numa fábrica de máquinas, foi feita uma inspeção por amostragem no recebimento de um certo tipo de peça comprada fora. Um lote que deveria ser rejeitado foi, excepcionalmente, aceito para manter a produção dentro do programado. Entretanto, não se tornou nenhuma providência especial quanto ao lote aceito. Isto significa que tanto os lotes que estavam conforme a especificação, como os que não estavam, seguiram para o processo seguinte. Estes dados certamente estavam sendo coletados para determinar a aceitabilidade dos lotes, mas não foram utilizados para nada.

No controle da qualidade, os objetivos da coleta de dados são:

- 1) Controle e acompanhamento do processo de produção,
- 2) Análise de não-conformidades, e
- 3) Inspeção.

Qualquer coleta de dados tem o seu próprio propósito e deve ser seguida por ações.

(2) Qual é o Seu Propósito?

Uma vez definido o objetivo da coleta de dados, os tipos de comparações a serem realizadas também são determinados e isto, por sua vez, identifica o tipo dos dados que devem ser coletados. Por exemplo, su-

ponha que haja um problema envolvendo variação numa característica da qualidade de um produto. Se for coletado apenas um dado por dia, é impossível determinar a variação que ocorre ao longo de um dia. Ou, caso se deseje descobrir de que maneira são produzidos produtos defeituosos por dois operários, é necessário colher seus dados em separado para que seja possível analisar o desempenho de cada operário. Se a comparação de um em relação a outro revela uma clara diferença, a ação corretiva que elimina a diferença entre os operários irá também reduzir a variação no processo.

Este modo de dividir um grupo em diversos subgrupos com base em certos fatores, é chamado de *estratificação*. A estratificação é muito importante. É necessário tornar habitual a aplicação da estratificação, no seu raciocínio, em todos os tipos de situações.

Então, suponha que se queira saber a relação entre a quantidade de um componente e a dureza do produto. Num caso como este, em que se deseja saber se há uma relação entre os valores de duas características, os dados precisam estar disponíveis em pares. Se os dados forem coletados em pares, eles poderão ser analisados através do uso de um *diagrama de dispersão*, explicado no Capítulo 6.

(3) As Medições São Confiáveis?

Mesmo que as amostras tenham sido coletadas apropriadamente, será feito um julgamento errado se a própria medição não for confiável. Por exemplo, inspeções realizadas por um certo inspetor apontaram uma fração defeituosa muito diferente da dos demais inspetores, e um cuidadoso exame posterior revelou que o equipamento de medição era inadequado.

No caso de uma inspeção sensorial, como a inspeção visual, diferenças devidas aos próprios inspetores são muito comuns. Este fato precisa ser levado em consideração quando da coleta e análise de dados.

(4) Ache Maneiras Corretas para Registrar os Dados

Após a coleta dos dados, vários métodos estatísticos são usados para analisá-los, de modo que eles se tornem uma fonte de informação. Ao coletar dados, é importante dispô-los de forma clara para facilitar o posterior tratamento. Em primeiro lugar, a sua origem precisa ser claramente registrada. Dados cuja origem não seja claramente conhecida, tornam-se inúteis. Com frequência, são obtidas poucas informações úteis, apesar de gastar-se uma semana na coleta de dados sobre características da qualidade, porque as pessoas esquecem de anotar em que dias da semana eles foram coletados, quais foram as máquinas que executaram o processo, quais foram os operários, quais lotes de materiais foram envolvidos, e assim por diante.

Em segundo lugar, os dados precisam ser registrados de tal modo que possam ser facilmente utilizados. Como são frequentemente usados mais tarde, para calcular estatísticas, tais como médias e amplitudes, é melhor que já sejam anotados numa maneira que facilite esses cálculos. Por exemplo, dados envolvendo 100 peças, obtidos através da realização de 4 medições por dia (às 9h, 11h, 14h e 16h) durante 25 dias, deveriam naturalmente ser registrados numa folha de dados, como se observa na Tabela 2.1, na qual os horários estão dispostos na horizontal e os dias estão listados verticalmente. Desta forma, os cálculos diários podem ser feitos considerando os valores em cada linha, e os cálculos por horário, com os valores contidos em cada coluna. Se a intenção é de coletar dados de forma contínua, deve ser providenciada, de antemão, uma quantidade de folhas de registro padronizadas.

Tabela 2.1 Um Exemplo de Folha de Dados

Data	Hora			
	9 h	11 h	14 h	16 h
1 / 02	12,3	11,5	13,2	14,2
2 / 02	13,2	12,5	14,0	14,0
3 / 02	⋮	⋮	⋮	⋮

2.2 Folhas de Verificação

Como exposto na seção anterior, quando for preciso coletar dados, é essencial esclarecer sua finalidade e ter valores que reflitam claramente os fatos. Além dessas premissas, em situações reais é importante que os dados sejam coletados de uma maneira simples e num formulário fácil de usar. Uma *folha de verificação* é um formulário de papel no qual os itens a serem verificados já estão impressos, de modo que os dados possam ser coletados de forma fácil e concisa. Suas principais finalidades são duas:

- 1) Facilitar a coleta de dados;
- 2) Organizar os dados simultaneamente à coleta, para que possam ser facilmente usados mais tarde.

A coleta e o registro dos dados parecem ser fáceis mas, na realidade, não são. Usualmente, quanto mais pessoas processam dados, maior é a possibilidade do aparecimento de erros de escrita. Por esta razão, a folha de verificação — na qual os dados podem ser registrados através de marcas ou símbolos simples, e imediatamente organizados sem necessidade de retratamento manual posterior — torna-se uma poderosa ferramenta de registro. A seguir, são apresentados alguns exemplos de folhas de verificação.

Exemplo 2.1 Folha de verificação para a distribuição do processo de produção

Suponha que queiramos conhecer a variação nas dimensões de um certo tipo de peça cuja especificação de usinagem seja $8,300 \pm 0,008$ mm. Para estudar a distribuição dos valores característicos do processo, são normalmente usados histogramas. Valores como a média e variância são calculados com base no histograma e a forma da distribuição também é examinada de várias maneiras.

Na construção de um histograma, é muito incômodo coletar uma grande quantidade de dados e, em seguida, desenhar um gráfico mostrando a distribuição das frequências. Uma maneira mais simples é classificar os dados exatamente no instante de sua coleta. A Figura 2.1 é um exemplo de formulário que pode ser previamente preparado. Cada vez que uma medição é feita, uma marca (por ex. X) é colocada na quadrícula apropriada, para que se tenha o histograma pronto no momento em que as medições forem encerradas. Quando for necessário

Ao usar essa folha de verificação, como foi o caso do Exemplo 2.1, será impossível estratificar os dados posteriormente, por exemplo, conforme o período do dia (manhã e tarde), uma vez que os dados já foram coletados. Portanto, quando a estratificação é considerada necessária, este fato deve ser considerado desde o início da preparação da folha de verificação.

É necessário definir claramente, de antemão, como os defeitos devem ser registrados quando forem encontrados dois ou mais num mesmo produto e, então, dar instruções completas para as pessoas que farão a contagem. No caso da Figura 2.2, 42 entre 1.525 itens apresentaram defeitos. Entretanto, a quantidade total de defeitos foi de 62 porque, em alguns casos, foram encontrados dois ou mais defeitos num mesmo item.

Exemplo 2.3 Folha de verificação para localização de defeitos

Defeitos externos tais como riscos e manchas são encontrados em todos os tipos de produtos, e muitos esforços estão sendo feitos em várias fábricas para reduzi-los. A folha de verificação para localização de defeitos tem uma função poderosa na solução deste tipo de problema. Geralmente, as folhas de verificação deste tipo têm um croqui ou uma vista ampliada onde são anotadas as marcas, permitindo a observação da distribuição das ocorrências de defeitos.

A Figura 2.3 mostra um exemplo utilizado por um fabricante de máquinas na inspeção de aceitação de peças fundidas. O tipo de defeito é "bolha presa" e, anteriormente, o fornecedor era apenas informado sobre a rejeição ou aceitação de cada lote e a quantidade de defeitos por lote. A qualidade, contudo, não havia apresentado nenhuma melhoria.

Após a introdução de folhas de verificação como a da Figura 2.3, servindo como relatórios de inspeção, que até indicavam onde havia maior probabilidade de ocorrer bolhas, a qualidade melhorou bastante porque ficou mais fácil encontrar as causas dos defeitos. Esta folha de verificação nos conduz facilmente à tomada de ações e é indispensável para o diagnóstico do processo, porque as causas dos defeitos podem, freqüentemente, ser encontradas através do exame dos locais onde ocorrem os defeitos e pela cuidadosa observação do processo para determinar por que os defeitos se concentram nesses locais.

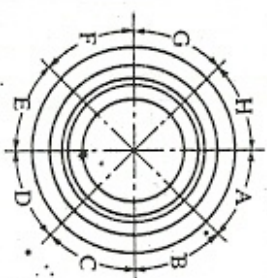
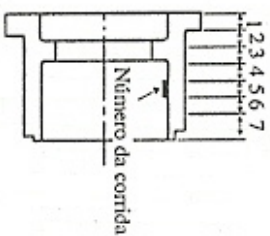
Folha de Verificação para Localização de Bolha

Número e nome do produto:

Material:

Fabricante:

1. Croqui



2. Localização do defeito

Circular \ Radial	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A										1
B			/							
C										
D										
E			///						///	9
F		/								
G										
H		□								
		□								
			□							
	10	4	2	7						13

Figura 2.3 Folha de Verificação para Localização de Defeitos

Exemplo 2.4 Folha de verificação de causa de defeito

A folha de verificação do exemplo anterior é usada para apontar a localização de defeitos. Além disso, folhas de verificação são algumas vezes usadas para uma estratificação ainda maior, de modo a encontrar as causas de defeitos. De forma geral, a maioria dos estudos voltados à detecção das causas de defeitos envolve associação dos dados de causas com os dados dos correspondentes efeitos, disposição dos dados numa ordem que mostre claramente esta correspondência, e mais tarde, análise dos dados através da estratificação por causas ou da construção de

diagramas de dispersão. Contudo, se o caso for simples, é possível correlacionar os dados correspondentes mediante uma folha de verificação.

