

MODELOS DE CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO

Conceito de Controle Estatístico do Processo

Quando se fala de Controle Estatístico, a maioria das pessoas tem a impressão que se trata de um método que requer conhecimentos profundos das escabrosas teorias estatísticas e que só se aplicam aos processos de fabricação. Vamos mostrar que a realidade é outra e a maioria das técnicas abordadas utiliza tão somente as operações elementares da aritmética, algumas funções matemáticas e estatísticas do Microsoft Excel e que se aplicam a qualquer processo repetitivo e mensurável. Nas poucas ocasiões em que houver necessidade de explicação mais detalhada usaremos o tipo de explanação que os matemáticos denominam de intuitiva.

Controle Estatístico do Processo é um método para monitoramento de qualquer processo produtivo - automóvel ou serviço de tradução - 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.

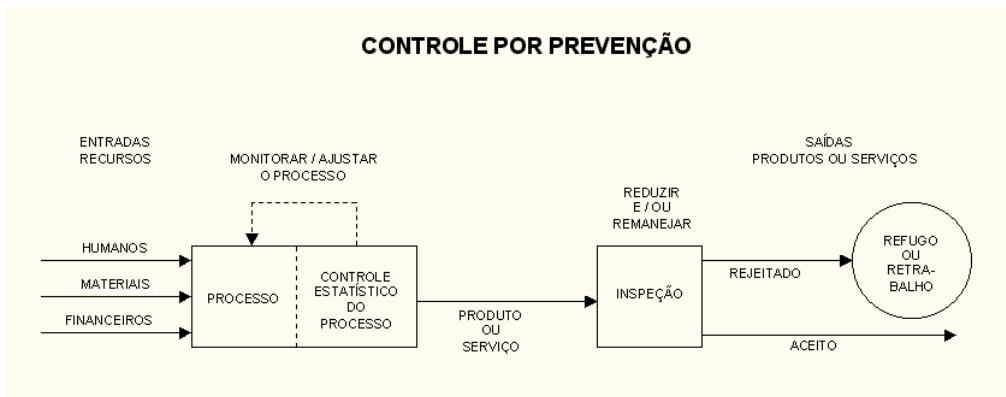
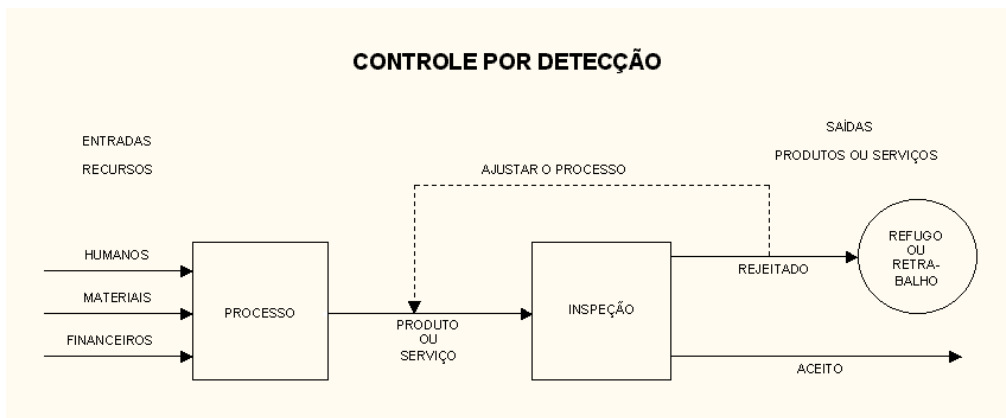
Conceitos de Controle por Detecção e Controle por Prevenção

A definição acima confronta a característica mais desafiante do método, o conceito de 'Prevenção' - ação imediata - com o conceito tradicional de 'Detecção' - ação após o fato.

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 retrabalho, ou ainda vendido a preço de sucata (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. De modo que, no fim do ciclo produtivo, o produto ou serviço esteja de conformidade com as especificações e pronto para consumo pelo usuário. Todos concordam que é melhor evitar desperdício, reduzir custos e melhorar o produto. O controle por prevenção faz exatamente isto.

As figuras abaixo ilustram os dois conceitos.



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.

As representações gráficas oferecem melhores recursos de visualização para ilustrar o desempenho e permitir a análise dos dados coletados. Os três primeiros gráficos que discutimos 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. Ao passo que os três seguintes - Histograma de Frequência, Gráfico de Pareto e Gráficos de Controle - formam a estrutura estatística do método. Os Gráficos de Controle serão tratados em capítulo próprio por se constituírem na ferramenta mais importante do Controle Estatístico do Processo,

Gráficos sem Base Estatística

Fluxograma do Processo

É a descrição gráfica de todas as fases do processo. Oferece a visão global do processo permitindo a análise das fontes de conflito potenciais e reais. O fluxograma do processo deve resultar da observação direta do fluxo das atividades do processo e nunca baseado em descrições ou normas existentes, as quais nem sempre refletem a realidade operacional. Quando o processo for longo ou muito complexo, use a regra simples de análise: desmembre em componentes menores e depois junte os sub componentes.

As figuras abaixo mostram respectivamente, os símbolos usados na montagem dos fluxogramas e um exemplo de fluxograma do processo.

