

## 1 Ferramentas para o Controle e Melhoria da Qualidade

Como vimos no capítulo 2, o processo de melhoria contínua de produtos e processos envolve basicamente as seguintes etapas:

- Identificação dos problemas prioritários;
- Observação e coleta de dados;
- Análise e busca de causas raízes;
- Planejamento e implementação das ações;
- Verificação dos resultados.

Esse processo é ilustrado de forma mais concisa na figura 4.1.

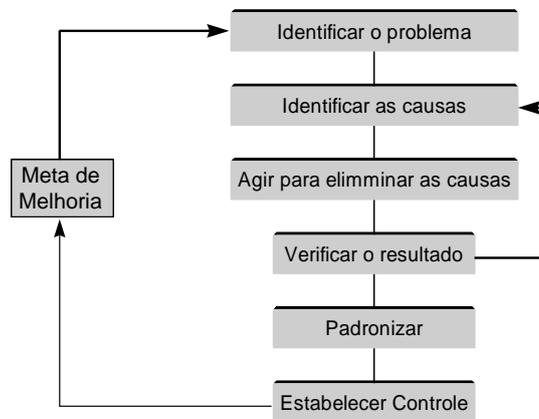


Figura 4.1 - Etapas em controle de processos.

Para auxiliar o desenvolvimento dessas ações, foram criadas várias ferramentas, classificadas como *As Sete Ferramentas da Qualidade*, que compreendem:

1. Estratificação,
2. Folha de Verificação,
3. Gráfico de Pareto,
4. Diagrama de Causa e Efeito,
5. Histograma,
6. Diagrama de dispersão,
7. Gráfico de Controle.

Outras ferramentas, normalmente conhecidas como *As Sete ferramentas Gerenciais* são:

1. Diagrama de Relações;
2. Diagrama de Afinidades;
3. Diagrama em Árvore;
4. Matriz de Priorização;

5. Matriz de relações;
6. Diagrama de Processo Decisório (Process Decision Program Chart);
7. Diagrama de Atividades (Diagrama de Flechas).

Além dessas, outras ferramentas da qualidade bastante difundidas são:

- 5S;
- Mapeamento de processos;
- 5W1H (O que, Porque, Onde, Quando, Quem, Como);

Essas ferramentas podem ser genericamente classificadas quanto à utilização conforme apresentado na tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Principais finalidades das ferramentas da qualidade.

<b>Finalidade</b>	<b>Ferramenta</b>
Identificação e Priorização de problemas	Amostragem e estratificação
	Folha de verificação
	Histograma, medidas de locação e variância
	Gráfico de Pareto
	Gráfico de tendência, gráfico de controle
	Mapeamento de processo
	Brainstorming
Análise e busca de causas raízes	Matriz de priorização
	Brainstorming
	Estratificação
	Diagrama espinha de peixe
	Diagrama de afinidades
	Diagrama de relações
Elaboração e implementação de Soluções	Relatório das três gerações (passado, presente, futuro)
	Diagrama árvore
	Diagrama de processo decisório
	5W1H
Verificação de Resultados	5S
	Amostragem e estratificação
	Folha de verificação
	Histograma, medidas de locação e variância
	Gráfico de Pareto
	Gráfico de tendência, gráfico de controle

A utilização da maior parte dessas ferramentas é feito por meio de levantamento idéias e opiniões em um trabalho de equipe conhecido como *brainstorming*. As próximas seções apresentam essas ferramentas exceto as ferramentas 5W1H,

apresentada no capítulo 6, mapeamento de processos e gráficos de controle, apresentadas no capítulo 8.

## **1.1 As Sete Ferramentas da Qualidade**

### **1.1.1 Estratificação**

A Estratificação consiste na divisão de um grupo em diversos subgrupos com base em características distintivas ou de estratificação. As principais causas de variação que atuam nos processos produtivos constituem possíveis fatores de estratificação de um conjunto de dados: equipamentos, insumos, pessoas, métodos, medidas e condições ambientais são fatores naturais para a estratificação dos dados.

Com a estratificação dos dados, objetiva-se identificar como a variação de cada um desses fatores interfere no resultado do processo ou problema que se deseja investigar. Alguns exemplos de fatores de estratificação bastante utilizados são:

- Tempo: os efeitos dos problemas (ou resultados indesejáveis) são diferentes de manhã, à tarde, à noite?
- Turno de Produção: os efeitos são diferentes quando consideramos diferentes turnos de produção ?
- Local: os efeitos são diferentes nas diferentes linhas de produção da indústria ou nas diferentes regiões do País onde o produto é comercializado?
- Matéria prima: são obtidos diferentes resultados dependendo do fornecedor da matéria-prima utilizada?
- Operador: diferentes operadores estão associados a resultados distintos?

A estratificação é um recurso bastante útil na fase de análise e observação de dados. Deve-se observar, entretanto que para se analisar os dados de maneira estratificada, é preciso que a origem dos dados seja identificada. Ou seja, é importante anotar, por exemplo, em que dias da semana e em que horários os dados foram coletados, quais máquinas estavam em operação e quais foram os operários e os lotes de matéria-prima envolvidos. Uma estratégia recomendável consiste em registrar todos os fatores que sofrem alterações durante o período de coleta dos dados. Também é importante que os dados sejam coletados durante um período de tempo não muito curto, de forma que se possa estratificar os dados também em função do tempo.

### 1.1.2 Folha de Verificação

A Folha de Verificação é usada para planejar a coleta de dados a partir de necessidades de análise de dados futuras. Com isso, a coleta de dados é simplificada e organizada, eliminando-se a necessidade de re-arranjo posterior dos dados. De um modo geral, a folha de verificação consiste num formulário no qual os itens a serem examinados já estão impressos. Diferentes tipos de folha de verificação podem ser desenvolvidos. Os tipos mais empregados são:

- Verificação para a distribuição de um item de controle de processo (Figura 4.2);
- Verificação para classificação de defeitos (Figura 4.3);

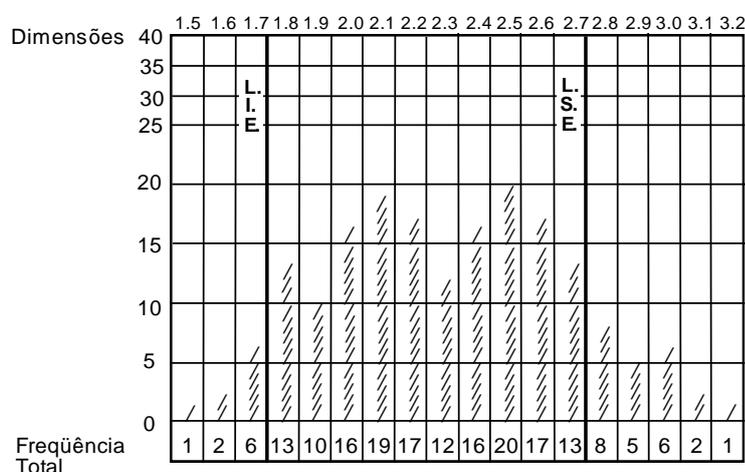


Figura 4.2 - Folha de verificação de um item de controle de um processo.

Tipo	Rejeitados	Sub-total
Marcas	/// //	32
Trincas	///	23
Incompleto	/// //	48
Distorção	///	4
Outros	/// //	8
	Total Geral	115
Total Rejeitados	/// //	86

Figura 4.3 - Folha de verificação para a classificação de defeitos.

### 1.1.3 Diagrama de Pareto

O Princípio de Pareto foi adaptado aos problemas da qualidade por Juran, a partir da teoria desenvolvida pelo sociólogo e economista italiano Vilfredo Pareto (1843-1923). O Princípio de Pareto estabelece que a maior parte das perdas decorrentes dos problemas relacionados à qualidade são advindas de alguns poucos mas vitais problemas. Ou seja, o Princípio de Pareto afirma que se forem identificados, por exemplo, cinquenta problemas relacionados à qualidade (percentual de itens defeituosos, retrabalho, refugo, número de reclamações de clientes, gastos com reparos de produtos dentro do prazo de garantia, ocorrências de acidentes de trabalho, atrasos na entrega de produtos, etc.), a solução de apenas oito ou dez desses problemas já poderá representar uma redução de 80 ou 90% das perdas que a empresa vem sofrendo devido à ocorrência de todos os problemas existentes.