Por exemplo, a Figura 2.4 mostra uma folha de verificação para o registro de ocorrências de defeitos em botões de baquelite, com relação às máquinas, operários, dias da semana, período do dia (M - manhã, T - tarde) e tipos de defeito. Numa rápida olhada, podemos ver que o operário B produz mais defeitos. Na quarta-feira, todos os operários produ-

Equipamento	Operário	Segunda		Terça		Quarta		Quinta		Sexta		Sábado	
		M	T	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T
Máquina 1	A	oo x	o x	ooo o	o x	oooo x	oooo x	oooo o	oooo o	oooo o	oooo o	oooo o	oooo x
	B	o xx	ooo xxx	oooo xx	oooo xx	oooo x	oooo xx	oooo x	oooo xx	oooo o	oooo xx	oooo o	oooo xx
Máquina 2	C	oo x	o x	ooo o	o x	oooo x	oooo o	oooo o	oooo o	oooo o	oooo o	oooo o	oooo o
	D	oo x	o x	ooo o	o x	oooo x	oooo o	oooo o	oooo o	oooo o	oooo o	oooo o	oooo x

○ riscado X bolha
 • formato defeituoso □ outros Δ acabamento defeituoso

Figura 2.4 Folha de Verificação para Causa de Defeitos

ziram muitos defeitos. Uma investigação das causas revelou que o operário B não estava trocando os moldes com a frequência necessária, e que às quartas-feiras as matérias-primas tinham uma composição que tendia a causar mais defeitos.

Uma folha de verificação com um diagrama de causa-e-efeito podem ser utilizados para o mesmo propósito. Ou seja, um diagrama de causa-e-efeito, facilmente entendido pelos operários, pode ser preparado, e o espaço próximo a cada espinha é assinalado quando uma causa ou condição de defeito torna-se conhecida. A partir deste diagrama, pode-se determinar quais causas devem ser priorizadas para a jornada de ações corretivas.

Além dos exemplos já descritos, existem muitos outros tipos de folhas de verificação sendo utilizados nas fábricas. Na concepção de folhas de verificação devemos considerar, em primeiro lugar, o objetivo da coleta de dados e, a seguir, executar várias adaptações criativas de modo que os dados possam ser coletados e registrados facilmente e numa forma que seja a mais apropriada ao objetivo.

Exercício 2.1

Num processo de polimento de lentes, trabalham dois operários, cada um operando duas máquinas. Ultimamente, a fração defeituosa deste processo tem aumentado. Os operários estão solicitando uma mudança de máquinas, alegando que as que estão atualmente em uso são muito velhas. O pessoal técnico encarregado do processo diz que os operários deveriam ser mais cuidadosos porque eles estão cometendo erros por falta de atenção. O que você faria numa situação semelhante?

Notas do tradutor

1. A média e a amplitude são medidas importantes apresentadas no Capítulo 5.
2. Este diagrama é apresentado em detalhe no Capítulo 4.

Capítulo 3

Análise de Pareto



Tabela 3.2 Planilha de Dados para o Diagrama de Pareto

Tipo de Defeito	Quantidade de Defeitos	Total Acumulado	Porcentagem de Total Geral (%)	Porcentagem Acumulada (%)
Deformação	104	104	52	52
Risco	42	146	21	73
Porosidade	20	166	10	83
Trinca	10	176	5	88
Mancha	6	182	3	91
Fenda	4	186	2	93
Outros	14	200	7	100
Total	200	—	100	—

Etapa 4

Prepare uma planilha de dados para o diagrama de Pareto listando os itens, seus totais individuais, os totais acumulados, as porcentagens sobre o total geral, e as porcentagens acumuladas (Tabela 3.2).

Etapa 5

Ordene os itens em ordem decrescente de quantidade, e preencha a planilha de dados para o diagrama de Pareto.

Nota: O item "outros" deve ficar na última linha, qualquer que seja a sua grandeza. Isto se deve ao fato de que ele é constituído de um grupo em que cada item é menor que o menor item listado individualmente.

Etapa 6

Trace dois eixos verticais e um eixo horizontal.

1) Eixos verticais.

a) Eixo vertical do lado esquerdo

Marque este eixo com uma escala de 0 até o valor do total geral.

b) Eixo vertical do lado direito

Marque este eixo com uma escala de 0% a 100%.

2) Eixo Horizontal

Divida este eixo num número de intervalos igual ao número de itens da classificação.

Etapa 7

Construa um diagrama de barras.

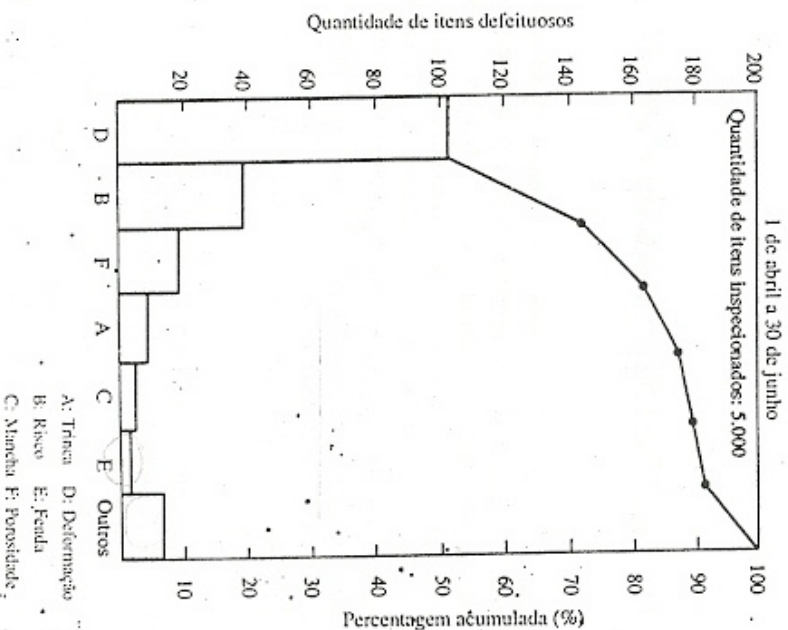


Figura 3.1 Gráfico de Pareto por Itens Defeituosos

Etapa 8

Desenhe a curva acumulada (curva de Pareto).

Marque os valores acumulados até cada item (total acumulado ou porcentagem acumulada) sobre o lado direito do respectivo intervalo, e marque os pontos com segmentos de reta.

Etapa 9

Anote outras informações que forem necessárias no diagrama.

1) Informações referentes ao diagrama:

Título, quantidades significativas, unidades, nome do diagramador.

2) Informações referentes aos dados:

Período, assunto e local do levantamento, quantidade total de dados.

3.3 Diagramas de Pareto por Efeitos e Diagramas de Pareto por Causas

Como mencionado anteriormente, o diagrama de Pareto é um meio de identificação dos "poucos vitais", e existem dois tipos.

(1) Diagramas de Pareto por Efeitos

Este é um diagrama que se refere aos seguintes resultados indesejáveis, e é utilizado para descobrir qual é o maior problema.

- 1) Qualidade: defeitos, erros, falhas, reclamações, devoluções, reparos.
- 2) Custo: montante de perdas, gastos.
- 3) Entrega: falta de estoques, falta de pagamentos, atrasos na entrega.
- 4) Segurança: acidentes, enganos, quebras.

(2) Diagramas de Pareto por Causas

Este é um diagrama que se refere às causas no processo, e é utilizado para descobrir qual é a maior causa do problema.

- 1) Operador: turno, grupo, idade, experiência, habilidade, identidade da pessoa.
- 2) Máquina: máquinas, equipamentos, ferramentas, organizações, modelos, instrumentos.
- 3) Matéria-prima: fabricante, fábrica, lote, tipo.
- 4) Método de operação: condições, ordens, preparativos, métodos.

3.4 Notas Sobre os Diagramas de Pareto

(1) Sugestões para Construção de Diagramas de Pareto.

- 1) Analise várias classificações e construa diversos tipos de diagramas de Pareto. Pode-se chegar à essência de um problema por meio da observação sob vários ângulos, e é necessário experimentar várias formas de classificação até que se identifiquem os poucos vitais, o que é o objetivo da análise de Pareto.
- 2) É inconveniente que o item "outros" tenha uma percentagem muito alta. Se isto acontecer, é porque os itens analisados não estão classificados apropriadamente e muitos acabam se enquadrando sob este título. Neste caso, deve-se considerar uma forma de classificação diferente.
- 3) Se um valor monetário puder ser associado aos dados, é melhor desenhar diagramas de Pareto com eixo vertical que mostre isto. Se as implicações financeiras de um problema não forem devidamente apreciadas, o estudo em si pode acabar sendo ineficaz. O custo é um importante parâmetro de medição na administração.

(2) Sugestões para o Uso de Diagramas de Pareto.

- 1) Se um item parece ser de solução simples, ele deve ser atacado de imediato, mesmo que seja de uma importância relativamente pequena. Como o gráfico de Pareto visa a eficiência da solução de problemas, ele requer, basicamente, que ataquemos somente os poucos vitais. Entretanto, se houver um item que parece ter uma importância relativa pequena, mas que pode ser resolvido através de uma controvérsia simples, ele deve ser atacado pois servirá como um exemplo de solução eficiente de problema, e a experiência, as informações e a elevação do moral obtidas por meio dele serão de grande valia para futuras soluções de problemas.

- 2) Não deixe de construir um diagrama de Pareto por causas. Após identificar o problema pela construção do diagrama de Pareto por efeitos, é necessário identificar as causas para resolver o problema. Portanto, é vital construir um diagrama de Pareto por causas, caso se queira obter progresso.

Exercício 3.1

Analisar os dados da Tabela 3.3 construindo vários diagramas de Pareto

Tabela 3.3

Operador	Máquina	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
A	Nº 1	**** *** OO ##	***** * OOO #	***** ***** OOOO ##	***** * OOO ##	***** * OOOO ###
		☆7		☆		
		••	••••	••••	••	••
		* O	OO	OO	O	O
	Nº 2	☆		*****	••	••
	Nº 3	••	••••	••••	••	••••
	Nº 4	••	••••	••••	••	••
B		••	••••	••••	••	••
	Nº 4	••	••••	••••	••	••

• Deformação • Risco • Porosidade # Trinca ☆ Outros

Notas do Tradutor

1. É também chamado de Gráfico de Pareto ou Curva ABC.
2. Os totais referidos são do número de vezes que cada item foi observado e do número total de observações (total geral).

1º ponto 2º ponto 3º ponto 4º ponto
 Nº de vezes X Operador Nº de defeitos X máquina Nº de defeitos X dias Nº de defeitos X operador

Capítulo 4

Diagramas de Causa-e-Efeito

4.2 Como Construir Diagramas de Causa-e-Efeito

Construir um diagrama de causa-e-efeito útil não é tarefa fácil. Pode-se afirmar, com segurança, que as pessoas que têm sucesso na solução de problemas de controle da qualidade são aquelas bem sucedidas na construção de diagramas de causa-e-efeito úteis. Há muitas maneiras de construir o diagrama, das quais dois métodos típicos serão descritos aqui. Antes da introdução dos procedimentos, explicaremos a estrutura do diagrama de causa-e-efeito com um exemplo.