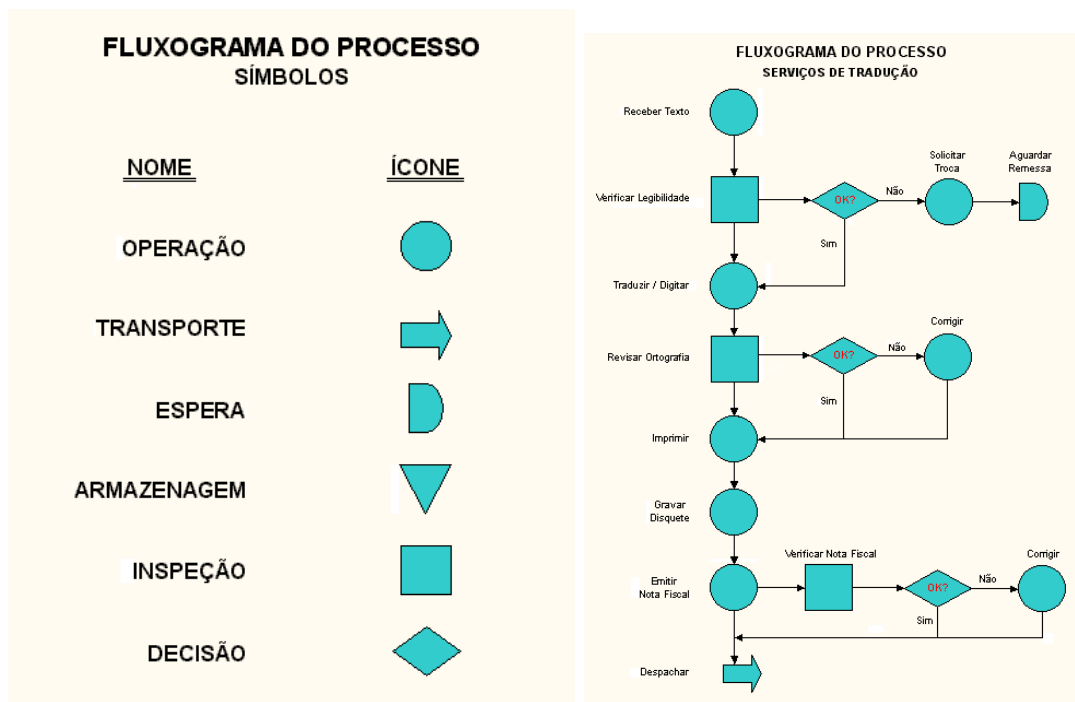


Gráfico de Contagem

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 abaixo 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.

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

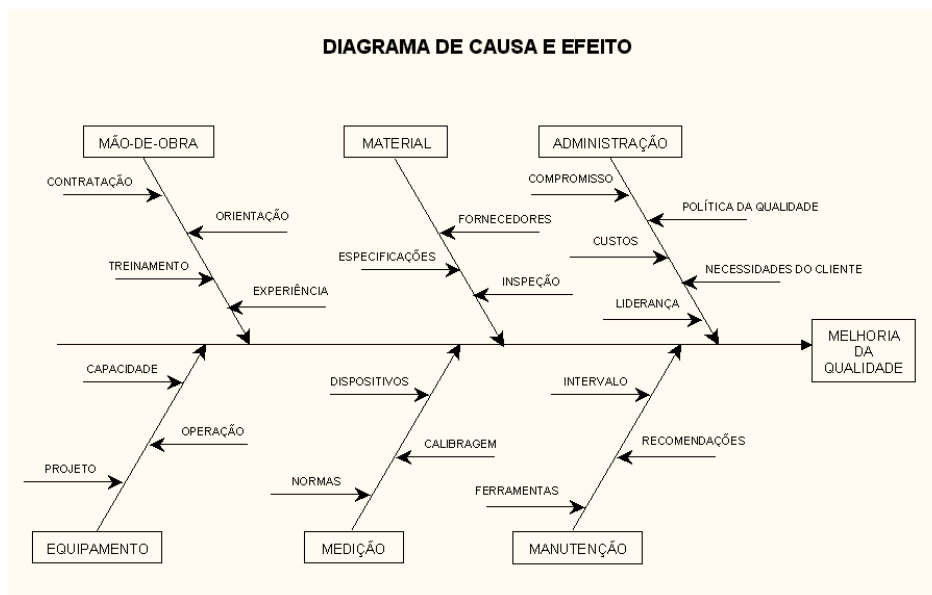
GRÁFICO DE CONTAGEM

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

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.

Diagrama de Causa e Efeito

O diagrama de causa e efeito é usado para identificar fontes de dispersão no processo em sessões no tipo “brainstorming”; 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. A figura abaixo ilustra o diagrama de causa e efeito universal, onde as causas são representadas pelas ‘espinhas’ e o efeito é a “cabeça”; o diagrama universal é muito útil para revelar todas as causas possíveis de um problema.



Gráficos Estatísticos

A figura ao lado mostra parte das 105 amostras de tempo de tradução, em minutos por página, de uma empresa de prestação de serviços de tradução, que servirão de base para as explicações das técnicas do método de Controle Estatístico do Processo e para o desenvolvimento da maioria dos exemplos demonstrativos de construção dos diversos tipos de gráficos de controle que abordaremos.

	A	B
1	DADOS	
2		
3	OS Nº	Min/Pag
4	001	29,69
5	002	83,00
6	003	65,76
7	004	18,45
8	005	95,29
9	006	95,50
10	007	157,63
11	008	87,38
12	009	97,92
13	010	99,21
14	011	78,07
15	012	49,43
16	013	60,19
17	014	64,36
18	015	79,45
19	016	125,84
20	017	61,45
21	018	80,21
22	019	154,60
23	020	108,00
24	021	84,00
25	022	26,57
26	023	96,50
27	024	99,33
28	025	120,33

Antes de iniciarmos a construção dos gráficos precisamos determinar a quantidade de intervalos de classe para o grupo de 105 amostras e a amplitude dos intervalos de classe (amplitude é a diferença entre o maior e o menor valores de uma série). A função de planilha CEILING() [TETO () na versão em Português] do Microsoft Excel calcula a quantidade de intervalos de classe para um grupo de N amostras:

=TETO(LOG(CONT.NÚM(faixa_entrada);2);1)

=CEILING(LOG(COUNT(\$B\$4:\$B\$108);2);1) (versão em Inglês)

A expressão acima é a simbologia matemática do Microsoft Excel para definir a propriedade estatística: a quantidade de intervalos de classe de uma distribuição de frequência é dada pelo maior expoente de duas potências consecutivas de 2, entre as quais fica compreendido o número de amostras, ou seja $2^x < N < 2^{x+1}$, onde x é a quantidade de intervalos de classe e N é o número de amostras.

A seguinte rotina de processamento calcula a quantidade e a amplitude dos intervalos de classe para aplicação da ferramenta de análise histograma do Microsoft Excel

Rotina de Processamento 5.1:

1. Digitar a fórmula [=TETO(LOG(CONT.NÚM(\$B\$5:\$B\$108);2);1)] numa célula vazia fora da faixa onde o histograma de frequência vai ser calculado e dar um clique no botão de entrada de dados da barra de fórmulas para ativar o cálculo; o número 7 é exibido na célula I4 (figura 5-7).