O Princípio de Pareto afirma também que entre todas as causas de um problema, algumas poucas são as grandes responsáveis pelos efeitos indesejáveis do problema. Logo, se forem identificadas as poucas causas vitais dos poucos problemas vitais enfrentados pela empresa, será possível eliminar quase todas as perdas por meio de um pequeno número de ações.

O Princípio de Pareto é demonstrado através de um gráfico de barras verticais (Gráfico de Pareto) que dispõe a informação de forma a tornar evidente e visual a ordem de importância de problemas, causas e temas em geral. Considerando que, de um modo geral, os recursos são limitados, eles devem ser aplicados onde os benefícios advindos da eliminação de problemas seja de maior impacto. Nesse sentido, o Diagrama de Pareto é uma ferramenta importante para a priorização das ações.

Alguns exemplos de gráfico de Pareto são listados a seguir:

- Incidência de diferentes tipos de defeitos ou problemas (Figuras 4.4 e 4.5);
- Custo de retrabalho de diferentes tipos de defeitos (Figura 4.6);
- Incidência de um tipo de defeito ou problema em lotes de peças resultantes de máquinas similares (Figura 4.7);
- Incidência de um tipo de defeito ou problema em lotes de peças resultantes de diferentes turnos de produção (Figura 4.8);
- Causas para a ocorrência de um problema (Figura 4.9).

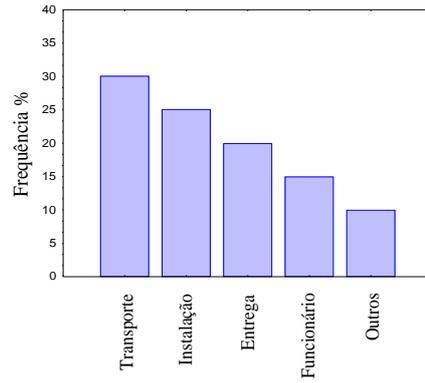


Figura 4.4 - Gráfico de Pareto: frequência de problemas em serviço de distribuição e entrega.

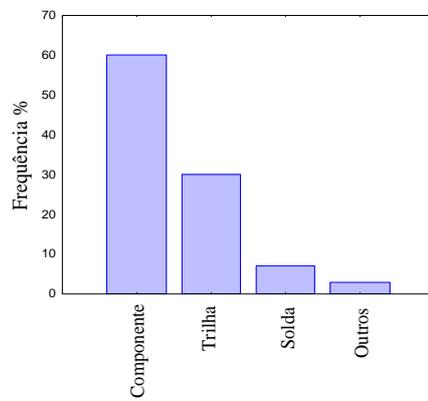


Figura 4.5 - Gráfico de Pareto: frequência de problemas em montagem de placas de circuito eletrônico.

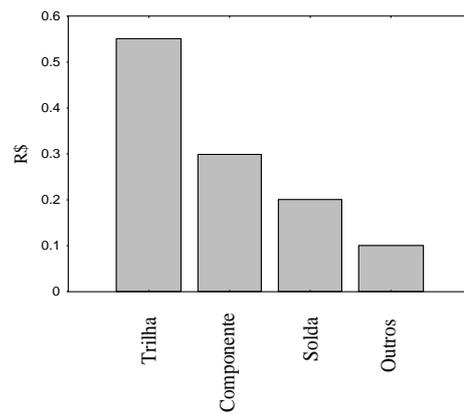


Figura 4.6 - Gráfico de Pareto: custo de re-trabalho de defeitos de fabricação.

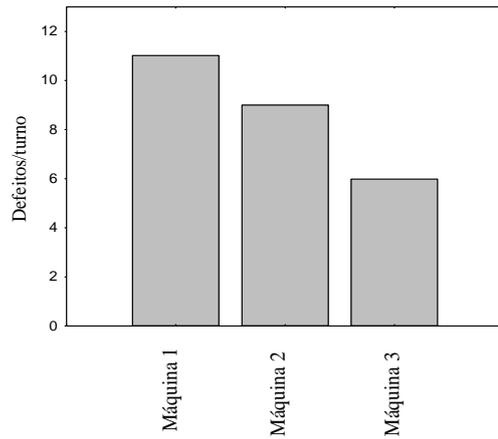


Figura 4.7 - Gráfico de Pareto: defeitos por turno para diferentes máquinas.

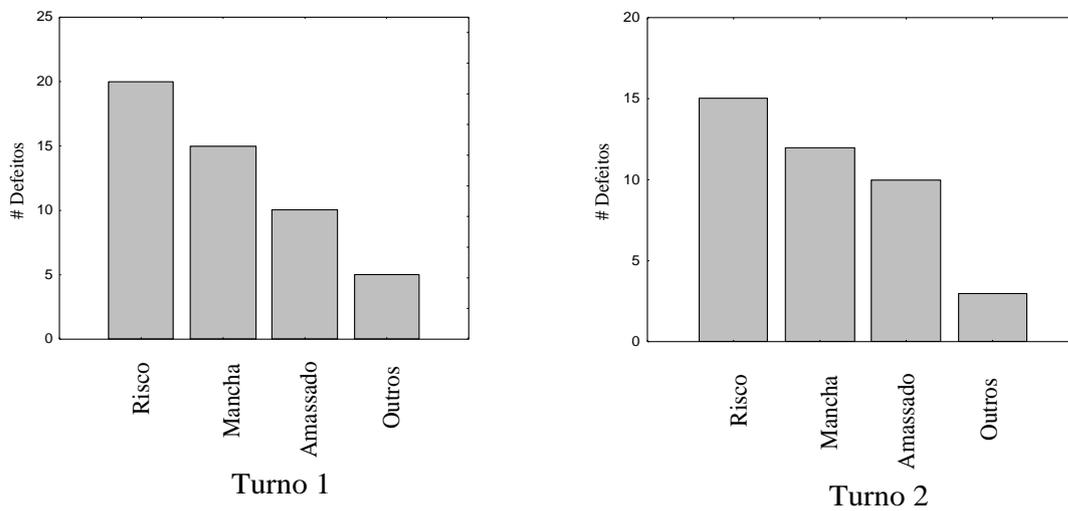


Figura 4.8 - Gráfico de Pareto: número de defeitos para diferentes turnos.

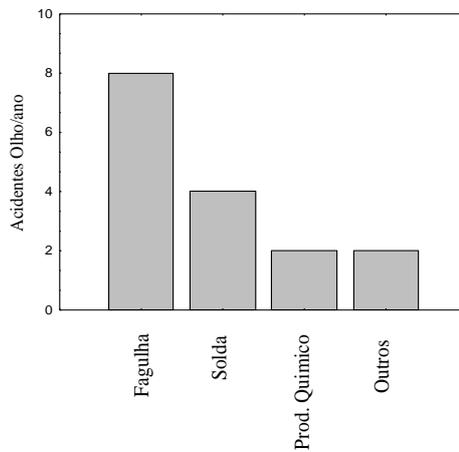


Figura 4.9 - Gráfico de Pareto: causas principais para ocorrência de acidentes.

### **Etapas para a Construção de um Gráfico de Pareto:**

1. Selecione os tipos de problemas ou causas que se deseje comparar, e. g., frequência de ocorrência de diferentes tipos de defeitos resultantes de um processo, ou causas para ocorrência de um problema. Essa seleção é feita através de dados coletados ou através de discussão em grupo (brainstorming);
2. Selecione a unidade de comparação, por exemplo, número de ocorrências, custo, etc.;
3. Defina o período de tempo sobre o qual dados serão coletados, e. g., 8 horas, 5 dias ou 4 semanas;
4. Colete os dados no local, e. g., defeito A ocorreu 55 vezes, defeito B 75 vezes, defeito C 30 vezes, etc.;
5. Liste as categorias da esquerda para a direita no eixo horizontal na ordem de frequência de ocorrência, custo, etc. decrescente;
6. Acima de cada categoria desenhe um retângulo cuja altura represente a frequência ou custo para aquela categoria;
7. Do topo do mais alto triângulo, uma linha pode ser adicionada para representar a frequência cumulativa das categorias.

#### **1.1.4 Diagrama de Causa e Efeito**

O Diagrama de Causa e Efeito foi desenvolvido para representar as relações existentes entre um problema ou o efeito indesejável do resultado de um processo e todas as possíveis causas desse problema, atuando como um guia para a identificação da causa fundamental deste problema e para a determinação das medidas corretivas que deverão ser adotadas.

A estrutura do Diagrama de Causa e Efeito lembra o esqueleto de um peixe, por isto é conhecido também como Diagrama de Espinha de Peixe. Uma terceira denominação para este diagrama é Diagrama de Ishikawa, em homenagem ao Professor Kaoru Ishikawa, que elaborou o diagrama de causa e efeito para explicar a alguns engenheiros de uma indústria japonesa como os vários fatores de um processo estavam inter-relacionados.