(1) Estrutura dos Diagramas de Causa-e-Efeito e Exemplo

Um diagrama de causa-e-efeito também é chamado de "diagrama da espinha de peixe" porque ele se parece com o esqueleto de um peixe, conforme se observa na Figura 4.1. Ocasionalmente também é chamado de diagrama "da árvore" ou "do rio", mas adotaremos aqui a denominação "espinha de peixe". Um exemplo real é mostrado na Figura 4.2

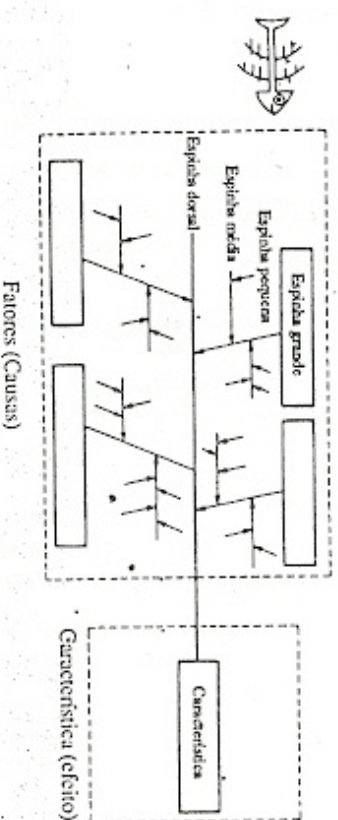


Figura 4.1 Estrutura do Diagrama de Causa-e-Efeito

4.1 O Que São Diagramas de Causa-e-Efeito?

A saída ou resultado de um processo pode ser atribuído a uma grande quantidade de fatores, e uma relação de causa-e-efeito pode ser encontrada entre esses fatores. Pode-se determinar a estrutura ou uma relação de causa-e-efeito múltipla observando o processo sistematicamente. É difícil resolver problemas complicados sem considerar esta estrutura, a qual consiste em uma cadeia de causas e efeitos, e um diagrama de causa-e-efeito é um método simples e fácil de representá-la.

Em 1953, Kaoru Ishikawa, Professor da Universidade de Tóquio, sintetizou as opiniões dos engenheiros de uma fábrica na forma de um diagrama de causa-e-efeito, enquanto eles discutiam um problema de qualidade. Considera-se como sendo aquela a primeira vez que foi utilizada esta abordagem. Antes disso, os auxiliares do Prof. Ishikawa haviam empregado este método para organizar os fatores nas suas atividades de pesquisa. Quando o diagrama foi usado na prática, ele provou ser muito útil, e logo passou a ser amplamente utilizado entre as empresas de todo o Japão. Ele foi incluído na terminologia de Controle da Qualidade da JIS ("Japanese Industrial Standards")¹ e foi definido como segue.

Diagrama de causa-e-efeito:
um diagrama que mostra a relação entre uma característica da qualidade e os fatores.

O diagrama é usado atualmente não apenas para lidar com as características da qualidade de produtos, mas também em outros campos, e tem encontrado aplicações no mundo inteiro.

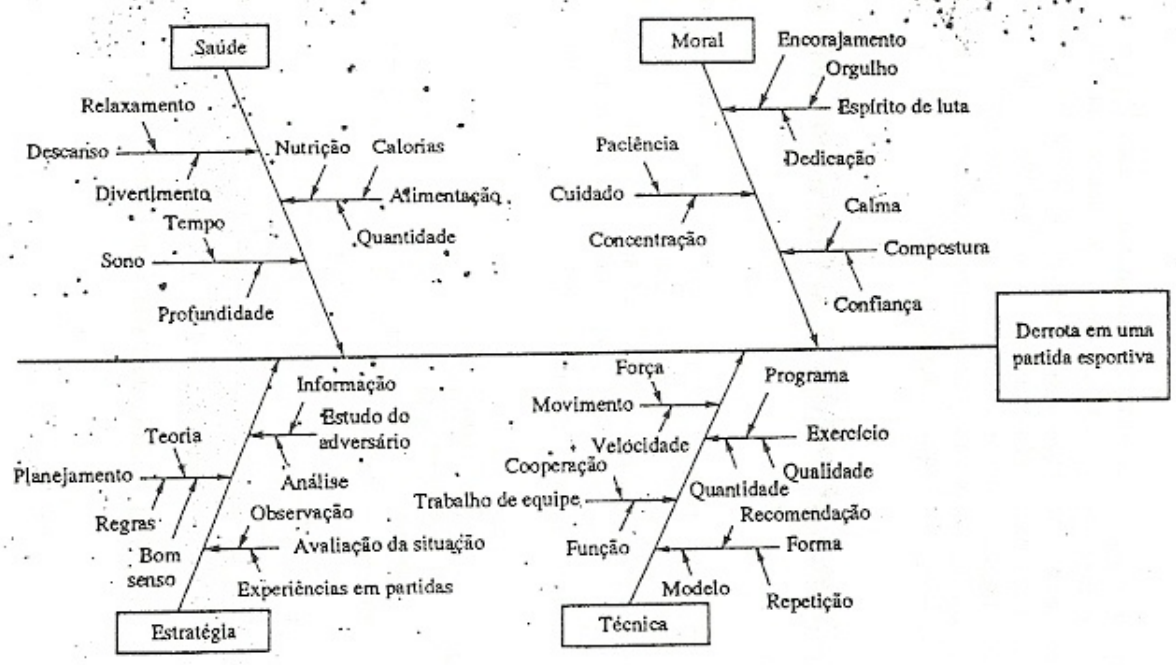


Figura 4.2 Exemplo do Diagrama de Causa-e-Efeito

(2) Procedimento para Construção de Diagramas de Causa-e-Efeito para Identificação de Causas

1) Procedimento

Etapa 1
 Determine as características da qualidade.

Etapa 2

Escolha uma característica da qualidade e a escreva no lado direito de uma folha de papel; desenhie a espinha dorsal apontada da esquerda para a direita, e enquadre a característica da qualidade num retângulo. Em seguida, escreva as causas primárias que afetam a característica da qualidade, associando-as às espinhas grandes, também dentro de retângulos.

Etapa 3

Escreva as causas (causas secundárias) que afetam as espinhas grandes (causas primárias), associando-as às espinhas médias e escreva as causas (causas terciárias) que afetam as espinhas médias, associando-as às espinhas pequenas.

Etapa 4

Estipule a importância de cada fator e destaque os fatores particularmente importantes que pareçam ter um efeito significativo na característica da qualidade.

Etapa 5

Registre quaisquer informações necessárias.

2) Explicações sobre o procedimento

Quando você for aplicar esta abordagem, freqüentemente, poderá achar difícil conduzir o procedimento. Neste caso, o melhor método é considerar a "variação". Por exemplo, considere a variação na característica da qualidade quando estiver analisando as espinhas grandes. Se os dados indicarem que existe tal variação, pergunte-se por que ela ocorre. Uma variação no efeito só pode ser causada por variação dos fatores. Este tipo de pensamento alternativo é extremamente eficaz.

Por exemplo, quando estiver construindo um diagrama de causa-e-efeito relativo a um certo defeito, poderá descobrir que existe uma va-

riação nas quantidades de defeitos que ocorrem nos diferentes dias de uma semana. Se você descobrir que o defeito ocorreu com frequência maior na segunda-feira do que em qualquer outro dia da semana, pode mudar o seu pensamento como segue: "Por que o defeito ocorreu?", "Por que o defeito ocorreu com frequência maior na segunda-feira do que em qualquer outro dia da semana?" Isto o levará a procurar fatores que façam a segunda-feira diferente dos demais dias da semana que, finalmente, levarão à descoberta da causa do defeito.

Com a adoção deste método de raciocínio em cada estágio do exame da relação entre a característica da qualidade e as espinhas grandes, entre as espinhas grandes e as médias e entre as médias e as pequenas, é possível construir um diagrama de causa-e-efeito útil, numa forma lógica.

Tendo completado o diagrama de causa-e-efeito, a etapa seguinte é espulpar a importância de cada fator. Não necessariamente, todos os fatores do diagrama estão estreitamente relacionados com a característica. Destaque aqueles fatores que parecem ter efeito particularmente significativo sobre a característica.

Finalmente, inclua no diagrama quaisquer informações necessárias, tais como o título, o nome do produto, processo ou grupo, uma relação dos participantes, a data, etc.

(3) Procedimento para Construção de Diagramas de Causa-e-Efeito para Levantamento Sistemático das Causas

1) Procedimento

Etapa 1

Estabeleça a característica da qualidade.

Etapa 2

Encontre o maior número possível de causas que são suspeitas em afetar a característica da qualidade.

Etapa 3

Exclua as relações entre as causas e elabore um diagrama de causa-e-efeito, ligando essas causas com a característica da qualidade através de relações de causa e efeito.

Etapa 4

Estipule a importância de cada fator e destaque os fatores particularmente importantes, que parecem ter efeito significativo sobre a característica da qualidade.

Etapa 5

Registre quaisquer informações necessárias.

2) Explicação sobre o procedimento

Esta abordagem é caracterizada pela associação de duas atividades diferentes: o levantamento do maior número possível de causas e o arranjo das mesmas de forma sistemática.

Para o levantamento das causas, é necessária uma discussão aberta e dinâmica, e um método eficaz para a condução de uma reunião promovida com este propósito é o "brain-storming", desenvolvido por A. F. Osborn, nos Estados Unidos.

Na construção do diagrama de causa-e-efeito, as causas devem ser interligadas de forma sistemática, avançando das espinhas pequenas para as espinhas médias, e depois das espinhas médias para as espinhas grandes.

4.3 Notas Sobre os Diagramas de Causa-e-Efeito

(1) Sugestões para Construção de Diagramas de Causa-e-Efeito

1) Identifique todos os fatores relevantes através da investigação e discussão com muitas pessoas.

Os fatores que influenciam mais fortemente a característica da qualidade devem ser determinados a partir daqueles listados no diagrama. Se um fator for omitido no estágio inicial da discussão, antes que o diagrama seja construído, ele não aparecerá num estágio pos-

- terior. Portanto, a discussão com todas as pessoas envolvidas é indispensável para a preparação de um diagrama completo que não tenha omissões.
- 2) Expresse a característica da forma mais concreta possível. Uma característica expressa em termos abstratos irá apenas resultar num diagrama de causa-e-efeito baseado em generalidades. Mas ainda que tal diagrama não contenha erros básicos sob o ponto de vista das relações de causa e efeito, ele não será muito útil para resolver problemas reais.
 - 3) Elabore tantos diagramas de causa-e-efeito quantos forem as características.
 - Defeitos no peso e no comprimento de um mesmo produto terão estruturas diferentes de causa e efeito, e devem ser analisados em dois diagramas separados. A tentativa de incluir tudo num único diagrama irá resultar num diagrama impossível de lidar por ser grande e complicado, tornando a solução do problema muito difícil.
 - 4) Escolha característica e fatores mensuráveis. Após completar o diagrama de causa-e-efeito, é necessário avaliar a intensidade das relações de causa e efeito, objetivamente, usando dados. Para isso, tanto a característica como os fatores causais devem ser mensuráveis. Quando for impossível medi-los, deve-se tentar torná-los mensuráveis ou encontrar características alternativas.
 - 5) Descubra fatores que possam ser atacados. Se a causa que foi identificada não puder ser atacada, o problema não será resolvido. Para que melhorias sejam alcançadas, as causas precisam ser detalhadas até o nível em que possam ser atacadas, caso contrário, a sua identificação terá sido um exercício sem sentido.