	H	I
4	Qtde classes	7
5	Máximo	234,00
6	mínimo	1,67
7	amplitude	33,19
8	arredondam.	35

Figura 5-7

2. Determinar os valores máximo e mínimo da faixa de dados (B4:B108), com as funções MÁXIMO(núm1;núm2; ...) e MÍNIMO(núm1;núm2; ...) digitadas nas células I5 e I6, obtendo os valores 234 e 1,67, respectivamente.
3. Calcular a amplitude da faixa de dados, isto é a diferença entre os valores máximo (célula I5) e mínimo (célula I6) e dividir pela quantidade de intervalos de classe (célula I4) para obter a amplitude dos intervalos de classe na célula I7.
4. A amplitude dos intervalos de classe deve ser múltiplo de um número inteiro, assim arredondamos o valor 33,19 obtido na célula I7 para 35 usando a função de planilha do Microsoft Excel TETO(H6;5) na célula I8.
5. Portanto a série de intervalos de classe será:

0 - 35

36 - 70

71 - 105

106 - 140

141 - 175

176 - 210

211 - 245

ou simplificadaamente 0, 36, 71, 106, 141, 176, 211.

Usualmente usa-se a ferramenta 'Histograma' incluída no programa suplementar Pacote de Ferramentas de Análise de Dados (Analysis ToolPak) do Microsoft Excel para gerar os gráficos do Histograma de Frequência e de Pareto, entretanto essa ferramenta não dispõe de um elo de ligação entre o gráfico gerado e a tabela de dados originais e quando se adiciona dados novos é preciso repetir a rotina de processamento para gerar a tabela e o gráfico atualizados. A ferramenta 'Histograma', por ser de uso muito fácil e rápido, presta-se mais para aquelas

aplicações em que não sejam necessárias atualizações constantes, tais como apresentações e demonstrações.


O Microsoft Excel dispõe no entanto, de mais duas maneiras de gerar histogramas sem esse inconveniente: a função estatística FREQUENCY() [frequência] e a Tabela Dinâmica (pivot table). Vamos mostrar o uso da função FREQUENCY() [frequência] para gerar o Histograma de Frequência e a Tabela Dinâmica para gerar o Gráfico de Pareto; deixamos a ferramenta 'Histograma' como exercício para os leitores (as).

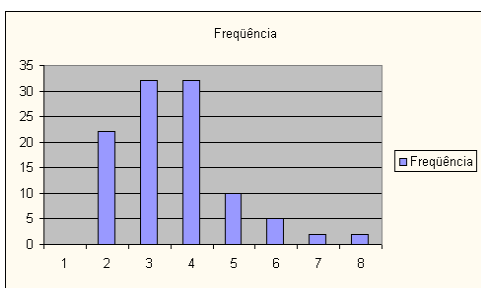
Histograma de Frequência

O histograma de frequência é um gráfico de colunas que mostra a forma de dispersão da distribuição de frequência de uma série de dados.

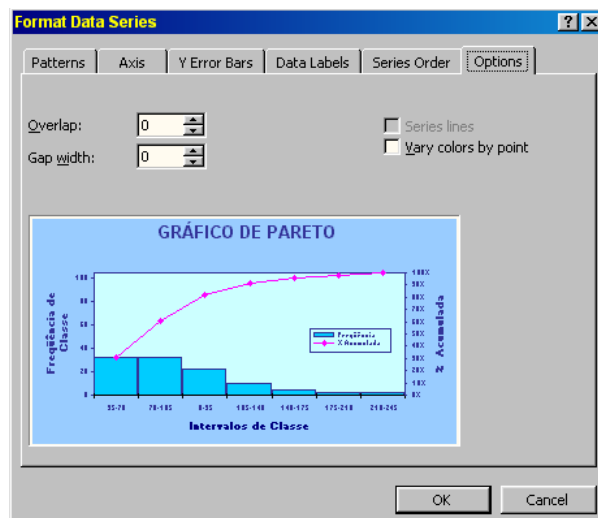
O Histograma de Frequência deste exemplo foi construído com a função estatística FREQUENCY() [frequência] do Microsoft Excel e os dados da planilha 5-1 seguindo os passos descritos na:

Rotina de Processamento 5.2:

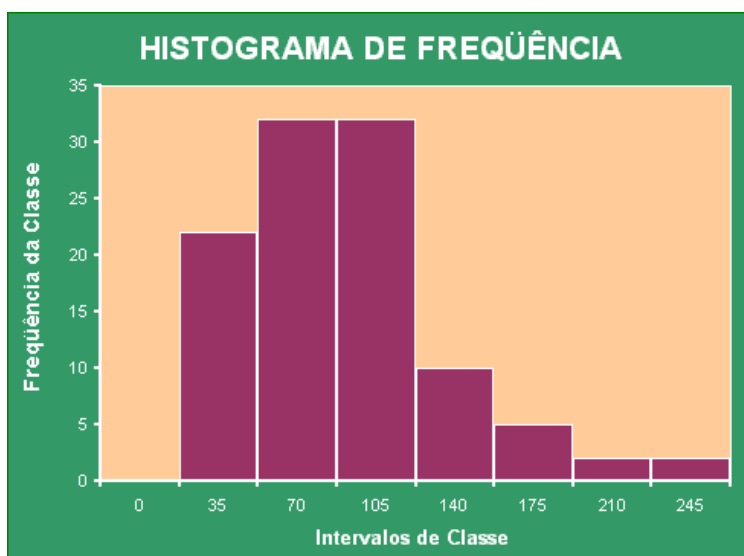
1. Digitar o conjunto de intervalos de classe calculados com a rotina de processamento 5.1, inclusive o intervalo zero, numa coluna livre da planilha 5-1 - faixa L4:L11 no exemplo e digitar a palavra 'Intervalos' na célula L3 para título da coluna L;
2. Digitar a palavra 'Frequência' na célula M3, como título da coluna M; selecionar a faixa M4:M11 e digitar '=FREQUENCY(' [sem as aspas] na barra de fórmulas; selecionar a coluna B dando um clique na letra B da moldura da planilha; digitar o separador de lista ponto e vírgula (;) {**Atenção**:- em alguns sistemas o separador de lista é a vírgula (,)};
3. Selecionar a faixa L4:L11 que contem os intervalos de classe; digitar ')' para fechar a fórmula; pressionar, simultaneamente as três teclas , e para entrar a expressão como fórmula de matriz. O Microsoft Excel calcula automaticamente quantidade das frequências de classe na faixa M4:M11.
4. O gráfico do histograma de frequência é criado selecionando-se a faixa M3:M11 e o Assistente de Gráfico com o botão  da barra de ferramentas padrão. Aparece o quadro de diálogo 'Chart Wizard - Step 1 of 4 - Chart Type' (assistente de gráfico - passo 1 de 4 - tipo do gráfico); selecionar o primeiro subtipo de gráfico de coluna e dar um clique no botão 'Finish' para criar um gráfico de colunas padrão, semelhante ao da figura 5-8;