O Diagrama de Causa e Efeito é estruturado de forma a ilustrar as várias causas que levam a um problema. A Figura 4.10 apresenta a estrutura básica de um Diagrama

de Causa e Efeito, onde as causas de um determinado efeito são genericamente classificadas sob 4 categorias básicas, que são: método; máquina; material; homem.

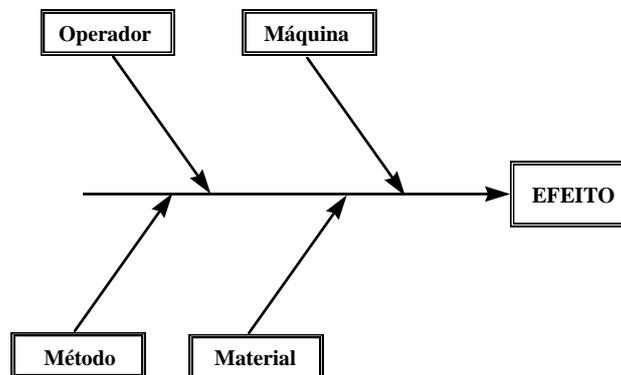


Figura 4.10 - Estrutura básica de um Diagrama de Causa e Efeito.

A construção de um Diagrama de Causa e Efeito deve ser realizada por um grupo de pessoas envolvidas com o processo considerado. A participação do maior número possível de pessoas envolvidas com o processo é muito importante para que se possa construir um diagrama completo, que não omita causas relevantes. Para a condução do trabalho em equipe, é aconselhável que sejam realizadas sessões de *brainstorming*. O *brainstorming* tem o objetivo de auxiliar um grupo de pessoas a produzir o máximo possível de idéias em um curto período de tempo.

Uma vez definido o problema a ser considerado, a equipe deve se concentrar na identificação de todas as possíveis causas. Nessa fase, a equipe deve repetidamente formular e responder a pergunta: Que tipo de variabilidade (nas causas) poderia afetar a característica da qualidade de interesse ou resultar no problema considerado? As causas assim identificadas pela equipe podem ser classificadas nas categorias acima identificadas e em tantas outras quanto necessário para caracterizar as causas básicas. Por exemplo, em processos administrativos, poderíamos considerar como causas básicas política, procedimentos, pessoas e equipamento.

Em seguida, para cada causa identificada, deve-se proceder à seguinte pergunta: porque isso acontece? a resposta a essa pergunta levará à possíveis causas que se ramificam a partir da causa anterior. O objetivo desse procedimento é tentar identificar as causas fundamentais para a ocorrência de problemas.

O grau de importância de cada causa relacionada no diagrama deve ser estabelecido não somente com base na experiência e em impressões subjetivas, que muitas vezes podem ser enganadoras, mas também com base em dados.

Como o grau de importância de cada causa relacionada no diagrama deve ser estabelecido com base em dados, tanto as causas quanto o efeito devem ser mensuráveis. Quando isto não for possível, é importante tentar encontrar variáveis alternativas substitutivas que sejam mensuráveis.

As Figuras 4.11, 4.12 e 4.13 apresentam exemplos de Diagramas.

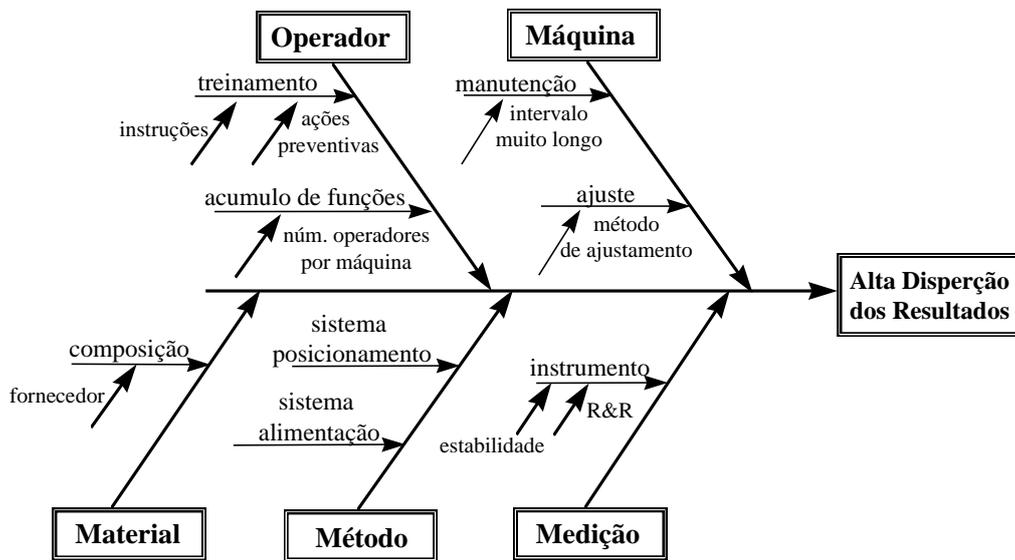


Figura 4.11 - Diagrama de Causa e Efeito: causas para a alta dispersão do resultado de um processo de fabricação.

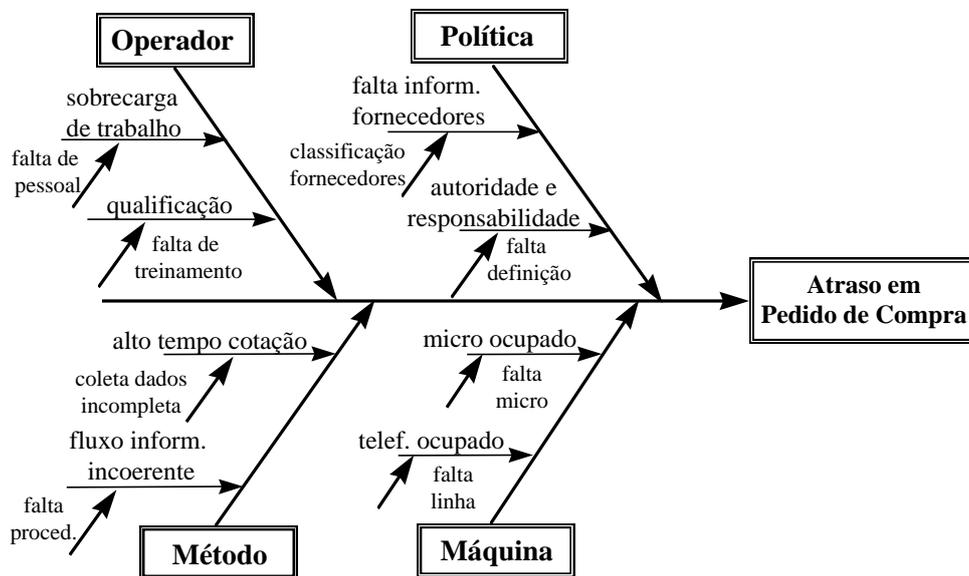


Figura 4.12: Diagrama de Causa e Efeito: causas para o atraso em pedido de compra.

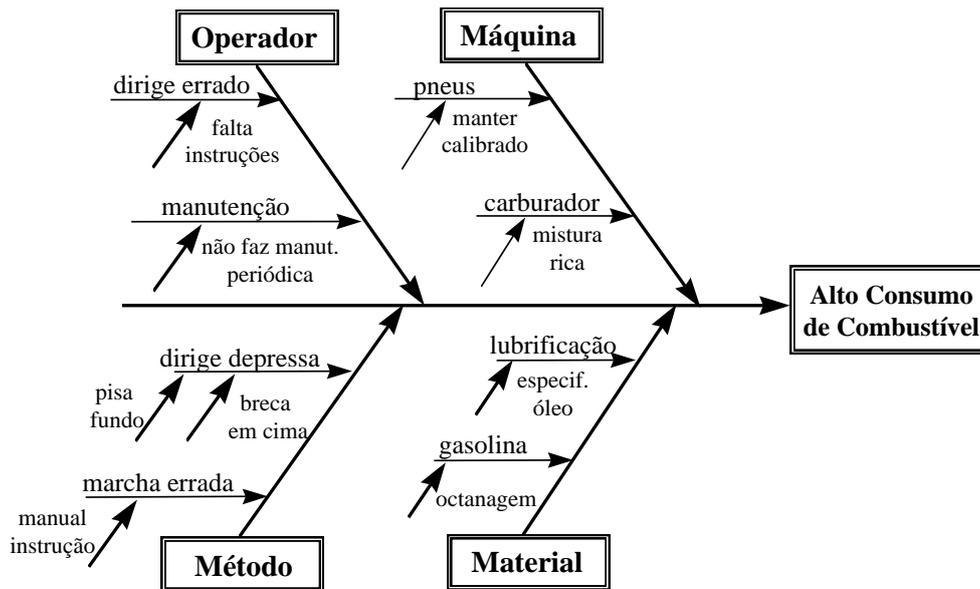


Figura 4.13 - Diagrama de Causa e Efeito: causas para o alto consumo de combustível de um automóvel.