(2) Sugestões sobre Uso de Diagramas de Causa-e-Efeito

- 1) Estipule objetivamente a importância de cada fator com base em dados. A investigação dos fatores com base em nossa própria habilidade e experiência é importante, mas é perigoso atribuir-lhes peso somente em função de impressões e percepções subjetivas. A maioria dos problemas passíveis de solução dessa forma já poderiam ter sido sa-

- nados e, conseqüentemente, o restante dos problemas que permanecem sem solução não poderá ser assim atacado. A estipulação da importância dos fatores de forma objetiva, através do uso de dados, é uma tarefa ao mesmo tempo mais científica e mais lógica.
- 2) Tente melhorar continuamente o diagrama de causa-e-efeito com o seu uso.
 - O uso efetivo do diagrama de causa-e-efeito auxiliará a enxergar aqueles itens que precisam ser verificados, excluídos ou modificados e, também, a descobrir itens que deveriam ser acrescentados. É preciso fazer um esforço persistente para melhorar o diagrama e, por fim, um diagrama realmente aproveitável poderá ser obtido. Este será útil para a resolução de problemas e, ao mesmo tempo, ajudará a melhorar a sua própria habilidade e a ampliar seu conhecimento tecnológico.

4.4 Diagramas de Pareto e Diagramas de Causa-e-Efeito

Vários métodos devem ser aplicados conjuntamente na resolução de problemas, sendo que a combinação de um diagrama de Pareto e um diagrama de causa-e-efeito é particularmente útil. A seguir é dado um exemplo típico disso.

(1) Seleção de Problemas

Este é um exemplo que ilustra o exame da não-conformidade em um processo de fabricação, através do uso de um diagrama de Pareto. Quando dados sobre não-conformidade coletados ao longo de dois meses foram classificados por tipos de defeitos, descobriu-se que os defeitos dimensionais eram os mais numerosos, constituindo 48% do total das não-conformidades. Assim sendo, tentamos reduzir o número de não-conformidades concentrando esforços nos defeituosos dimensionais.

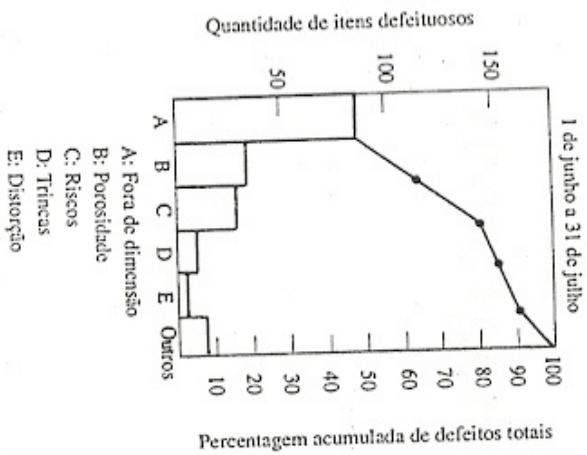


Figura 4.3 Gráfico de Pareto de Produtos Defeituosos

(2) Análise e Contramedidas.

Todos os funcionários da fábrica discutiram as causas da variação dimensional e montaram um diagrama de causa-e-efeito (veja Figura 4.4). Um diagrama de Pareto por causas (Figura 4.5) foi então construído através da verificação de todas os itens com variação dimensional para examinar em que grau esses fatores estariam afetando a não-conformidade. Em alguns produtos foi impossível determinar as causas da não-conformidade, e elas foram agrupadas na categoria "Indeterminada". Pelo diagrama de Pareto, verificou-se que a ocorrência do defeito era muito afetada pela posição de montagem. Apesar da posição de montagem ter sido determinada pelo padrão operacional tradicional, o método padronizado de montagem não estava divulgado. Isto levou à variação na posição de montagem e resultou em falhas dimensionais. O pessoal da fábrica desenvolveu, então, um método apropriado de montagem, que posteriormente foi padronizado e incorporado aos padrões operacionais.

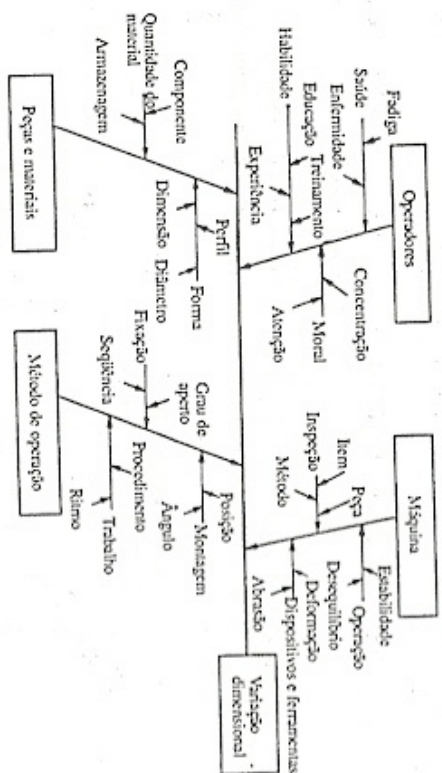


Figura 4.4 Diagrama de Causa-e-Efeito da Variação Dimensional

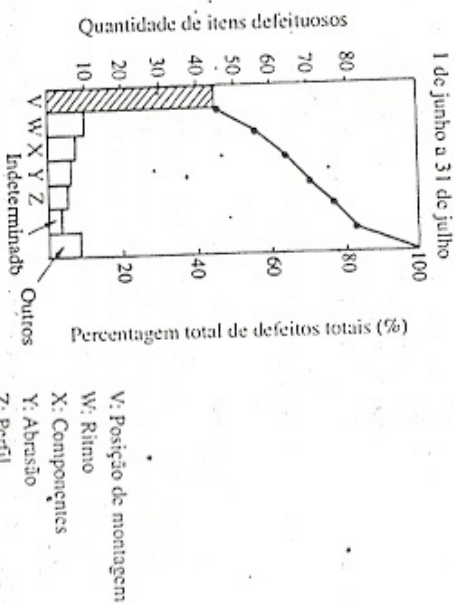


Figura 4.5 Gráfico de Pareto de Causas

(3) Efeitos da Melhoria

Após a execução da melhoria, foram coletados dados, e um diagrama de Pareto foi construído para comparar os resultados. Os dois diagramas de Pareto seguintes mostram claramente que os defeituosos dimensionais foram reduzidos.

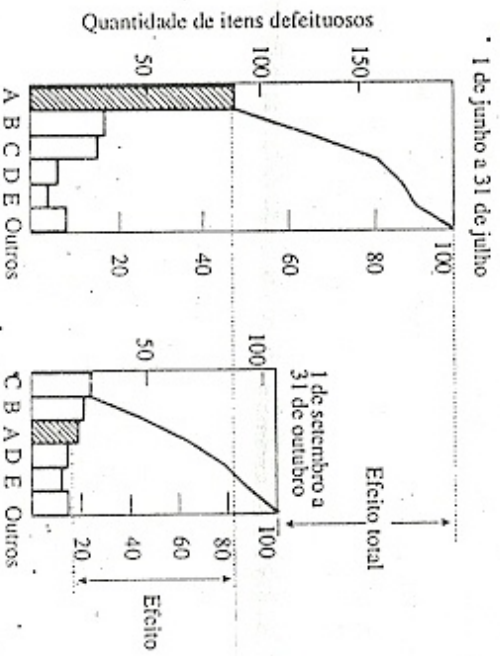


Figura 4.6 Comparação de Gráficos de Pareto Antes e Após a Melhoria

Exercício 4.1

Construir um diagrama de causa-e-efeito para as seguintes características:

- 1) Erros de datilografia (uso de tecla errada).
- 2) Discagem do número de telefone errado.
- 3) Atraso para um encontro.

Notas do tradutor

1. Denominação inglesa das Normas Industriais Japonesas.
2. O uso desta expressão já é consagrado no Brasil, mas também é comum traduzida para o português como "tempestade cerebral" ou "chuva de idéias".

Capítulo 5

Histogramas

5.1 Distribuições e Histogramas

(1) Variação e Distribuição

Se pudéssemos coletar dados de um processo no qual todos os fatores (homem, máquina, matéria-prima, método, etc.) fossem perfeitamente constantes, todos os dados teriam o mesmo valor. Entretanto, na realidade, é impossível manter todos os fatores constantes todo o tempo. A rigor, mesmo alguns fatores que julgamos sejam constantes, não são perfeitamente constantes. É inevitável que os valores de um certo conjunto de dados apresentem alguma variação. Os valores não são sempre os mesmos, mas isto não significa que sejam determinados de maneira desordenada. Embora os valores estejam sempre mudando, eles são regidos por uma certa regra e, nesta situação, dizemos que seguem uma certa distribuição.

(2) Populações e Amostras

No controle da qualidade, tentamos descobrir fatos através da coleta de dados e, então, tomamos a ação necessária baseados naqueles fatos. Os dados não são coletados como um objetivo final em si, mas como um meio para descobrir os fatos que estão por trás dos dados.

Por exemplo, considere uma inspeção por amostragem. Tomamos uma amostra de um lote, executamos medições nela e, então, decidimos se devemos aceitar todo o lote ou não. Nossa preocupação aqui não é a amostra em si, mas a qualidade de todo o lote. Como outro exemplo, considere o controle de um processo de fabricação usando um gráfico de controle $\bar{x}-R$. Nosso propósito não é determinar as características

da amostra coletada para a construção do gráfico de controle $\bar{x}-R$, mas descobrir em que estado se encontra o processo.

A totalidade dos itens considerados é chamada de *população*.

No primeiro exemplo, a população é o lote e, no segundo, é o processo.

Algumas pessoas acham difícil considerar um "processo" como uma "população", porque enquanto um "lote" é um grupo de objetos individuais finitos, um "processo" em si não é absolutamente um produto, mas é composto dos 5M's (homem, máquina, material, método e medição) ². Quando voltamos nossa atenção à função de fabricar produtos, reconhecemos que, inequivocamente, o processo produz um conjunto de produtos. Além disso, a quantidade de produtos é infinita a menos que o "processo" pare de produzi-los e, por esta razão, consideramo-lo como uma população infinita.

Um ou mais itens retirados de uma população com a intenção de prover informações sobre ela, são chamados de *amostra*. Uma vez que uma amostra é utilizada para estimar as características de toda a população, ela deve ser escolhida de tal forma a refletir as características da população. Um método de amostragem comumente usado é escolher um membro qualquer da população com igual probabilidade. Este método é chamado de *amostragem aleatória*, e uma amostra retirada mediante este tipo de amostragem é chamada de *amostra aleatória*.