5. O formato usual de apresentação dos histogramas é sem espaçamento entre colunas, para obter essa aparência é só dar um duplo clique em qualquer uma das colunas do histograma para invocar o quadro de diálogo "Format Data Series" (formatar a série de dados) e selecionar a guia 'Options' (opções); digitar 0 (zero) na janela de edição 'Gap Width' (largura do espaçamento) e pressionar o botão 'OK'.



Do ponto de vista de processamento o gráfico do histograma de frequência está pronto, porém do ponto de vista da estética precisa de um acabamento para melhorar o aspecto visual, como mostra a ilustração abaixo.



Uma vez que selecionamos toda a coluna B antes de digitar a fórmula de matriz, todas as vezes que for adicionado um novo dado à coluna B a tabela e o gráfico serão atualizados.

Gráfico de Pareto

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.

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 pertencia 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 dizendo que 80% dos problemas que ocorrem num certo evento podem ser atribuídos a 20% do total das causas prováveis de sua ocorrência.

O 'Princípio de Pareto' de Juran é evidenciado sob a forma gráfica como vamos mostrar através do exemplo criado com os dados da planilha (demonstrada anteriormente) e a Tabela Dinâmica do Microsoft Excel.

Rotina de Processamento 5.3

1. Selecionar qualquer célula da coluna 'Min/Pag' da planilha 5-I e o comando 'PivotTable and PivotChart Report...' (relatório de tabela dinâmica e gráfico) do menu Data (Figura 5-9);

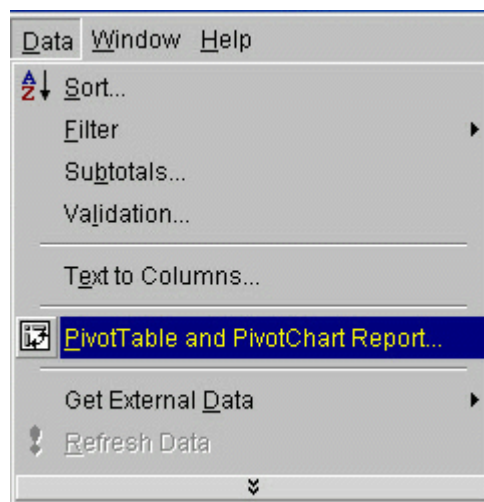
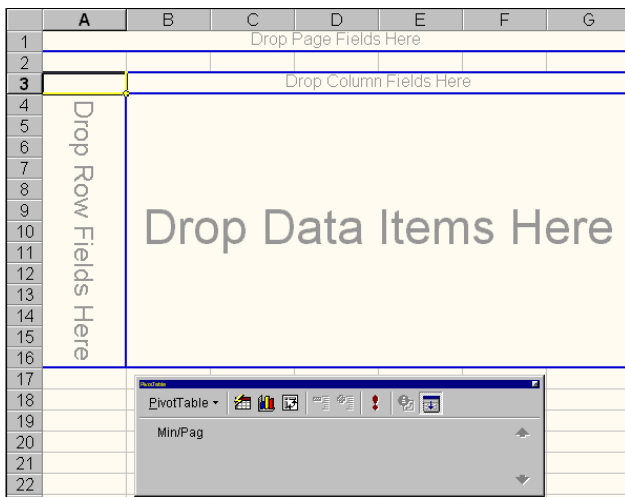


Figura 5-9

2. É exibido o quadro de diálogo 'PivotTable and PivotChart Wizard - Step 1 of 3' (assistente de tabela dinâmica e gráfico - passo 1 de 3); selecionar os botões de rádio 'Microsoft Excel list or database' e 'PivotTable' (tabela dinâmica), se não estiverem selecionados, para criar a tabela dinâmica sem o gráfico;
3. Pressionar o botão 'Finish' são exibidos o layout da tabela dinâmica em branco e a barra de ferramentas 'PivotTable';



4. Arrastar o botão do campo 'Min/Pag' exibido na área inferior da barra de ferramentas 'PivotTable' para a área 'Row' (linha);
5. Repetir o arrasto do botão do campo 'Min/Pag' para a área 'Data' (dados); o Microsoft Excel cria a tabela dinâmica; dar um duplo clique sobre o botão 'Sum of Min/Pag' da área de dados e trocar o método de cálculo de 'Sum' (soma) para 'Count' (contagem) no quadro de diálogo 'PivotTable Field' (campo da tabela dinâmica) (figura 5-11); pressionar o botão OK; a tabela fica com o formato da Figura 5-12.