### 1.1.5 Histogramas

O histograma é um gráfico de barras no qual o eixo horizontal, subdividido em vários pequenos intervalos, apresenta os valores assumidos por uma variável de interesse. Para cada um destes intervalos é construída uma barra vertical, cuja área deve ser proporcional ao número de observações na amostra cujos valores pertencem ao intervalo correspondente.

Assim, o histograma dispõe as informações de modo que seja possível a visualização da forma da distribuição de um conjunto de dados e também a percepção da localização do valor central e da dispersão dos dados em torno deste valor central.

A comparação de dados resultantes de um processo, para uma característica de qualidade de interesse, organizados na forma de histograma com os limites de especificação estabelecidos para aquela característica, nos permite responder às seguintes perguntas que podem surgir quando o desempenho de um processo está sendo estudado:

- O processo é capaz de atender às especificações?
- A média da distribuição das medidas da característica da qualidade está próxima do centro da faixa de especificação (valor nominal)?
- É necessário adotar alguma medida para reduzir a variabilidade do processo?

A construção de um histograma segue basicamente os seguintes passos:

1. Colete  $n$  dados referentes à variável cuja distribuição será analisada. É aconselhável que  $n$  seja superior a 50 para que se possa obter um padrão representativo da distribuição.
2. Escolha o número de intervalos ou classes ( $k$ ). Não existe uma única regra universal para a escolha de  $k$ . A regra apresentada na Tabela 4.1 é bastante comum.

Tabela 4.1: Número de intervalos em função do tamanho da amostra.

Tamanho da Amostra (n)	Número de Intervalos (k)
< 50	5 - 7
50 - 100	6 - 10
100 - 250	7 - 12
> 250	10 - 20

3. Calcule a amplitude total dos dados, dada por:

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

onde MIN e MAX representam respectivamente o menor e o maior valor da amostra.

4. Calcule o comprimento de cada intervalo, dado por:

$$h = \frac{R}{k}$$

O valor de  $h$  deve ser arredondado de forma que seja obtido um número conveniente.

Este número deve ser um múltiplo da unidade de medida dos dados da amostra.

5. Calcule os limites de cada intervalo: o limite inferior do primeiro intervalo corresponde ao menor valor da amostra; o limite inferior do segundo intervalo corresponde ao menor valor (MIN) mais a largura do intervalo,  $h$ . Isso significa que o primeiro intervalo está entre:

$$\text{MIN} \leq k_1 < (\text{MIN} + h),$$

o segundo intervalo entre:

$$(\text{MIN} + h) \leq k_2 < (\text{MIN} + 2h),$$

e assim sucessivamente até que seja obtido um intervalo que contenha o maior valor da amostra (MAX) entre os seus limites.

6. Construa uma tabela de distribuição de frequências, constituída pelas seguintes colunas:

- Número de ordem de cada intervalo ( $i$ );
- Limites de cada intervalo;
- Ponto médio de cada intervalo;

7. Construa uma escala no eixo horizontal para representar os limites dos intervalos e uma escala no eixo vertical para representar as frequências de ocorrências dentro de cada intervalo. Desenhe um retângulo em cada intervalo, com base igual ao comprimento ( $h$ ) e altura igual à frequência ( $f_i$ ) do intervalo.

**Exemplo 4.1:** Para a construção de um histograma a partir dos dados apresentados na Tabela 4.2, seguimos os passos definidos acima.

Para uma amostra de tamanho  $n = 63$ , podemos trabalhar com 10 intervalos. A amplitude da amostra é dada por:

$$R = 10,7 - 9,0 = 1,7,$$

Tabela 4.2: Conjunto de dados, Exemplo 9.1.

<i>1.1.5.1.1 Dados</i>					
9.9	10.1	9.8	10.2	9.9	10.5
9.3	9.9	9.9	9.8	9.8	10.6
10.2	9.7	10.1	10.7	10.3	9.8
9.4	9.8	10.4	9.9	9.5	9.5
10.1	9.9	10	10.7	9.9	9.4
9.6	10	10.2	9.3	9.3	9.6
9.9	9.6	10.1	10.3	10.2	10.3
10.1	9.7	9.8	9.9	9.2	10.2
9.8	9.4	10.1	10.5	9.9	
9.8	9.6	10.3	9.8	9.7	
9.8	10	10	10.3	9.9	

e o comprimento do intervalo é dado por:

$$h = \frac{R}{k} = \frac{1,7}{10} = 0,17$$

Nesse caso, podemos arredondar esse intervalo para 0,20, que corresponde a um múltiplo da menor divisão da unidade de medida (nesse caso 0,10). A seguir, a frequência de ocorrência dos dados em cada um dos intervalos é computada, conforme ilustra a Tabela 4.3

A partir da Tabela 4.3, podemos construir o histograma para o exemplo em questão, conforme ilustrado na Figura 4.14. O histograma permite a visualização da forma da distribuição dos dados e também a percepção da localização do valor central e da dispersão dos dados em torno deste valor central.

Tabela 4.3: Frequência de distribuição de dados, Exemplo 9.1.

Intervalo	Limites	Frequência
1	$9,0 \leq x < 9,2$	1
2	$9,2 \leq x < 9,4$	6
3	$9,4 \leq x < 9,6$	6
4	$9,6 \leq x < 9,8$	13
5	$9,8 \leq x < 10$	15
6	$10 \leq x < 10,2$	11
7	$10,2 \leq x < 10,4$	6
8	$10,4 \leq x < 10,6$	3
9	$10,6 \leq x < 10,8$	2
		Total = 63

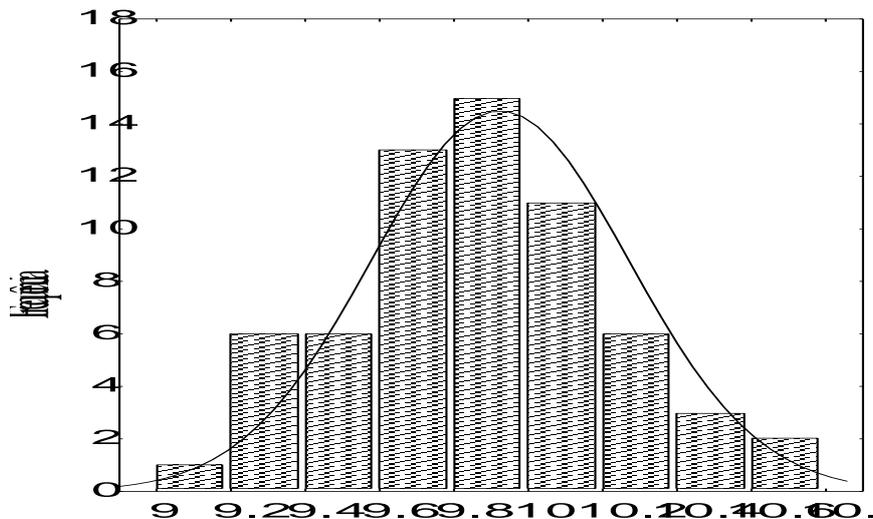


Figura 4.14 - Histograma, Exemplo 9.1.

Na maioria das situações também será necessário dispor de um sumário dos dados sob a forma numérica. As principais medidas utilizadas para quantificar a locação (onde se localiza o centro da distribuição dos dados) e a variabilidade (dispersão dos dados em torno do centro) são medidas de locação e de variabilidade (Costa et al, 2004).