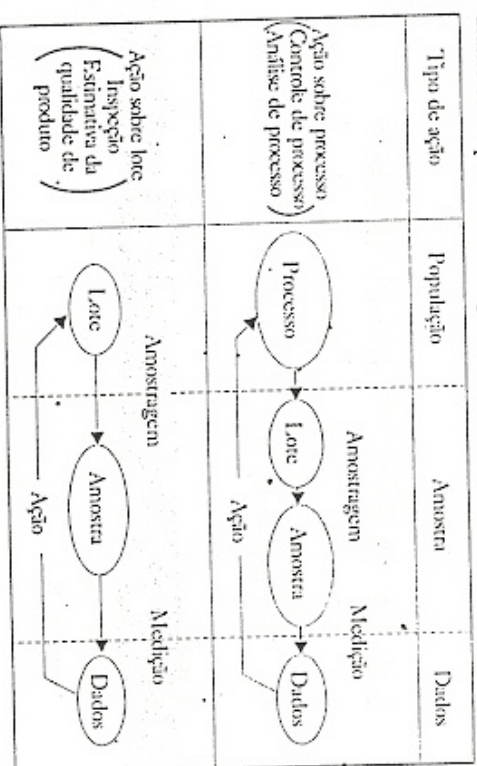


Figura 5.1 População, Amostra e Dados

Nós obtemos dados medindo as características de uma amostra. Usando estes dados, fazemos uma inferência sobre a população e, então, tomamos alguma ação corretiva. Entretanto, o valor medido irá variar conforme a amostra for retirada, tornando difícil decidir que ação é necessária. A análise estatística nos dirá como interpretar tais dados. Os detalhes serão explicados no Capítulo 9. A Figura 5.1 mostra a relação entre população, amostra e dados.

(3) Histogramas

Dados obtidos de uma amostra servem como base para uma decisão sobre a população. Quanto maior o tamanho da amostra, mais informação obtemos sobre a população. Porém, um aumento do tamanho da amostra também implica um aumento da quantidade de dados, e isso torna difícil compreender a população a partir destes, mesmo quando estão organizados em tabelas. Em tal caso, precisamos de um método que nos possibilite conhecer a população num rápido exame. Um histograma atende às nossas necessidades. Por meio da organização de muitos dados num histograma, podemos conhecer a população de maneira objetiva.

5.2 Como Construir Histogramas

(1) Como Construir Tabelas de Frequência

Exemplo 5.1

Para investigar a distribuição dos diâmetros de eixos de aço produzidos em um processo de usinagem, os diâmetros de 90 eixos foram medidos conforme mostra a Tabela 5.1. Vamos construir um histograma usando estes dados.

Tabela 5.1 Dados Originais

Nº da amostra	Resultados das Medições (mm)									
	1 - 10	2,510	2,517	2,522	2,522	2,510	2,511	2,519	2,532	2,543
11 - 20	2,527	2,536	2,506	2,541	2,512	2,515	2,521	2,536	2,529	2,524
21 - 30	2,529	2,523	2,523	2,523	2,519	2,528	2,543	2,538	2,518	2,534
31 - 40	2,520	2,514	2,512	2,534	2,526	2,530	2,532	2,526	2,523	2,520
41 - 50	2,535	2,523	2,526	2,525	2,532	2,522	2,502	2,530	2,522	2,514
51 - 60	2,533	2,510	2,542	2,524	2,530	2,521	2,522	2,535	540	2,528
61 - 70	2,525	2,515	2,520	2,519	2,526	2,527	2,522	2,542	540	2,528
71 - 80	2,531	2,545	2,524	2,522	2,520	2,519	2,519	2,529	322	2,513
81 - 90	2,518	2,527	2,511	2,519	2,531	2,527	2,529	2,528	519	2,521

Procedimento	Exemplo
<p>Etapa 1 Calcular a amplitude (R) Obtenha o maior e o menor dos valores observados e calcule R. $R =$ (o maior valor observado) $-$ (o menor valor observado)</p> <p>O maior e o menor dos valores observados podem ser facilmente obtidos da seguinte maneira: Obtenha o máximo e o mínimo dos valores de cada linha da tabela de observações, e depois tome o maior dos valores máximos e o menor dos valores mínimos. Estes serão o máximo e o mínimo de todos os valores observados.</p>	<p>Etapa 1 Calcular R R foi obtida a partir do maior e do menor valores observados. (Veja Tabela 5.2.) O maior valor = 2,545 O menor valor = 2,502 Portanto, $R = 2,545 - 2,502$ $= 0,043$.</p>

Tabela 5.2 Tabela para Determinação da Amplitude

Nº da amostra	Resultados de Medições (mm)										Valor Máximo da Linha	Valor Mínimo da Linha
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1 - 10	2,510	2,517	2,522	2,522	2,510	2,511	2,519	2,532	2,543	2,525	2,543	2,510
11 - 20	2,527	2,536	2,506	2,541	2,512	2,515	2,521	2,536	2,529	2,524	2,541	2,506
21 - 30	2,529	2,523	2,523	2,523	2,519	2,528	2,543	2,538	2,518	2,534	2,543	2,518
31 - 40	2,520	2,514	2,512	2,534	2,526	2,530	2,532	2,526	2,523	2,520	2,534	2,512

41 - 50	2,535	2,523	2,526	2,525	2,532	2,522	2,502	2,530	2,522	2,514	2,535	2,502
51 - 60	2,533	2,510	2,542	2,524	2,530	2,521	2,522	2,535	2,540	2,528	2,542	2,510
61 - 70	2,525	2,515	2,520	2,519	2,526	2,527	2,522	2,542	2,540	2,528	2,542	2,515
71 - 80	2,531	2,545	2,524	2,522	2,520	2,519	2,519	2,529	2,522	2,513	2,545	2,513
81 - 90	2,518	2,527	2,511	2,519	2,531	2,527	2,529	2,528	2,519	2,521	2,531	2,511
											Maior Valor: 2,545	Menor Valor: 2,502

Etapa 2 Determinar o intervalo de classe

O intervalo de classe é determinado de forma que a amplitude, que compreende o maior e o menor dos valores, seja dividida em intervalos de mesmo tamanho. Para obter o tamanho dos intervalos, divida R por 1, 2 ou 5 (ou 10; 20; 50; 0,1; 0,2; 0,5; etc.) de forma a obter de 5 a 20 intervalos de classe de tamanho igual. Quando houver duas possibilidades, use o tamanho de intervalo menor se o número de valores observados for maior ou igual a 100, e o tamanho de intervalo maior se houver 99 ou menos valores observados.

Etapa 3 Preparar o formulário da tabela de frequência

Prepare um formulário como o da Tabela 5.3, no qual possam ser registrados as classes, o ponto médio, as marcas de frequência, frequência, etc.

Etapa 2 Determinar o intervalo de classe

$0,043 \div 0,002 = 21,5$ e adotamos 22, pelo arredondamento para cima até o número inteiro mais próximo.

$0,043 \div 0,005 = 8,6$ e adotamos 9, pelo arredondamento para cima até o número inteiro mais próximo.

$0,043 \div 0,010 = 4,3$ e adotamos 4, pelo arredondamento para baixo até o número inteiro mais próximo.

Neste caso, o intervalo de classe é determinado como 0,005, pois isso resulta numa quantidade de intervalos entre 5 e 20.

Etapa 3 Preparar a tabela de frequência

Prepare uma tabela conforme mostra a Tabela 5.3.

Etapa 4 Determinar os limites das classes

Determine os limites dos intervalos, de forma que englobem o menor e o maior dos valores registrados, e anote-os na tabela de frequência.

Determine, primeiro, o limite inferior da primeira classe e adicione a este o tamanho do intervalo para obter o limite entre a primeira e a segunda classe. Quando fizer isso, assegure-se de que a primeira classe contém o menor valor observado e que os valores dos limites tenham uma casa decimal a mais do que a precisão dos valores medidos³. Depois, adicione sucessivamente o tamanho do intervalo ao valor do limite anterior para obter o segundo limite, o terceiro, e assim por diante, e verifique se a última classe inclui o maior valor observado.

Etapa 5 Calcular o ponto médio da classe

Usando a equação seguinte, calcule o ponto médio das classes, e anote-os na tabela de frequência.

Ponto médio da primeira classe

$$= \frac{\text{Soma dos limites superior e inferior da primeira classe}}{2}$$

Etapa 4 Determinar os limites das classes

Os limites da primeira classe devem ser determinados como 2,5005 e 2,5055 de forma que a classe inclua o menor valor 2,502; os limites da segunda classe devem ser determinados como 2,5055 e 2,5105, e assim por diante. Registre esses limites numa tabela de frequência. (Veja Tabela 5.3.)

Etapa 5 Calcular o ponto médio da classe

Ponto médio da primeira classe

$$= \frac{2,5005 + 2,5055}{2} = 2,503,$$

Ponto médio da segunda classe

$$= \frac{\text{Soma dos limites superior e inferior da segunda classe}}{2}$$

e assim por diante.

Os pontos médios da segunda classe, da terceira classe, e demais classes, também podem ser obtidos da seguinte forma:

$$\begin{aligned} \text{Ponto médio da segunda classe} &= \\ &= \text{ponto médio da primeira classe} + \\ &\quad \text{intervalo de classe,} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ponto médio da terceira classe} &= \\ &= \text{ponto médio da segunda classe} + \\ &\quad \text{intervalo de classe,} \end{aligned}$$

e assim por diante.

Etapa 6 Obter as frequências

Leia os valores observados um por um e registre as frequências obtidas em cada classe usando marcas de contagem em grupos de 5, como segue:

Frequência	1	2	3	4	5
Notação da frequência	/	//	///	////	/////
Frequência	6	7	...		
Notação da frequência	///// /	///// //	...		

Ponto médio da segunda

$$= \frac{2,5055 + 2,5105}{2} =$$

e assim por diante.

Etapa 6 Obter as frequências

Registre as frequências. (Veja Tabela 5.3.)

Tabela 5.3 Tabela de Freqüência

	Classe	Ponto Médio da Classe	Marcas de Freqüências	Freqüência f
1	2,5005 - 2,5055	2,503	/	1
2	2,5055 - 2,5105	2,508	////	4
3	2,5105 - 2,5155	2,513	//// ////	9
4	2,5155 - 2,5205	2,518	//// //// ////	14
5	2,5205 - 2,5255	2,523	//// //// //// //// //	22
6	2,5255 - 2,5305	2,528	//// //// //// ////	19
7	2,5305 - 2,5355	2,533	//// ////	10
8	2,5355 - 2,5405	2,538	////	5
9	2,5405 - 2,5455	2,543	//// /	6
Total				90

- Notas: 1. A soma das freqüências f , (Σf) tem que ser igual à quantidade (n) de dados levantados.
2. A freqüência relativa, quando necessária, é obtida pela divisão de f por n .