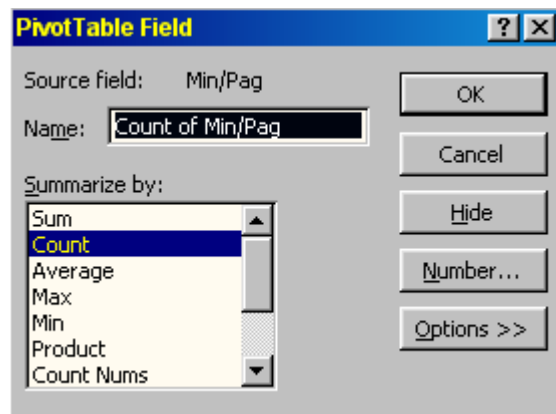


Figura 5-11

	A	B
1	Drop Page Fields Here	
2		
3	Count of Min/Pag	
4	Min/Pag	Total
5	1,673469388	1
6	2,484848485	1
7	13,7755102	1
8	15,26923077	1
9	15,91919192	1
10	16,85185185	1
11	18,44615385	1
12	21,25806452	1
13	26,49275362	1
14	26,57142857	1
15	27,93548387	1
16	28,64084507	1
17	29,6875	1
18	29,88235294	1
19	30,28169014	1
20	31,94736842	1
21	32,375	1
22	32,86567164	1
23	33,24409449	1
24	33,3	1
25	34,35294118	1
26	34,98360656	1
27	36,59848485	1
28	40,85714286	1

Figura 5-12

Nota - A tabela dinâmica criada pelo Microsoft Excel mostra uma linha para cada valor do campo 'Min/Pag' (figura 5-12); os dados precisam agora ser agrupados dentro dos intervalos de classe estabelecidos na rotina de processamento 5.1, o que é feito no passo 6.

6. Selecionar qualquer célula da tabela dinâmica e em seguida o sub-comando 'Group' do comando 'Group and Outline' (agrupar e organizar) do menu 'Data' (dados); aparece o quadro de diálogo 'Grouping' (agrupar) mostrado na Figura 5-13; digitar 0 (zero) na janela de edição 'Starting at:' (começar em) e 35 na janela de edição 'By:' (de); não é necessário alterar o valor 234 exibido na janela de edição 'Ending at:' (termina em) porque o Microsoft Excel calcula os intervalos pelo valor do incremento digitado na janela de edição 'By:' (de); pressionar o botão OK para fechar o quadro de diálogo e exibir a tabela com as freqüências agrupadas;

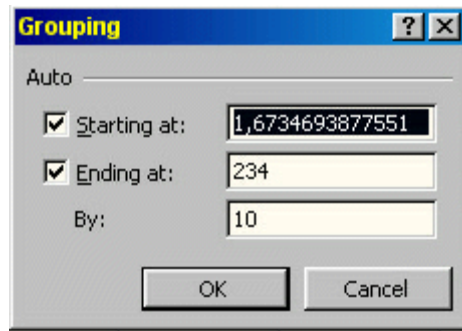



Figura 5-13

7. Selecionar qualquer célula da faixa C5:C11 - coluna 'Total' - e dar um clique no botão 'Sort Descending' (classificação descendente)  para ordenar a coluna de freqüências agrupadas na ordem decrescente, como requerido neste exemplo (figura 5-14);

	B	C
3	Count of Min/Pag	
4	Min/Pag	Total
5	35-70	32
6	70-105	32
7	0-35	22
8	105-140	10
9	140-175	5
10	175-210	2
11	210-245	2
12	Grand Total	105

Figura 5-14

Nota:- A rotina de processamento interno do Microsoft Excel que cria a tabela dinâmica não gera a coluna de porcentagem acumulada das freqüências agrupadas dos intervalos de classe, necessária para completar o gráfico; a sub-rotina descrita no passo 8 supre essa necessidade

8. Sub-Rotina de Processamento para Cálculo das Porcentagens Acumuladas das Freqüências Agrupadas.
 - a. Digitar a frase '% Acum' na célula E4 e a fórmula [=C5/\$C\$12] na célula E5; o divisor das fórmulas (\$C\$12) está em formato absoluto porque é fixo;

- b. Digitar a fórmula [=C6/\$C\$12+D5] na célula E6;
 - c. Copiar a fórmula do passo b. nas células da faixa E7:E11.
9. Agora temos todos os elementos para traçar o gráfico de Pareto completo. Entretanto, a estrutura da tabela dinâmica não permite que se use parte dos dados de suas células para construir o gráfico que desejamos, vamos então usar o seguinte artifício para gerar o gráfico como queremos com a seguinte sub-rotina;
10. Sub-Rotina de Processamento para Gerar o Gráfico de Pareto.
- a. Copiar a faixa C5:C11 da tabela dinâmica na faixa F5:F11, mantendo assim a ordem da seqüência em que as variáveis entram no gráfico: intervalos de classe no eixo dos x e freqüências agrupadas no eixo dos y;
 - b. Selecionar a faixa E4:F11; pressionar o botão do assistente de gráfico na barra de ferramentas padrão; abre-se o quadro de diálogo 'Chart Wizard - Step 1 of 4 - Chart Type'; selecionar o guia 'Custom Types' e o modelo "Line - Column on 2 Axes" na janela de edição 'Chart Type:.'; pressionar o botão 'Finish' para gerar o gráfico no formato padrão do Microsoft Excel (não há necessidade de seguir os quatro passos do Assistente de Gráfico porque no momento só estamos interessados na criação de um gráfico padrão);