### 1.1.6 Diagrama de Dispersão

O Diagrama de Dispersão é um gráfico utilizado para a visualização do tipo de relacionamento existente entre duas variáveis. De um modo geral, gráficos de dispersão são usados para relacionar causa e efeito, como por exemplo, o relacionamento entre velocidade de corte e rugosidade superficial em um processo de usinagem, composição de material e dureza, intensidade de iluminação de um ambiente e erros em inspeção visual, etc. Entretanto, em algumas situações pode ser de interesse a identificação da relação entre dois efeitos, como temperatura de corte e rugosidade superficial. Ainda, gráficos de dispersão entre duas causas podem ser úteis para facilitar o entendimento dos tipos de relações existentes entre as variáveis associadas a um processo contribui para aumentar a eficiência dos métodos de controle do processo, para facilitar a detecção de possíveis problemas e para o planejamento das ações de melhoria a serem adotadas.

Alguns padrões de relacionamento entre duas variáveis são:

- relação positiva: o aumento de uma variável leva a um aumento da outra (Figura 4.15a);
- relação negativa: o aumento de uma variável leva à diminuição da outra variável (Figura 4.15b);
- relação inexistente: a variação de uma variável não leva à uma variação sistemática da outra variável (Figura 4.15c).

Para a construção de um diagrama de dispersão devem ser coletadas pelo menos 30 pares de observações ( $x$ ,  $y$ ) das variáveis cujo tipo de relacionamento será estudado. A variável registrada no eixo horizontal deve ser aquela que, por algum motivo, é considerada preditora da outra variável, a qual será plotada no eixo vertical  $y$ . A escolha das escalas das variáveis no gráfico deve ser a mais adequada para permitir uma fácil visualização do padrão de dispersão dos pontos. Deve-se acrescentar que a observação de um diagrama de dispersão, com o objetivo de descobrir se existe ou não uma correlação entre as duas variáveis de interesse, depende muito dos intervalos de variação das variáveis. Para diferentes intervalos de variação, os resultados encontrados podem não ser os mesmos.

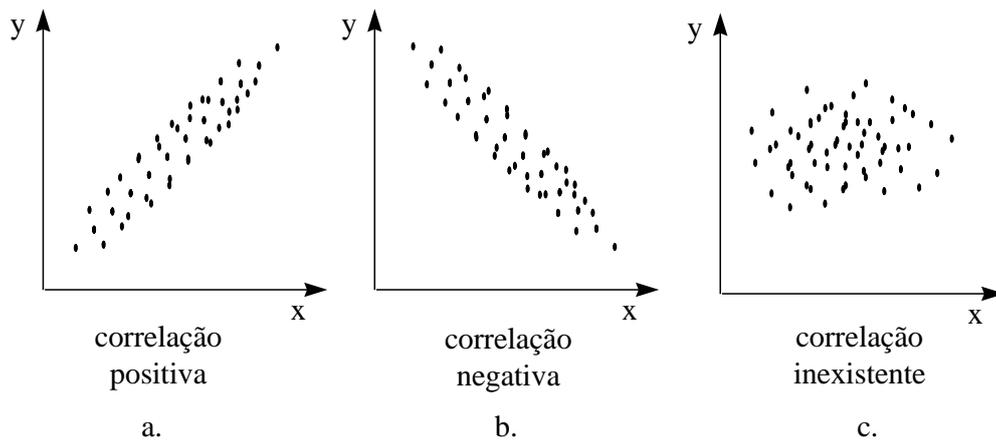


Figura 4.15 - Diagrama de dispersão: correlação positiva (a), negativa (b) e inexistente (c).

Quando da análise do diagrama, deve-se primeiramente verificar se não existem pontos atípicos (*outliers*). Um *outliers* é uma observação extrema, que não é condizente com o restante da massa de dados. Os *outliers* podem ser decorrentes de registro incorreto dos dados ou presença de algum defeito no instrumento de medição utilizado. Nestes casos os *outliers* devem ser corrigidos, se isto for possível, ou então deve ser eliminado do conjunto de dados.

Por outro lado, os *outliers* também podem representar observações não usuais, mas perfeitamente plausíveis de ocorrerem na massa de dados. Quando isto acontece, os *outliers* podem fornecer informações importantes sobre o processo que está sendo analisado, como no caso em que o *outlier* ocorre como resultado da atuação de alguma variável que não estava sendo considerada. A identificação de *outliers* e a análise das causas que levaram ao seu aparecimento podem, portanto, resultar em melhorias no processo ou em um novo conhecimento sobre a forma de atuação de fatores cujos efeitos na variável resposta  $y$  ainda eram desconhecidos. Por este motivo, os *outliers* devem ser eliminados do conjunto de dados somente quando existir uma forte evidência de que eles resultaram de um erro de registro, de medição ou de cálculo, do funcionamento inadequado de algum equipamento ou de outras circunstâncias similares.

Quando existirem um ou mais fatores de estratificação envolvidos no estudo realizado, importantes informações podem ser obtidas a partir de uma diagrama de dispersão se os diferentes níveis destes fatores forem identificados. Portanto, em muitos

casos a estratificação dos dados para a construção pode permitir a descoberta da causa de um problema.

Após a construção do diagrama de dispersão, se uma relação linear se configura, estaremos interessados em conhecer a intensidade da relação linear entre estas variáveis em termos quantitativos. Para isso, o coeficiente de correlação linear,  $r$ , é usado, conforme apresentado na seção 8.6:

$$r = \frac{S_{xy}}{\sqrt{S_{xx} \times S_{yy}}},$$

onde:

$$S_{xx} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 = \sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{1}{n} \left( \sum_{i=1}^n x_i \right)^2$$

$$S_{yy} = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 = \sum_{i=1}^n y_i^2 - \frac{1}{n} \left( \sum_{i=1}^n y_i \right)^2$$

$$S_{xy} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) = \sum_{i=1}^n x_i y_i - \frac{1}{n} \left( \sum_{i=1}^n x_i \right) \left( \sum_{i=1}^n y_i \right)$$

O valor de  $r$  varia dentro do intervalo  $-1 \leq r \leq 1$ . Valores de  $r$  próximos de 1 indicam uma forte correlação linear positiva entre  $x$  e  $y$ . Quando  $|r| = 1$ , os pontos estarão sobre uma linha reta. Valores de  $r$  próximos de 0 indicam uma fraca correlação.

### 1.1.7 Gráficos de Controle

O objetivo do uso de gráficos de controle em controle da qualidade de processos é garantir que o processo opere na sua melhor condição. Suponha um processo de usinagem de um eixo, em que, periodicamente, é feita a medição da dimensão do diâmetro externo de um conjunto de 5 eixos (amostra) fabricados consecutivamente, conforme ilustrado na Tabela 4.2 para três amostras colhidas em intervalos de meia hora.

Tabela 4.2: Amostras do resultado de um processo.

Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
0.63	0.66	0.64
0.64	0.64	0.63
0.64	0.65	0.65
0.62	0.65	0.64
0.67	0.67	0.64

$\bar{X} = 0.64$	$\bar{X} = 0.654$	$\bar{X} = 0.64$
$R = 0.05$	$R = 0.03$	$R = 0.02$

---

As comparações das médias de amostra para amostra e das amplitude (diferença entre máximo e mínimo) de amostra para amostra indicam como o processo está variando. Quando um processo está em controle estatístico, ou seja quando apenas causas crônicas de variabilidade estão presentes, o resultado do processo, conforme ele evolui no tempo, deve se distribuir aleatoriamente segundo um padrão de distribuição Normal, variando dentro de limites previsíveis em torno de um ponto central. Assim, quando registramos a média e a amplitude das amostras em gráficos cujos limites e linha central correspondam ao modelo estatístico de variabilidade da média e da amplitude da amostra, os pontos no gráfico devem se distribuir aleatoriamente em torno da linha central e dentro dos limites definidos, como ilustrado na Figura 4.16a. De outro modo, quando o processo não se encontra em controle estatístico, ou seja, quando causas esporádicas, além das causas crônicas estão interferindo na estabilidade do processo, a distribuição dos pontos no gráfico apresentará pontos fora dos limites do gráfico ou com uma distribuição não aleatória, como ilustrado na Figura 4.16b, indicando que algum problema presente está causando uma piora da qualidade do resultado do processo.

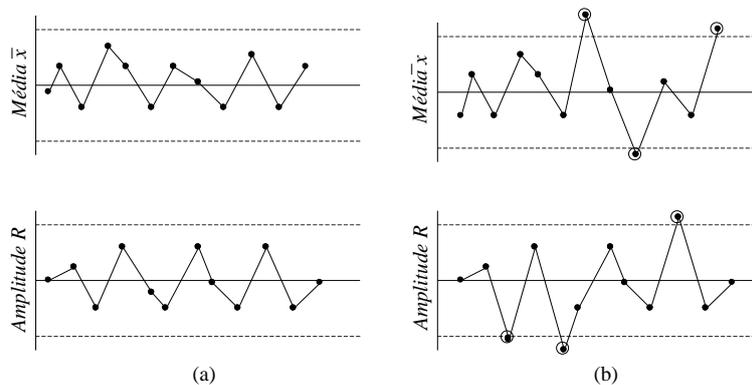


Figura 4.16 - Ilustração dos gráficos da média e da amplitude.