(2) Como Construir Histogramas

Procedimento	Exemplo (Exemplo 5.1)
<p>Etapa 1</p> <p>Em uma folha de papel quadriculado, marque o eixo horizontal com uma escala. É melhor que a escala não seja baseada nos limites de intervalo das classes, e sim na unidade de medida dos dados, 10 gramas correspondendo a 10 mm, por exemplo.</p> <p>Isto torna-a conveniente para fazer comparações entre vários histogramas que descrevem fatores e características semelhantes, bem como com especificações (padrões). Deixe um espaço aproximadamente igual ao intervalo de classe em cada extremidade do eixo horizontal, antes da primeira e após a última classe.</p> <p>Etapa 2</p> <p>Marque o eixo vertical do lado esquerdo com uma escala de freqüência e, se necessário, trace o eixo vertical do lado direito e marque-o com uma escala de freqüência relativa. A altura da classe com a freqüência máxima deveria ser de 0,5 a 2,0 vezes a distância entre os valores máximo e mínimo do eixo horizontal⁴.</p>	

Etapa 3

Marque os valores dos limites das classes no eixo horizontal.

Etapa 4

Usando o intervalo de classe como base, desenhe um retângulo cuja altura corresponda à frequência daquela classe.

Etapa 5

Trace uma linha no histograma para representar a média \bar{x} e, se for o caso, trace também os limites da especificação.

Etapa 6

Numa área em branco do histograma, anote o histórico dos dados (o período em que os dados foram coletados, etc.), a quantidade de dados (n), a média \bar{x} , e o desvio-padrão s (veja Figura 5.2). O cálculo de \bar{x} e s serão apresentados no item (3) da Seção 5.4.

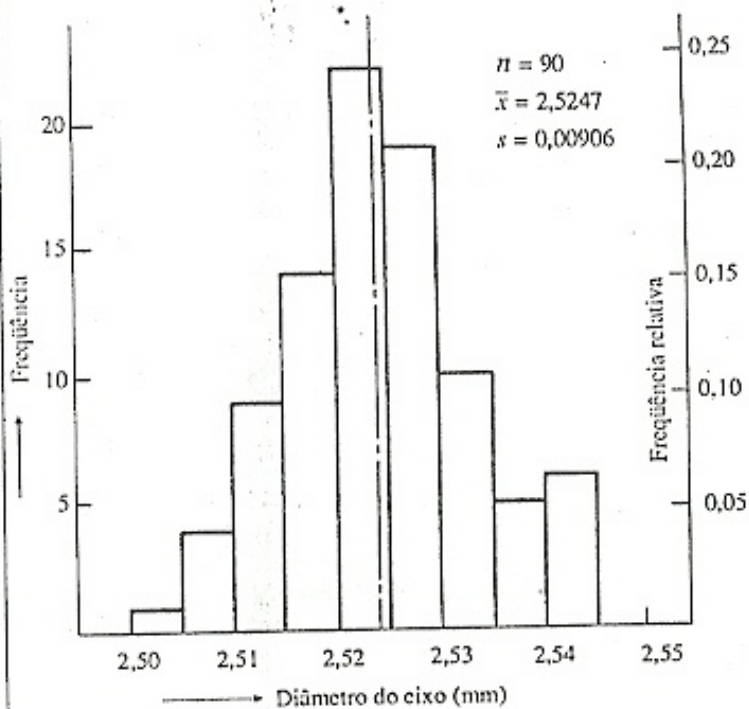


Figura 5.2 Histograma

5.3 Como Interpretar Histogramas

(1) Tipos de Histograma

É possível obter informações úteis sobre a população pela análise da forma do histograma. As seguintes formas são típicas, e podemos utilizá-las como modelos para a análise de um processo (veja Figura 5.3).

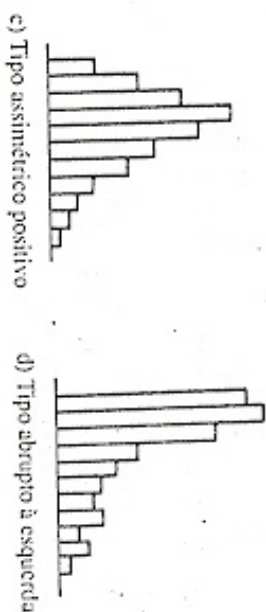
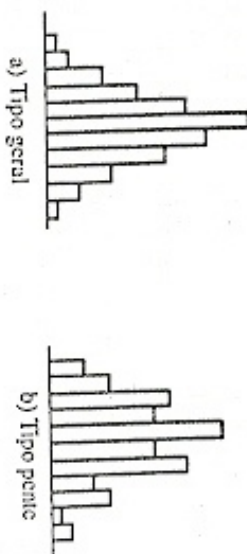


Figura 5.3 Tipos de Histograma

a) Tipo geral (simétrico ou em forma de sino)

Forma:

O valor médio do histograma está no meio da amplitude dos dados.

A frequência é mais alta no meio e torna-se gradualmente mais baixa na direção dos extremos. A forma é simétrica.

Nota:

Esta é a forma que ocorre mais frequentemente.

b) Tipo pente (tipo multi-modal)

Forma:

Várias classes têm, como vizinhas, classes com menor frequência.

Nota:

Esta forma ocorre quando a quantidade de dados incluídos na classe varia de classe para classe ou quando existe uma tendência particular no modo como os dados são arredondados.

c) Tipo assimétrico positivo (tipo assimétrico negativo)

Forma:

O valor médio do histograma fica localizado à esquerda (direita) do centro da amplitude. A frequência decresce de modo um tanto abrupto em direção à esquerda (direita), porém de modo suave em direção à direita (esquerda). É assimétrica.

Nota:

Esta forma ocorre quando o limite inferior (superior) é controlado, ou teoricamente, ou por um valor de especificação, ou quando valores menores (maiores) do que um certo valor não ocorrem.

d) Tipo abrupto à esquerda (tipo abrupto à direita)

Forma:

O valor médio do histograma fica localizado bem à esquerda (direita) do centro da amplitude. A frequência decresce abruptamente à esquerda (direita), e stavemente em direção à direita (esquerda). É assimétrica.

Nota:

Esta é uma forma que ocorre frequentemente quando é feita uma inspeção separadora 100% por causa da baixa capacidade do processo, e também quando a assimetria positiva (negativa) se torna ainda mais extrema.

e) Tipo achatado ⁷

Forma:

As frequências das classes formam um achatamento porque as classes possuem mais ou menos a mesma frequência, exceto aquelas das extremidades.

Nota:

Esta forma ocorre com a mistura de várias distribuições que têm diferentes médias.

f) Tipo picos duplos (tipo bimodal)

Forma:

A frequência é baixa próximo ao meio da amplitude de dados e existe um pico em cada lado.

Nota:

Esta forma ocorre quando duas distribuições, com médias muito diferentes, são misturadas.

g) Tipo pico isolado

Forma:

Num histograma do tipo geral existe mais um pequeno pico isolado.

Nota:

Esta é uma forma que surge quando há uma pequena inclusão de dados provenientes de uma distribuição diferente, como nos casos de anormalidade de processo, erro de medição ou inclusão de dados de um processo diferente.

(2) Comparação de Histogramas com Limites de Especificação

Se houver uma especificação, trace as linhas dos limites da especificação no histograma, para comparar a distribuição com a especificação. Depois veja se o histograma está localizado bem dentro dos limites. Cinco casos típicos, como na Figura 5.4, são descritos a seguir. Use-os como uma referência para avaliar a população.

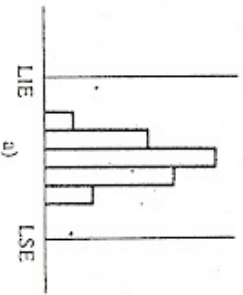
Quando o histograma atende à especificação,

- Como o histograma atende à especificação com folga, tudo o que se precisa é manter a atual situação.
- A especificação é atendida mas não existe nenhuma margem extra. Portanto, é importante reduzir um pouco o grau da variação.

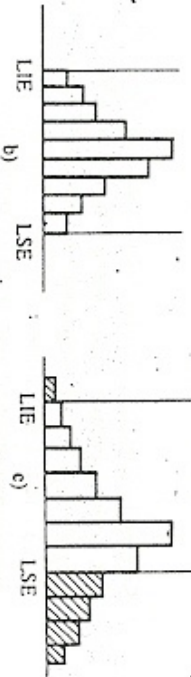
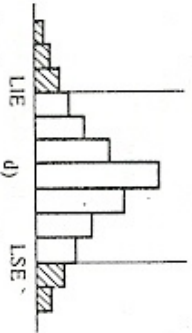
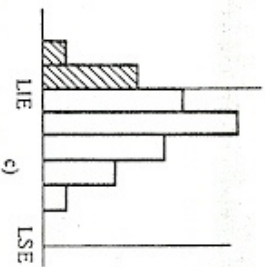
Quando o histograma não atende à especificação,

- É necessário agir para trazer a média mais próxima ao centro da especificação.
- São necessárias ações para reduzir a variação.
- Tanto as ações descritas em c) como em d) são necessárias.

Casos em que o histograma atende à especificação



Casos em que o histograma não atende à especificação



Nota: LIE - Limite inferior de especificação
LSE - Limite superior de especificação

Figura 5.4 Histograma e Limites de Especificação

(3) Estratificação de Histogramas

Quando os valores observados são divididos em duas ou mais subpopulações, conforme as condições existentes na coleta de dados, tais subpopulações são chamadas de *estratos* e a divisão de dados em estratos é chamada de *estratificação*.

Os valores observados sempre trazem alguma variação. Por isso, quando os dados são estratificados conforme os fatores suspeitos de gerar a variação, as causas de variação tornam-se mais facilmente detectáveis. Este método pode ser usado eficazmente para aumentar a qualidade de produto, pela redução da variação e ajuste da média do processo.

A estratificação é geralmente feita conforme os materiais, as máquinas, as condições de operação e os trabalhadores.

5.4 Medidas para Representar as Características de Distribuições

(1) Médias e Desvios-Padrões

O valor da característica medida em uma amostra, tomada de uma população, varia e não pode ser conhecido até que ele seja obtido. Uma variável de tal tipo é chamada de *variável aleatória*. As características de qualidade de produtos fabricados possuem esta natureza.

Quando da utilização desses dados, é muitas vezes, mais conveniente considerá-los na totalidade de seu conjunto, ao invés de tratá-los individualmente. A fim de considerar os dados como um grupo, primeiro determinamos o seu centro e, depois, estudamos como estes se concentram em torno do centro.