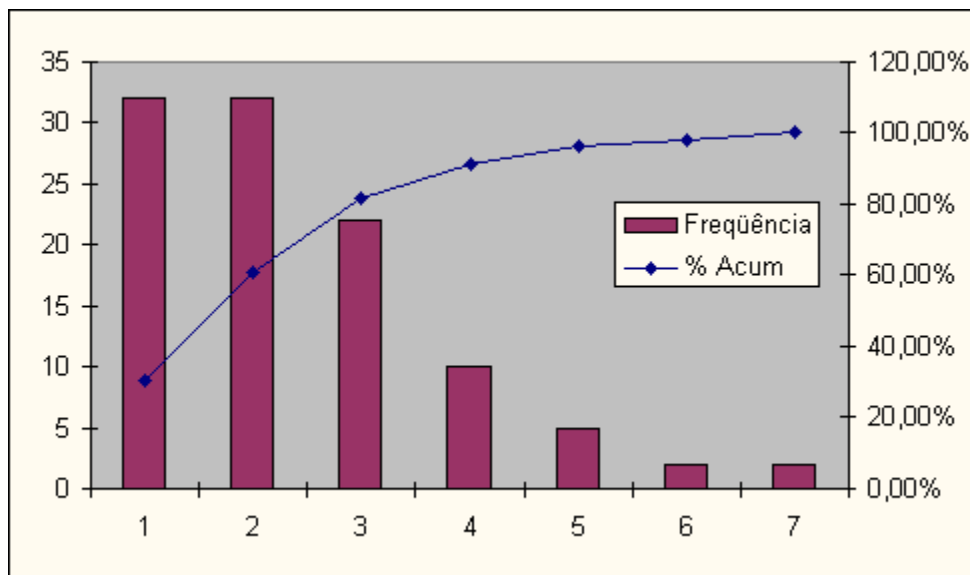


Figura 5-15

11. Como no caso do histograma de freqüência, o formato usual de apresentação do gráfico de Pareto é sem espaçamento entre colunas, e a curva de freqüência acumulada é localizada na parte superior do gráfico, para obter essa aparência procede-se da seguinte maneira:
- a. Dar um duplo clique em qualquer uma das colunas do gráfico para invocar o quadro de diálogo "Format Data Series" (formatar a série de dados) e selecionar a guia 'Options' (opções); digitar 0 (zero) na janela de edição 'Gap Width' (largura do espaçamento) (Figura 5-16) e pressionar 'OK'.

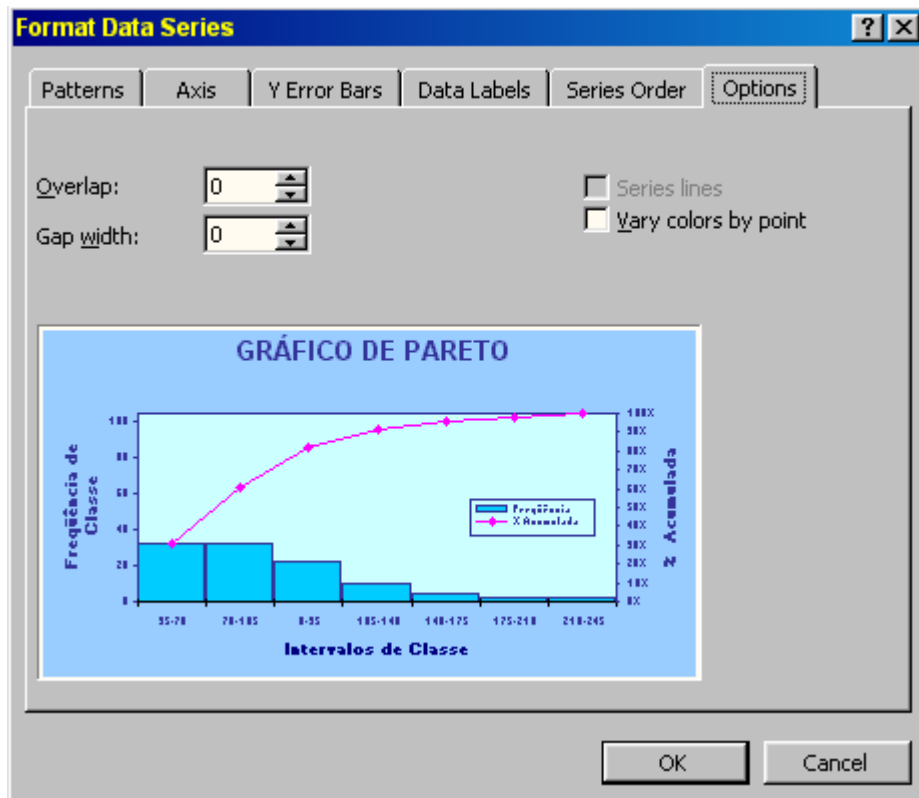


Figura 5-16

- b. Selecionar o eixo dos y com um clique do botão direito e o comando 'Format Axis...' do menu flutuante que é exibido; abre-se o quadro de diálogo 'Format Axis' selecionar o guia 'Scale' (escala); desmarcar os botões de rádio 'Minimum' e 'Maximum' e digitar 105 na janela de edição 'Maximum'; pressionar 'OK' para encerrar o comando; a fig. 5-17 mostra o gráfico no formato padrão.