Portanto, a situação considerada ilustra a utilização dos gráficos de média e amplitude de variáveis, que será visto em detalhes no próximo capítulo. Ou seja, durante operação normal, o processo deve se comportar de modo que os resultados caiam dentro dos limites de variação previstos. Se o resultado do processo passa a cair

fora desses limites, isto é um indicativo da presença de problemas que estão tirando o processo da sua melhor condição, e portanto o processo passa a ser antieconômico e de pior qualidade.

Gráficos de controle serão tratados em mais detalhes no capítulo 8.

## 1.2 Ferramentas Gerenciais da Qualidade

### 1.2.1 4.2.1 Diagrama de Relações

Essa ferramenta tem por objetivo estabelecer relações de causalidade entre diferentes fatores. Ela se constitui em um mapa de relações de cause e efeito entre o efeito indesejável em estudo e as suas causas fundamentais. É normalmente usada para levantamento de possíveis causas raízes de um problema, na fase de análise de um processo de melhoria. O diagrama de relações pode ser usado como uma alternativa ou um complemento ao diagrama espinha de peixe, já que ele mostra de forma mais clara as relações de causa e efeito. A figura 4.17 ilustra a aplicação dessa ferramenta para análise das possíveis causas do mesmo problema abordado pelo diagrama espinha de peixe ilustrado na figura 4.11. Diferentemente do diagrama espinha de peixe, uma causa relacionada à falta de treinamento pode levar à uma causa relacionada à método de trabalho inadequado. Além disso, o diagrama ilustra mais claramente cadeias de relacionamentos de causa e efeito.

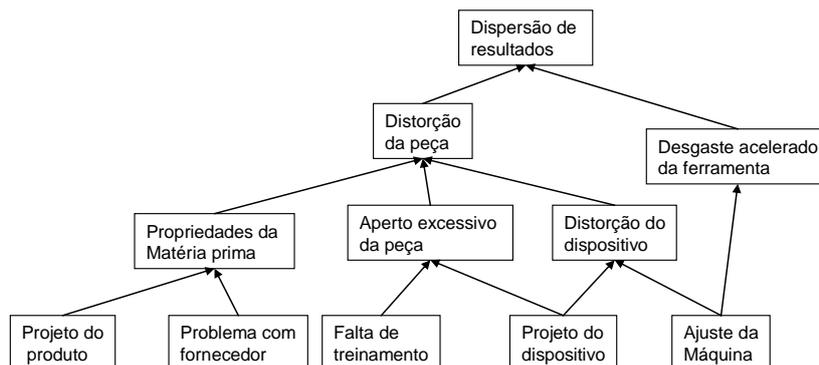


Figura 4.17 – Diagrama de relações de causa e efeito.

A relação de causa e efeito entre dois fatores pode depender da existência de outro fator. Por exemplo, na figura 4.18, o tempo de set up alto é uma causa de baixa produtividade porque existe uma combinação de dois fatores: uma grande diversidade de produtos produzidos na mesma linha e inexistência de troca rápida de ferramenta.

Portanto a eliminação de apenas um desses fatores (diminuição da variedade de produtos na mesma linha ou utilização de troca rápida de ferramenta) causa a eliminação do efeito ou problema. Esse efeito condicionado à existência de dois fatores é indicado no diagrama pela união das duas setas de relacionamento.

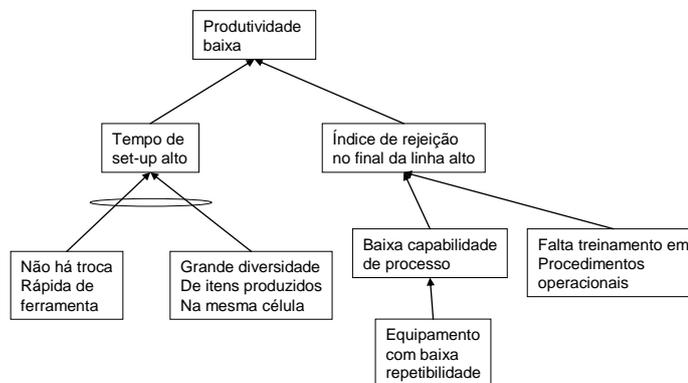


Figura 4-18: Diagrama de relações com efeito condicionado à existência de duas causas simultâneas.

A elaboração desse diagrama segue o mesmo processo de elaboração de um diagrama espinha de peixe. *Brainstorming* para levantamento de idéias para identificação dos fatores e das relações entre eles. No processo de levantamento de idéias para identificação de fatores, é comum haver certa sobreposição ou semelhança entre duas ou mais opiniões sobre fatores, causas ou efeitos. Em alguns casos, está-se referindo à mesma coisa, apenas verbalizado ou fraseado de forma diferente. Nessas situações, é importante que haja um trabalho de síntese de forma a evitar duplicidades e garantir assim a concisão e precisão das relações de causa e efeito.

Outro ponto importante para melhorar a construção e leitura do diagrama de relações é agrupar os fatores semelhantes, relacionado a um mesmo tema, processo ou atividade. Nessa e em outras situações semelhantes, uma ferramenta útil é o diagrama de afinidades, comentado a seguir.

### 1.2.2 4.2.2 Diagrama de Afinidades

O diagrama de afinidades agrupa idéias semelhantes relacionadas a um tema. Com esse processo, elimina-se redundâncias, ajuda a identificar lacunas no processo de levantamento de idéias e conseqüentemente ajuda a compreender melhor um fenômeno.

A figura 4.19 ilustra dois diagramas, agrupando fatores relacionados à PCP e manutenção.

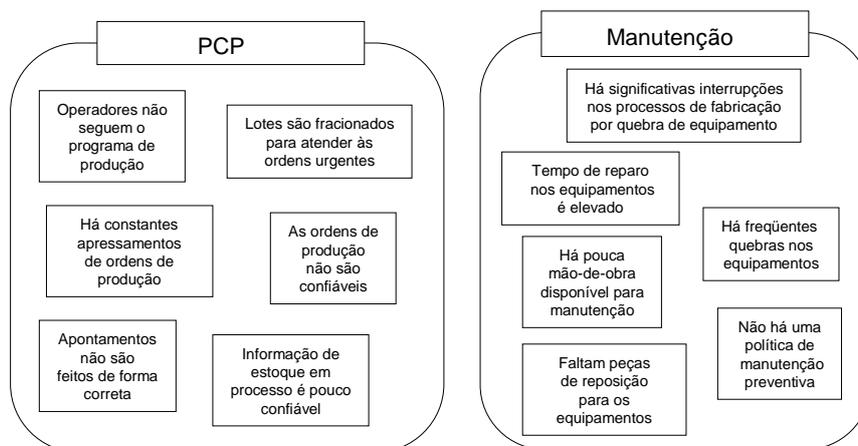


Figura 4.19 – Diagrama de afinidades agrupando fatores relacionados.

A construção de um diagrama como esse segue o mesmo processo básico de *brainstorming* para levantamento de idéias. Pode-se partir de alguns temas pré-definidos. Por exemplo, levantamento de problemas relacionados à área de compras. No entanto, a maior utilidade é forçar a equipe a identificar semelhanças entre fatores e com isso formar agrupamentos de fatores.

Esse processo de agrupamento também é útil para a construção de diagrama em árvore, apresentado a seguir.

### 1.2.3 Diagrama em Árvore

O diagrama em árvore é uma ferramenta que tem por objetivo o detalhamento ou desdobramento de uma ação ou atributo em níveis hierárquicos. Pode ser usada por exemplo, para desdobrar os requisitos de um produto ou para desdobrar objetivos de desempenho por diferentes áreas de uma empresa a partir de um objetivo geral de melhoria. Pode também ser usada para desdobrar atividades de um processo de desenvolvimento de produto. O diagrama em árvore também é usado para representar a estrutura de componentes de um produto (árvore de produto) ou para representar a estrutura funcional de uma organização (organograma). A figura 4.20 ilustra a utilização de um diagrama em árvore para representar o desdobramento de um requisito de produto (sapato) declarado pelo cliente. A figura 4.21 ilustra o desdobramento de um objetivo por diferentes áreas de produção. E a figura 4.22 ilustra um diagrama em árvore parcial das atividades de desenvolvimento de um produto (transmissão).