Uma medida típica para expressar o centro é a *média* ou *expectância*. Quando tivermos obtido n dados, x_1, \dots, x_n , a média destes dados é dada por

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (5.1)$$

mas para o conjunto como um todo, a média é dada por

$$\mu = \sum x P(x), \quad (5.2)$$

ou

$$\mu = \int x f(x) dx, \quad (5.3)$$

onde $P(x)$ é a probabilidade e $f(x)$ é a densidade de probabilidade da variável aleatória x .

\bar{x} é a média dos dados obtidos e é chamado de *média da amostra*. μ é a média do conjunto todo a que estamos nos referindo e é chamada de *média da população*.

A *variância* e o *desvio-padrão* são usados para expressar o grau de concentração de dados em torno do centro. Quando tivermos obtido n dados, x_1, \dots, x_n , a variância destes dados é definida por

$$V = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2, \quad (5.4)$$

e o desvio-padrão é definido por

$$s = \sqrt{V}. \quad (5.5)$$

A variância de uma população é dada por

$$\sigma^2 = \sum (x - \mu)^2 P(x), \quad (5.6)$$

ou

$$\sigma^2 = \int (x - \mu)^2 f(x) dx. \quad (5.7)$$

O desvio-padrão, que é a raiz quadrada da variância, é expresso por σ .

A variância é a média do quadrado das diferenças entre os dados individuais e a média. Uma grande variância significa uma grande variação nos dados.

V e s são valores referentes aos dados e são chamados, respectivamente, de *variância da amostra* e *desvio-padrão da amostra*. σ^2 e σ são valores referentes à população e são chamados, respectivamente, de *variância da população* e *desvio-padrão da população*.

(2) Cálculo de Médias e Desvios-Padrões

Exemplo 5.2

Os dados a seguir são medidas de uma dimensão de uma peça de máquina. Calcular a média e o desvio-padrão.

13,42 13,62 13,56 13,66 13,48 13,52 13,57

Em alguns casos, a transformação de dados

$$X_i = (x_i - a) \times h \quad (5.8)$$

pode ser feita para facilitar os cálculos. Então

$$\bar{x} = a + \frac{1}{h} \bar{X}, \quad (5.9)$$

$$S = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 = \frac{1}{h^2} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 = \frac{1}{h^2} \left[\sum X_i^2 - \frac{1}{n} (\sum X_i)^2 \right], \quad (5.10)$$

$$V = S / (n - 1), \quad (5.11)$$

$$s = \sqrt{V}. \quad (5.12)$$

Neste exemplo, façamos que a e h sejam, respectivamente, 13,40 e 100. Obtemos, então, a seguinte-tabela (Tabela 5.4).

Tabela 5.4

x	X	X^2
13,42	2	4
13,62	22	484
13,56	16	256
13,66	26	676
13,48	8	64
13,52	12	144
13,57	17	289
Total	103	1917

$$\bar{X} = \frac{103}{7} = 14,7.$$

Da equação (5.9)

$$\bar{x} = 13,40 + \frac{1}{100} \times 14,7 = 13,547.$$

Da equação (5.10)

$$S = \frac{1}{100^2} [1917 - \frac{1}{7} \times 103^2] = 4,01 \times 10^{-2}$$

$$V = 4,01 \times 10^{-2} / (7 - 1) = 0,699 \times 10^{-2}$$

$$s = \sqrt{0,699 \times 10^{-2}} = 0,082.$$

(3) Cálculo de Médias e Desvios-Padrões a Partir de Tabelas de Freqüência

Calculamos a média e o desvio-padrão dos diâmetros de 90 eixos, conforme mostrado na Tabela 5.1. Como a quantidade de dados é grande e os dados estão agrupados em uma tabela de freqüência, a média e o desvio-padrão são calculados como segue:

Procedimento	Exemplo (Exemplo 5.1)
<p>Etapa 1 Prepare um formulário de cálculo como o da Tabela 5.5.</p> <p>Etapa 2 Anote os limites das classes, os pontos médios das classes, e a freqüência f.</p>	

Tabela 5.5 Tabela de Cálculo

Nº	Classe	Ponto médio x	Freqüência f	u	uf	u^2f
1	2,5005 – 2,5055	2,503	1	-4	-4	16
2	2,5055 – 2,5105	2,508	4	-3	-12	36
3	2,5105 – 2,5155	2,513	9	-2	-18	36
4	2,5155 – 2,5205	2,518	14	-1	-14	14
5	2,5205 – 2,5255	2,523	22	0	0	0
6	2,5255 – 2,5305	2,528	19	1	19	19
7	2,5305 – 2,5355	2,533	10	2	20	40
8	2,5355 – 2,5405	2,538	5	3	15	45
9	2,5405 – 2,5455	2,543	6	4	24	96
Total			90	-	30	302

Etapa 3

Atribua o ponto médio 0 ($u = 0$) para a classe que tem f máxima, e anote 0 na coluna u .

Escreva -1, -2, ... na direção dos menores valores observados; e 1, 2, ... na direção dos maiores valores observados.

A relação entre x e u é expressa pela seguinte equação:

$$u = (x - a)/h \quad (5.13)$$

onde,

a : é o ponto-médio da classe onde $u = 0$,

h : é o tamanho do intervalo de classe.

Etapa 4

Insira os produtos de u e f na coluna uf , e os produtos de u e uf na coluna u^2f ; obtenha a soma de cada coluna, e anote-as nos espaços reservados.

$$\sum uf = u_1 f_1 + u_2 f_2 + \dots$$

$$\sum u^2 f = u_1^2 f_1 + u_2^2 f_2 + \dots$$

Etapa 3

Atribua 0 (zero) ao ponto médio da classe número 5 da coluna u .

$$a = 2,523$$

$$h = 0,005$$

Etapa 4

$$\text{No. 1 } uf = (-4) \times 1 = -4$$

$$\text{No. 2 } uf = (-3) \times 4 = -12$$

$$\text{No. 1 } u^2 f = uf \times u = (-4) \times (-4) = 16$$

$$\text{No. 2 } u^2 f = uf \times u = (-12) \times (-3) = 36$$

$$\sum uf = (-4) + (-12) + \dots + 24 = 30$$

$$\sum u^2 f = 16 + 36 + \dots + 96 = 302$$

Etapa 5

$$\bar{x} = 2,523 + 0,005 \times \frac{30}{90}$$

$$= 2,523 + 0,00167$$

$$= 2,52467(\text{mm})$$

Etapa 6

$$s = 0,005 \times \sqrt{(302 - \frac{30^2}{90}) / (90 - 1)}$$

$$= 0,005 \times \sqrt{3,2809}$$

$$= 0,00906 (\text{mm})$$

Etapa 5

Calcule \bar{x} usando a seguinte equação:

$$\bar{x} = a + h (\sum uf/n) \quad (5.14)$$

Etapa 6

Calcule s usando a seguinte equação:

$$s = h \sqrt{(\sum u^2 f - \frac{(\sum uf)^2}{n}) / (n - 1)} \quad (5.15)$$

5.5 Distribuição Normal e Suas Características

(1) Distribuição Normal

Um histograma é construído a partir de um certo número de dados. Mas o que aconteceria ao histograma se continuássemos a aumentar a quantidade de dados? Se o intervalo de classe é reduzido pouco a pouco, enquanto a quantidade de dados é aumentada, uma curva suave de distribuição de frequências é obtida como o limite de uma distribuição de frequências relativas⁹. Esta curva é, na verdade, uma expressão da própria população, uma vez que ela é obtida a partir de um número infinito de dados.

Existem vários tipos de distribuição, sendo que a mais típica é a *distribuição normal*. Quando a variação de uma característica da qualidade é gerada pela soma de um grande número de erros infinitesimais independentes devidos a diferentes fatores, a distribuição da característica de qualidade se torna, em muitos casos, aproximadamente uma distribuição normal. A distribuição normal pode ser simplesmente descrita como tendo a forma de um sino ou montanha, e numa descrição mais detalhada:

- a) a densidade de probabilidade é mais alta no meio e diminui gradualmente em direção às caudas; e
- b) ela é simétrica.

Esta curva pode ser expressa matematicamente como segue:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (5.16)$$

A Figura 5.5 mostra o formato desta distribuição.

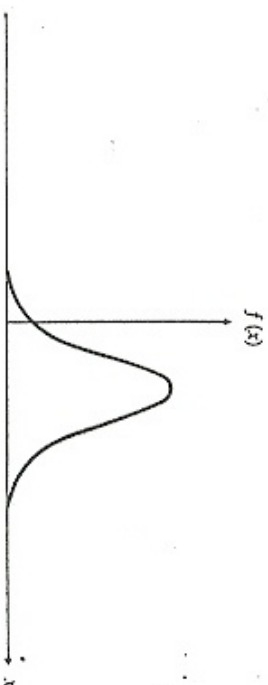


Figura 5.5 Perfil da Distribuição Normal

(2) Características da Distribuição Normal

Como podemos observar da equação (5.16), a equação da distribuição normal possui dois parâmetros, μ e σ^2 .

A distribuição normal é unicamente determinada por estes dois parâmetros e denotada simplesmente por $N(\mu, \sigma^2)$. Estes dois parâmetros possuem os seguintes significados:

- μ : o centro da distribuição normal (a média)
- σ : a dispersão da distribuição normal (o desvio-padrão)

Eles podem ser descritos graficamente como na Figura 5.6

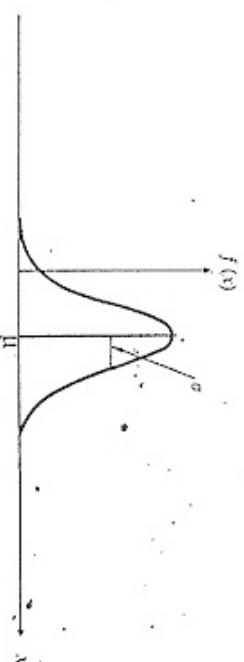


Figura 5.6 Distribuição Normal e Seus Parâmetros

Para obter uma probabilidade em uma distribuição normal, nós realizamos a padronização e usamos a tabela da distribuição normal. *Padronização* é a transformação de uma variável x para¹⁰

$$u = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (5.17)$$

Temos então o valor padronizado u , que se distribui como a *distribuição normal padronizada* $N(0,1)^2$. A *tabela da distribuição normal* fornece probabilidades na distribuição normal padronizada. (Veja Tabela A.1 do Apêndice).

Consideremos a probabilidade que uma variável aleatória x proveniente de $N(\mu, \sigma^2)$ caia dentro dos limites $\mu \pm n\sigma$. A Figura 5.7 mostra as probabilidades para vários valores de n . Teoricamente, uma variável normal pode assumir qualquer valor entre $-\infty$ e $+\infty$. Mas, pela figura, nós temos 99,7% no caso de $n = 3$. Isto significa que, na prática, podemos desprezar a probabilidade de que x caia fora dos limites $\mu \pm 3\sigma$. Este fato é uma regra importante da distribuição normal, chamada de *regra dos 3-sigma*. Ela é a base para a determinação dos limites em um gráfico de controle.