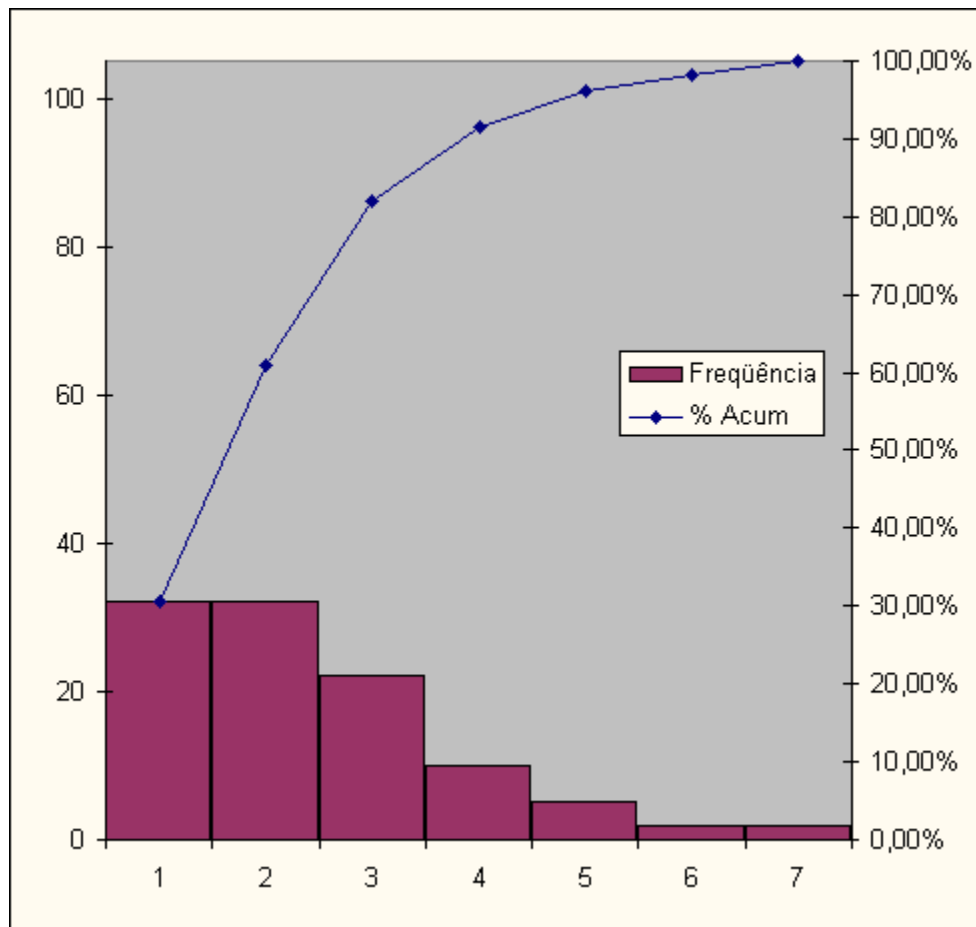
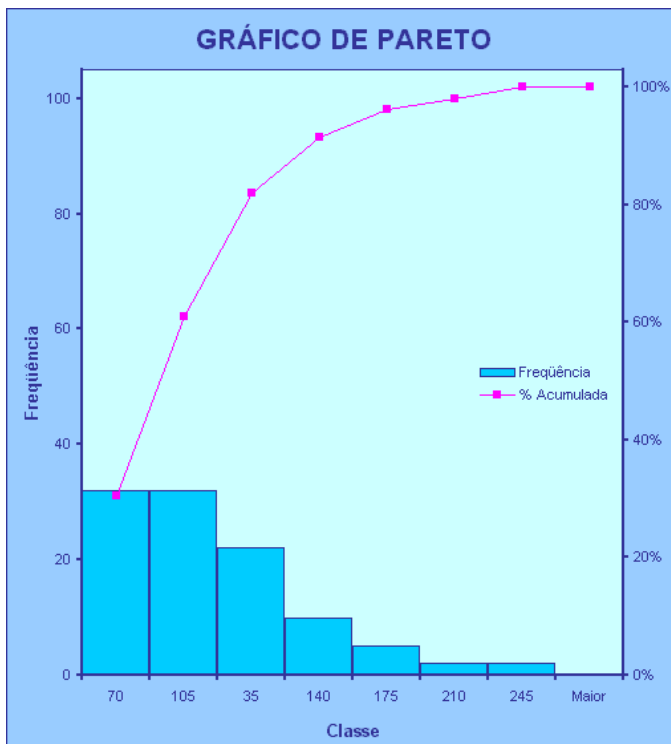


Figura 5-17

O passo 11b finaliza o processamento, porém dependendo do gosto pessoal, resta dar um acabamento visual no gráfico. A ilustração Gráfico de Pareto mostra nossa sugestão.



A atualização das tabelas dinâmicas não é automática quando os dados são alterados, ela segue certas regras que estão descritas no tópico 'Refreshing Data in PivotTable Reports' (atualização de dados dos relatórios de tabelas dinâmicas) do título 'Analysing Data with PivotTable Reports' (análise de dados com relatórios de tabelas dinâmicas), relacionados no guia 'Contents' (índice geral) da Ajuda do Microsoft Excel.

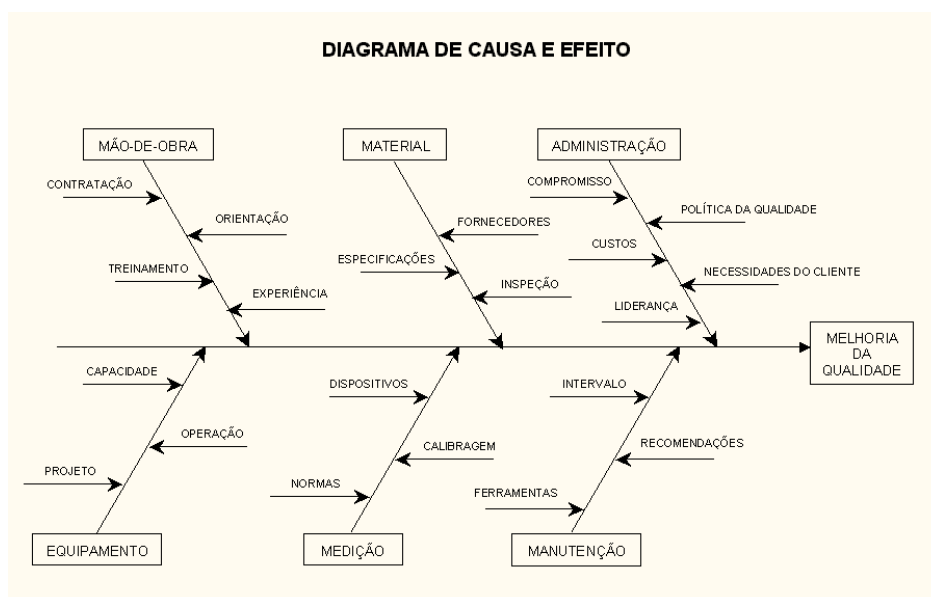
Conceito de Dispersão

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; exemplos de causas comuns: equipamento inadequado e/ou obsoleto; métodos inadequados ou errados; ambiente de trabalho impróprio (iluminação, umidade, temperatura).

Causas especiais, são fontes de dispersão 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; exemplos de causas especiais: o diagrama de causa e efeito. A abaixo 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, dito estar 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 dito ser instável, visto que não podemos prever quando a próxima causa especial vai se manifestar e portanto não podemos prever a amplitude da dispersão.