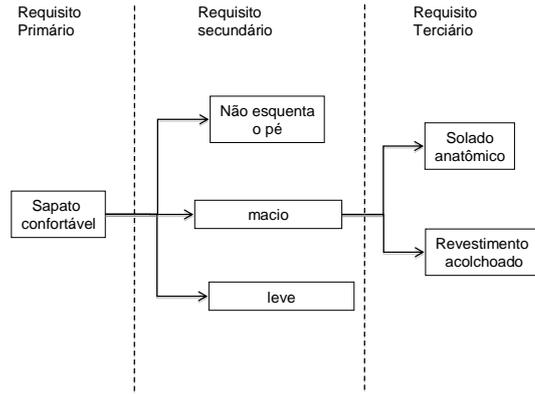


Figura 4.20 – Diagrama em árvore de requisitos de produto.

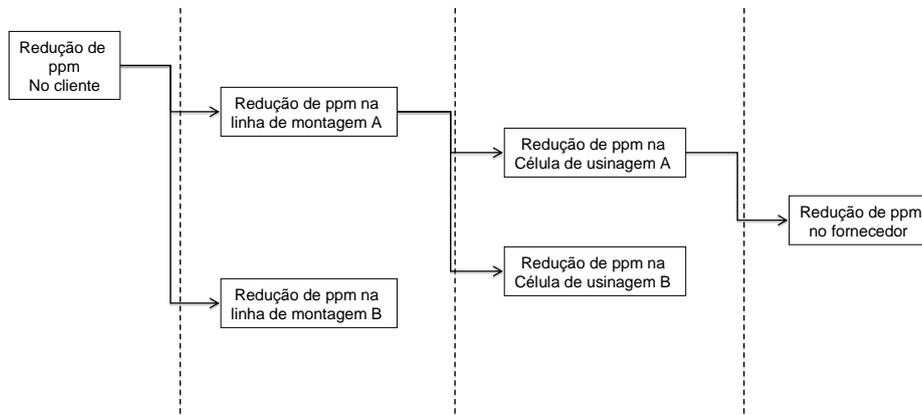


Figura 4.21 – Diagrama em árvore de desdobramento de objetivo de melhoria.

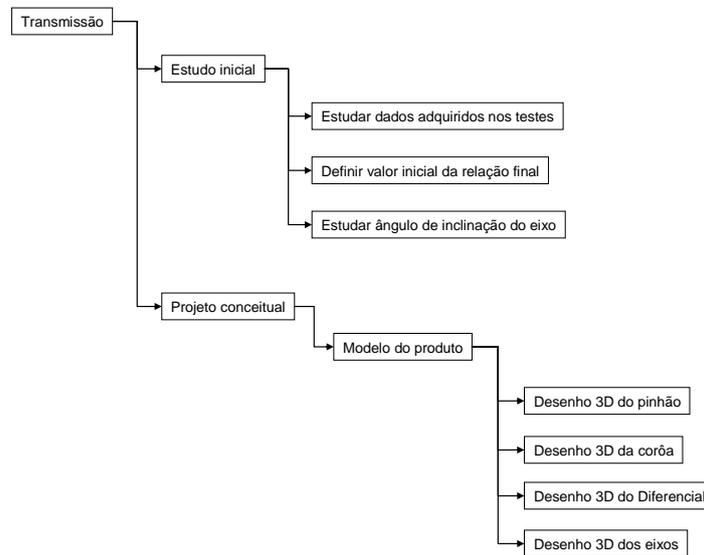


Figura 4.22 – Diagrama em árvore das atividades de desenvolvimento de um produto.

### 1.2.4 Matriz de Priorização

A matriz de priorização, como o próprio nome indica, relaciona fatores à critérios de prioridade, como ilustrado na figura 4.23. Por exemplo, pode-se priorizar uma lista de ações de melhoria baseado em critérios como redução de custos internos e melhoria da satisfação do cliente. Ou pode-se estabelecer prioridades para a eliminação ou minimização de um problema ou falha de produto baseado em notas atribuídas à critérios como severidade, ocorrência e detecção da falha, como usado no método FMEA (Fault Mode and Effect Analysis) e ilustrado na figura 4.24. Outro exemplo é a tabela de prioridades para melhoria de requisitos de produto baseado em critérios como importância para o cliente e taxa de melhoria (a partir da análise da importância para a empresa e comparação com a concorrência) como usado no método QFD e ilustrado na figura 4.25.

	GRUPO B				
	Critério 1	Critério 2	Critério 3	...	
GRUPO A	peso 1	peso 2	peso 3	...	Prioridade
Fator 1					
Fator 2					
Fator 3					
Fator 4					
...					

Figura 4.23 – Ilustração de uma matriz de priorização.

FUNÇÃO E REQUISITOS DO PROCESSO	MODO DE FALHA POTENCIAL	EFEITO POTENCIAL DE FALHA	Severidade	CAUSA / MECANISMO POTENCIAL DA FALHA	Ocorrência	CONTROLES ATUAIS DO PROCESSO	Deteção	Índice de risco
Sistema de Freio	Frenagem inoperante	acidente	10	Rompimento do cabo	5	teste por amostragem de resistência	6	<b>300</b>
			10	Quebra do manete	2	teste por amostragem de resistência	5	
			10	Desgaste da pastilha	4	teste de vida por amostragem	6	<b>240</b>
	Travamento	acidente	8	Regulagem mal realizada	4	teste de regulagem	2	80
			8	Aderência	3	teste de resistência por amostragem	6	<b>144</b>

Figura 4.24 - Matriz de priorização do método FMEA.

Requisito do Cliente		Secundário		Avaliação competitiva Clientes							
				Grau de importância (Geral)	Nossa Empresa	Empresa X	Empresa Y	Plano de Qualidade	Índice de Melhoria	Argumento de Venda	Peso Absoluto
Que não quebre	Resistência ao uso	4	3	4	4	4	1,3	1,5	9,0	22,4	
	Longo intervalo até reposição de peças	4	4	4	4	5	1,3	1	4,0	10,0	
Ser bonita	Design atraente	3	4	5	4	4	1,0	1	3,0	7,5	
	Possibilidade de escolha do design	3	3	4	5	4	1,3	1	3,0	7,5	
Fácil de transportar	Ser leve	5	2	2	4	5	2,5	1	5,0	12,4	
	Otimizar a quantidade de materiais	5	4	4	5	5	1,3	1	5,0	12,4	
Fácil operação	Mecanismos de fácil manuseio	4	4	3	3	4	1,0	1	4,0	10,0	
	Fácil manutenção	5	4	1	3	5	1,3	1,2	7,2	17,9	
									Total	40,2	100,0

Figura 4.25 – Matriz de priorização usada no método QFD.

### 1.2.5 Matriz de Relações

A matriz de relações tem por objetivo identificar a existência de relações entre variáveis. Um exemplo típico do uso da matriz de relações encontra-se na casa da qualidade do método QFD, como ilustrado na figura 4.26 e visto em mais detalhes no capítulo 5. Nesse caso, a matriz procura identificar relações de dependência entre requisitos da qualidade do produto e características de projeto do produto. Normalmente, procura-se identificar o grau de relacionamento entre as variáveis: se forte, médio ou fraco. Por exemplo, a maciez de um calçado depende de características do solado, palmilha e couro.

Requisitos do Cliente Secundário	Características da qualidade							
	Sola			Palmilha		Acabamento do couro		
	densidade	resistência ao desgaste	elasticidade	curvatura	permeabilidade	resistência à abrasão	brilho	Elasticidade
Leve	⊙							
Macio	○		○					⊙
Anatômico			○	⊙				⊙
Resistente		⊙	△			○		△
Mantém aparência de novo						⊙	⊙	

Figura 4.26 – Matriz de relações do método QFD.

A matriz de relações pode também analisar as relações de dependência entre níveis da mesma variável, ou seja co-relações. Na figura 4.27, a parte de cima da matriz explicita as relações de dependência entre características de projeto. Nesse caso, a análise procura identificar se existe uma relação conflitante entre elas. Por exemplo, a característica peso é positivamente correlacionada com a característica resistência; uma melhoria de uma leva à melhoria da outra e vice e versa.