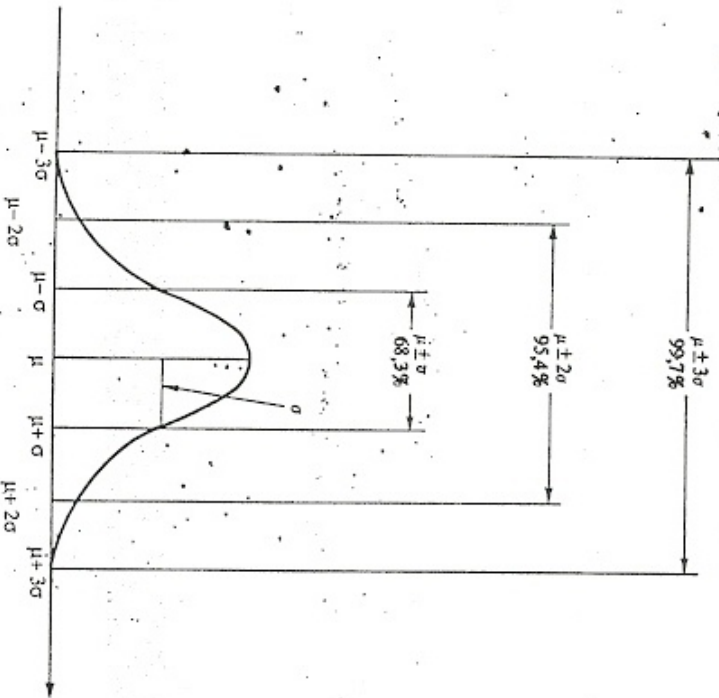


Figura 5.7 μ , σ e a Probabilidade da Distribuição Normal

(3) Índice de Capacidade de Processo

Quando o histograma mostra que ele segue distribuição normal, um estudo da capacidade do processo ¹¹ é freqüentemente realizado. Este estudo visa verificar se o processo consegue atender às especificações, ou não. Se julgamos que o processo varia conforme a distribuição normal, podemos imediatamente determinar a percentagem de defeituosos a partir das especificações fornecidas e dos parâmetros (μ , σ). Mas é mais útil avaliar o processo utilizando o C_p (índice de capacidade do processo). As definições de C_p são como seguem:

Especificações bilaterais (LSE e LIE)

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma} \quad (5.18)$$

Especificações unilaterais (LSE ou LIE)

$$C_p = \frac{LSE - \bar{x}}{3\sigma} \quad (5.19)$$

ou

$$C_p = \frac{\bar{x} - LIE}{3\sigma} \quad (5.20)$$

A avaliação do processo através do uso da C_p é feita como vem a seguir:

- | | |
|---------------------------|-----------------------|
| 1) $1,33 \leq C_p$ | bastante satisfatório |
| 2) $1,00 \leq C_p < 1,33$ | adequado |
| 3) $C_p < 1,00$ | inadequado |

Exemplo 5.3

A Tabela 5.6 mostra os rendimentos (X) de uma certa reação química. Como dois reatores, A e B, foram usados para esta reação, foi questionado que talvez houvesse uma diferença entre eles. Uma estratificação conforme os reatores foi então realizada e os resultados são apresentados na Figura 5.8. Foram descobertas diferenças entre os dois reatores.

Tabela 5.6 Estratificação dos Dados

Nº	Reator	x	Nº	Reator	x	Nº	Reator	x	Nº	Reator	x
1	A	84,9	26	B	86,2	51	B	86,6	76	B	85,4
2	A	83,8	27	B	87,2	52	B	87,0	77	B	84,6
3	B	86,2	28	A	83,0	53	B	86,7	78	A	83,9
4	B	85,7	29	B	86,3	54	A	84,9	79	A	83,2
5	A	83,9	30	A	83,9	55	A	83,7	80	B	85,7
6	B	86,4	31	A	83,5	56	B	84,7	81	B	86,9
7	B	86,8	32	B	84,1	57	A	85,1	82	A	84,0
8	B	87,0	33	B	84,7	58	B	85,4	83	B	85,7
9	A	83,8	34	A	85,3	59	A	84,4	84	A	84,3
10	B	86,0	35	A	84,5	60	A	84,2	85	B	86,0
11	B	86,3	36	A	84,5	61	B	85,8	86	A	83,6
12	A	83,0	37	B	86,2	62	A	85,1	87	B	86,0
13	A	83,5	38	A	84,1	63	A	84,4	88	A	83,6
14	A	82,7	39	A	83,2	64	A	83,8	89	B	86,5
15	B	85,2	40	B	86,2	65	B	87,0	90	B	87,6
16	B	86,7	41	A	82,9	66	B	86,9	91	A	84,7
17	A	83,1	42	A	83,8	67	B	85,5	92	A	85,1
18	B	85,9	43	A	83,7	68	A	83,7	93	A	83,8
19	B	87,5	44	B	86,6	69	B	86,0	94	B	86,6
20	A	83,8	45	B	85,7	70	A	84,5	95	B	86,7
21	B	87,5	46	A	82,9	71	B	87,9	96	A	84,3
22	A	84,4	47	B	86,9	72	A	82,7	97	A	83,7
23	A	83,4	48	B	86,1	73	A	84,2	98	B	84,9
24	A	84,3	49	B	86,0	74	A	83,9	99	B	85,8
25	B	86,1	50	A	83,8	75	B	85,5	100	B	84,1

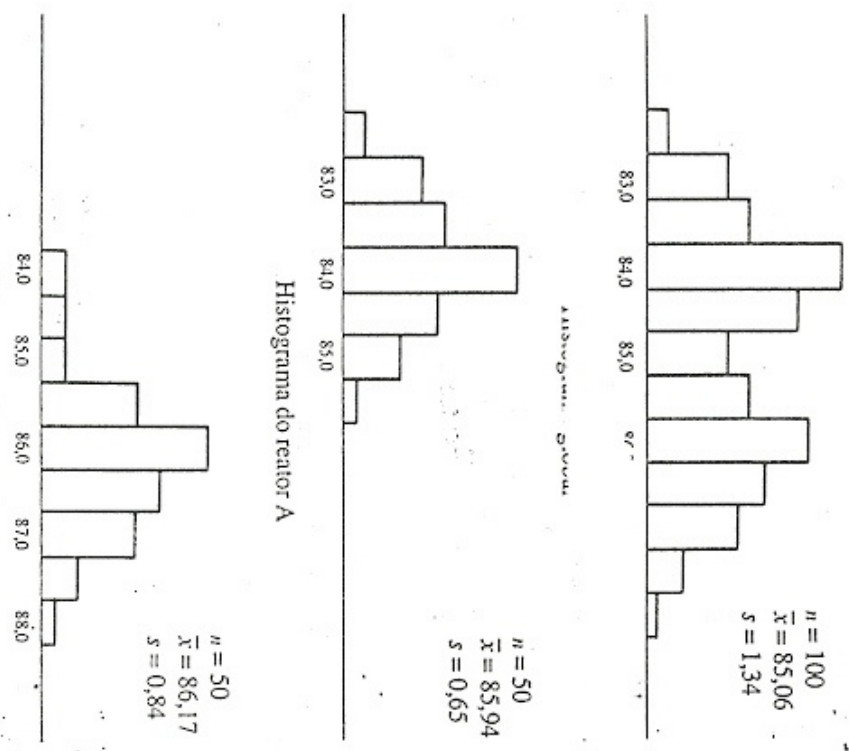


Figura 5.8 Estratificação de Histograma

Exercício 5.1

Numa padaria, dois padeiros, A e B, assam pão usando duas máquinas (máquina 1 e máquina 2). Os pesos dos pães franceses produzidos foram registrados durante 20 dias, como mostra a Tabela 5.7. Cada dia, quatro pães foram retirados ao acaso de cada máquina e pesados. O peso especificado é de 200 a 225 gramas.

1) Faça os seguintes histogramas:

- a) Um histograma global.
 b) Um histograma do padeiro A e outro do padeiro B.
 c) Um histograma da máquina 1 e outro da máquina 2.
 d) Quatro histogramas mostrando combinações dos diferentes padeiros e fornos.

2) Estude os histogramas comparando-os com a especificação.

Tabela 5.7

Dia	Padeiro	Máquina 1				Máquina 2			
1	A	209,2	209,5	210,2	212,0	214,3	221,8	214,6	214,4
2	A	208,5	208,7	206,2	207,8	215,3	216,7	212,3	212,0
3	A	204,2	210,2	210,5	205,9	215,7	213,8	215,2	202,7
4	B	204,0	203,3	198,2	199,9	212,5	210,2	211,3	210,4
5	B	209,6	203,7	213,2	209,6	208,4	214,9	212,8	214,8
6	A	208,1	207,9	211,0	206,2	212,3	216,2	208,4	210,8
7	A	205,2	204,8	198,7	205,8	208,1	211,9	212,9	209,0
8	B	199,0	197,7	202,0	213,1	207,5	209,9	210,6	212,3
9	B	197,2	210,6	199,5	215,3	206,9	207,1	213,6	212,2
10	B	199,1	207,2	200,8	201,2	209,6	209,5	206,8	214,2
11	A	204,6	207,0	200,8	204,6	212,2	209,8	207,6	212,6
12	B	214,7	207,5	205,8	200,9	211,4	211,2	214,4	212,6
13	B	204,1	196,6	204,6	199,4	209,6	209,2	206,1	207,1
14	A	200,2	205,5	208,0	202,7	203,5	206,9	210,6	212,3
15	A	201,1	209,2	205,5	200,0	209,1	206,3	209,8	211,4
16	A	201,3	203,1	196,3	205,5	208,0	207,9	205,3	203,6
17	B	202,2	204,4	202,1	206,6	210,0	209,4	209,1	207,0
18	B	194,1	211,0	208,4	202,6	215,6	211,8	205,4	209,0
19	B	204,8	201,3	208,4	212,3	214,5	207,5	212,9	204,3
20	A	200,6	202,3	204,3	201,4	209,1	205,8	212,0	204,2

Notas do tradutor

- Os gráficos de controle são apresentados em detalhe no Capítulo 7.
- Expressão mnemônica originária dos termos ingleses "man", "machine", "material", "method" e "measurement".
- Deve-se colocar o valor 5 nesta casa decimal.
- No mínimo a metade e no máximo o dobro da largura da base do histograma.
- Normalmente, conveniona-se representar a média por uma linha do tipo "traço-e-ponto".
- A capacidade do processo é definida mais adiante pelas fórmulas (5.18), (5.19) e (5.20).
- Também chamada de distribuição pluriútilica.
- Outra notação usualmente adotada para a variância da amostra é s^2 .
- A obtenção da frequência relativa foi introduzida na segunda nota da Tabela 5.3.
- É também muito usada a notação z em vez de u .
- É muito comum o uso da expressão "capabilidade" em vez de capacidade.