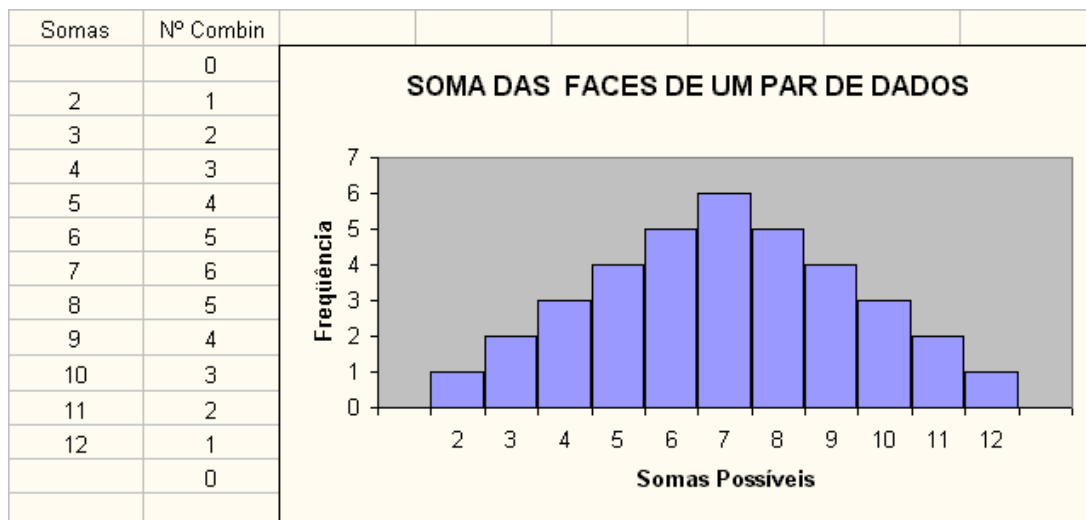
Num processo estável as causas comuns têm o mesmo comportamento estatístico que os fatores aleatórios num jogo de dados. A curva da distribuição de frequência de um par de dados possui a mesma forma básica que a dos produtos criados num processo produtivo.

Quando se lança um par de dados e se soma os números da face de cima, as somas possíveis variam de 2 a 12. No entanto, nem todas as soma 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 frequência 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 onde é mostrada a distribuição de frequência das combinações das somas das faces do par de dados.



Indo um pouco mais além, o histograma da figura acima 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 freqüência de tais processos, mesmo nos casos em que a distribuição real seja assimétrica.

Os gráficos de contagem, histograma de freqüência 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.

A média aritmética ou, abreviadamente, média, é o valor central da distribuição normal, representada pelo símbolo \bar{X} (leia-se “xis barra”) e calculada pela expressão

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{N} \quad (5.1)$$

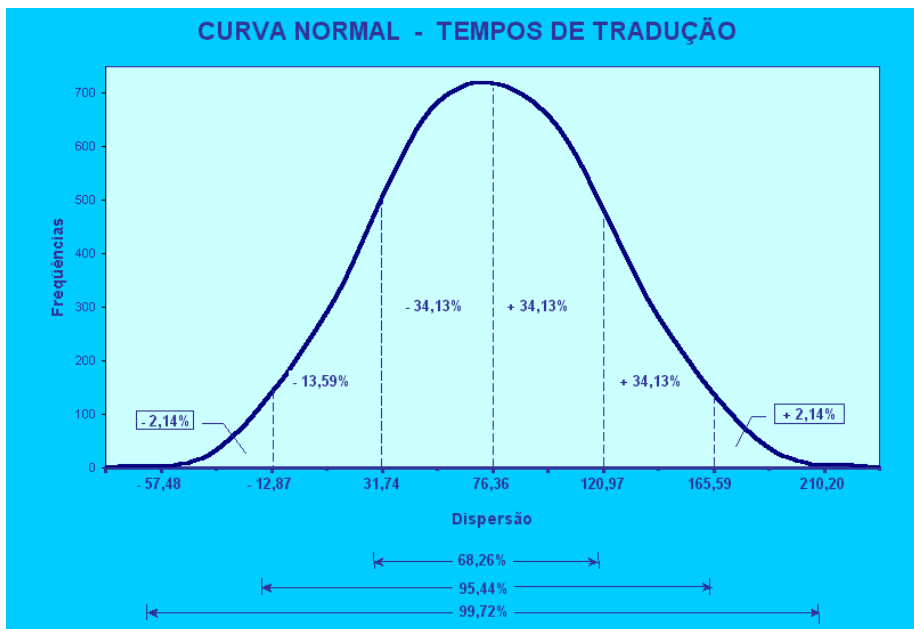
onde $\sum X$ (lê-se somatória de xis) é a soma dos valores observados X_1, X_2, \dots, X_n e N é o número de observações. O Microsoft Excel calcula a média aritmética pela função estatística MÉDIA(núm1;núm2; ...), na qual núm1, núm2, ..., são os valores observados X_1, X_2, \dots, X_n .

O desvio padrão, cujo símbolo é a letra grega σ (lê-se sigma minúsculo), mede a dispersão da distribuição normal. Existem diversas fórmulas para calcular o desvio padrão; uma delas é a expressão

$$\sigma = \sqrt{\frac{N\sum X^2 - (\sum X)^2}{N(N-1)}} \quad (5.2)$$

usada pelo Microsoft Excel na função estatística DESVPAD(núm1;núm2; ...), onde núm1, núm2, ..., são os valores observados X_1, X_2, \dots, X_n , como na fórmula da média aritmética. Mais adiante apresentaremos uma outra fórmula mais simples, mas que não tem função Microsoft Excel correspondente e portanto precisa ser digitada na planilha para efetuar o cálculo do desvio padrão.

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



A figura acima é a curva de distribuição normal dos tempos de tradução (min/pag) do nosso exemplo. Os desvios padrão estão locados no eixo dos Xs e as abcissas indicadas correspondem, da esquerda para a direita, aos valores calculados na coluna C da planilha 5-II; as freqüências são as ordenadas. A curva da distribuição normal mostra ainda que:

99,72% dos resultados do processo caem entre $\bar{X} + 3\sigma$ e $\bar{X} - 3\sigma$; isto é, de cada 1000 unidades produzidas há possibilidade de 3 unidades (ou 0,3%) caírem fora da área sob a curva. A amplitude da faixa $\bar{X} \pm 3\sigma$ é chamada dispersão seis sigma (3σ à esquerda da média e 3σ à direita).

95,44% caem entre $\bar{X} + 2\sigma$ e $\bar{X} - 2\sigma$; pode-se dizer que de cada 20 unidades produzidas 19 cairão dentro de dois terços da dispersão do processo.

68,26% caem entre $\bar{X} + \sigma$ e $\bar{X} - \sigma$; isto é, 7 unidades de cada 10 produzidas estarão dentro de um terço da dispersão do processo.

Nota:- Observe que a curva da figura 5-19 é levemente assimétrica à esquerda; mesmo assim a distribuição normal modela convenientemente o fenômeno observado.