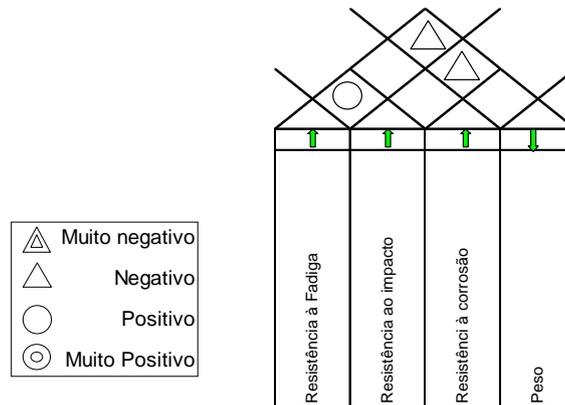


Figura 4.27 – Exemplo de matriz de correlações.

A matriz de relações tem aplicações diversas. Por exemplo, uma matriz de habilidades e competências, usadas para mapear e avaliar os funcionários de uma empresa é uma matriz de relações, em que se procura identificar a relação entre habilidades/competências e funcionários, indicando o grau de relacionamento entre elas. Ou seja, procura-se identificar quais habilidades os funcionários listados possuem e qual o nível de qualificação.

### 1.2.6 Diagrama de Processo Decisório (Process Decision Program Chart)

O diagrama de processo decisório é uma ferramenta que procura sistematizar o processo de decisão, ilustrando por meio de um diagrama em árvore o encadeamento entre as decisões tomadas e as conseqüências ou desdobramentos dessas decisões. As decisões podem se referir a explicações para um problema sendo analisado ou podem se referir a ações para se atingir um determinado objetivo. A decisão decorre de um processo de análise, em que as alternativas são identificadas e analisadas quanto à sua viabilidade e eficácia ou probabilidade de ocorrência, como ilustrado na figura 4.28. Uma aplicação do diagrama de processo decisório é a construção de uma árvore de

falhas (FTA – Fault tree analysis).

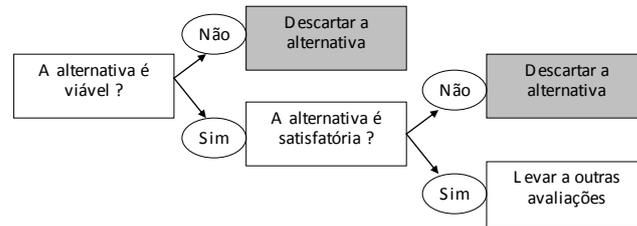


Figura 4.28 – Processo de decisão na construção de um diagrama de processo decisório.

### 1.2.7 Diagrama de Atividades (Diagrama de Setas).

O diagrama de atividades ou diagrama de setas é uma rede de precedências desenvolvida e aplicada pela técnica PERT/CPM. É usado para o planejamento das atividades para se atingir determinado objetivo, especialmente em situações onde haja um número grande de atividade com precedência sobre outras. A figura 4.29 ilustra o uso dessa ferramenta.

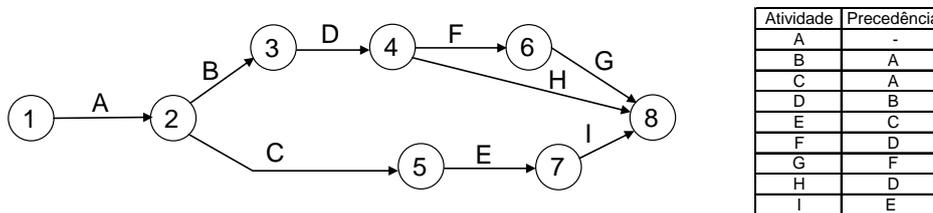


Figura 4.29 – Exemplo ilustrativo de um diagrama de setas.

### 1.3 5S

O 5S é um conjunto de conceitos e práticas que tem por objetivos principais a organização e racionalização do ambiente de trabalho. Difundido na língua inglesa como *House keeping*, o 5S surgiu no Japão na década de 50 como um programa do Controle da Qualidade Total Japonês. O nome do programa faz referência a 5 palavras japonesas iniciadas com a letra S no alfabeto ocidental: Seiri; Seiton; Seiso; Seiketsu; e Shitsuke. Os significados dessas palavras são apresentados na figura 4.30.

	JAPONÊS	PORTUGUÊS	
1º S	Seiri	Senso de	Utilização
			Arrumação
			Organização
			Seleção
2º S	Seiton	Senso de	Ordenação
			Sistematização
			Classificação
3º S	Seisou	Senso de	Limpeza
			Zelo
4º S	Seiketsu	Senso de	Asseio
			Higiene
			Saúde
			Integridade
5º S	Shitsuke	Senso de	Autodisciplina
			Educação
			Compromisso

Figura 4.30 – Significado das palavras do 5S.

A implementação do 5S é feita passo a passo, ou, melhor dizendo, S por S, conforme apresentado a seguir.

### **Primeiro Passo: Seiri (Utilização/Seleção)**

O objetivo nesta etapa é identificar e eliminar objetos e informações desnecessárias, existentes no local de trabalho. A regra geral é: selecionar o que é importante, separar ou descartar o resto. O conceito chave para essa seleção é o de utilidade.

Para evitar o descarte em definitivo de algo que depois venha a ser percebido como necessário, é prudente criar uma área de descarte, onde os objetos e/ou informações fiquem armazenados por um certo período.

O benefício mais evidente desse primeiro passo (Seiri) é a liberação de espaço; mas outro benefício é a eliminação de objetos ou dados que dificultam, atrapalham a realização das operações rotineiras.

### **Segundo Passo: Seiton (Ordenação)**

O objetivo neste segundo passo é arrumar as coisas que sobraram depois da seleção, determinando o local para achar facilmente quando precisar utilizar esse objeto ou informação, O conceito chave é o de simplificação. A figura 4.31 apresenta um quadro com algumas orientações para a disposição de objetos em função da frequência de uso deles.

<b>Frequência de Uso</b>	<b>Ordenação</b>
Se é usado toda hora	Colocar no próprio local de trabalho
Se é usado todo dia	Colocar próximo ao local de trabalho
Se é usado toda semana	Colocar no almoxarifado, etc
Se não é necessário	Descartar, disponibilizar

Figura 4.31 – Critérios para ordenação de objetos em função da frequência de uso.

Os principais benefícios do segundo passo (Seiton) são a facilidade e economia de tempo para encontrar documentos, materiais, ferramentas e outros objetos.

### **Terceiro Passo: Seiso (Limpeza)**

Após a eliminação de itens desnecessários e ordenação dos itens necessários, neste passo o objetivo principal é analisar as rotinas de trabalho que geram sujeira e criar regras para a limpeza da sujeira. Essa limpeza inclui limpeza de equipamentos e locais adjacentes. Mais do que limpar, o objetivo é criar uma cultura de zelo pelos equipamentos e ambientes utilizados.

### **Quarto Passo: Seiketsu (Saúde):**

Neste quarto passo, apesar de o 5S fazer referência ao senso de saúde, física e mental, na prática, o programa de 5S também tem como o objetivo a padronização do ambiente de trabalho construído a partir dos passos anteriores.

### **Quinto Passo: Shitsuke (Auto-disciplina)**

Por fim, no último passo o objetivo é manter a casa em ordem, com o cumprimento dos padrões definidos nos passos anteriores. A regra é fazer as coisas como devem ser feitas.

Os principais benefícios esperados com o 5S são a melhoria do ambiente de trabalho, a redução de desperdícios e a melhoria da produtividade, já que deve haver uma redução de tempos improdutivo. Outro possível benefício bastante relevante é a melhoria da saúde e segurança no trabalho.

O 5S é um programa conceitualmente muito simples, mas de difícil implementação e manutenção. Muitas empresas iniciam o 5S pelo descarte, arrumação e limpeza, mas não conseguem manter o padrão. Um recurso usado por algumas empresas que mantém um programa 5S ativo é a utilização de algum critério de premiação ou

penalização das equipes responsáveis pela manutenção do programa em determinadas áreas.

### **Leitura Complementar**

CAMPOS, V. F. (2004) Gerenciamento da rotina do trabalho do dia a dia. INDG.

GODOY, M. H. P. C. E MATOS, K. K. (2004) Trabalhando com o 5S. INDG.

ISHIKAWA, K. (1988) Guide to quality control. Tokio:Asian Productivity Corporation.

JURAN, J. M. & GRYNA, F. M.(1991) Controle de qualidade handbook. São Paulo, McGrawHill. 2v.

MIGUEL, P. A. C. (1999) Qualidade: enfoque e ferramentas. Artliber.