

Capítulo 10

Tecnologia --- e projetos ---

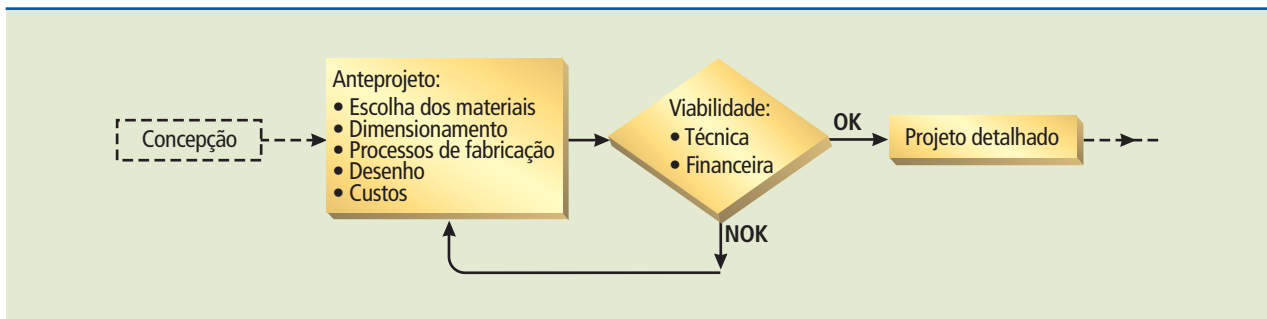


projeto vai dar um fechamento a todas as disciplinas estudadas e possibilitar ao técnico de nível médio aplicar os conhecimentos aprendidos, desde o estudo da resistência dos materiais, o dimensionamento de estruturas e elementos de máquinas, até a seleção de materiais, a definição dos processos de fabricação etc.

A figura 10.1 mostra de forma simplificada a fase de início do projeto, após a concepção; em seguida, o anteprojetado, que passa necessariamente pelo estudo de viabilidade técnica e financeira; o detalhamento e, por fim, a produção.

Figura 10.1
Diagrama do processo de produção.

O técnico de nível médio que tiver a oportunidade de percorrer direta ou indiretamente todas as fases estará apto a seguir uma brilhante carreira, passando depois para os aspectos de gestão e relacionamento.



10.1 Definições de projeto

Na literatura há muitas definições de projeto. As mais comuns o definem como atividade planejada para realizar um produto ou serviço.

Na indústria, projetos são necessários ao desenvolvimento de novas máquinas, equipamentos e componentes, além de dispositivos usados na fabricação e controle de peças.

Trata-se de uma atividade que envolve conhecimentos multidisciplinares, ou seja, de Matemática, Física, Química, Mecânica, Termodinâmica, Mecânica dos fluidos, Eletrotécnica e de tecnologia de produção, ciência dos materiais e ciência do projeto, além de experiência no campo a ser trabalhado.

De acordo com a norma ISO 10006:2003, “projeto é um processo único, consistindo de um grupo de atividades coordenadas, com datas de início e fim, empreendido para alcance de um objetivo conforme requisitos específicos, incluindo limitações de tempo, custo e recursos”.

O Project Management Institute (PMI), organização norte-americana de gerenciamento de projetos, define projeto como “um empreendimento temporário, planejado, executado e controlado com o objetivo de criar um produto ou serviço único”.

Então, quando fazemos algo fora do cotidiano, como ir ao cinema, ao estádio de futebol ou à Feira da Mecânica, realizamos um projeto. O projeto requer planejamento e cuidado para garantir, o mais acertadamente possível, seu êxito.

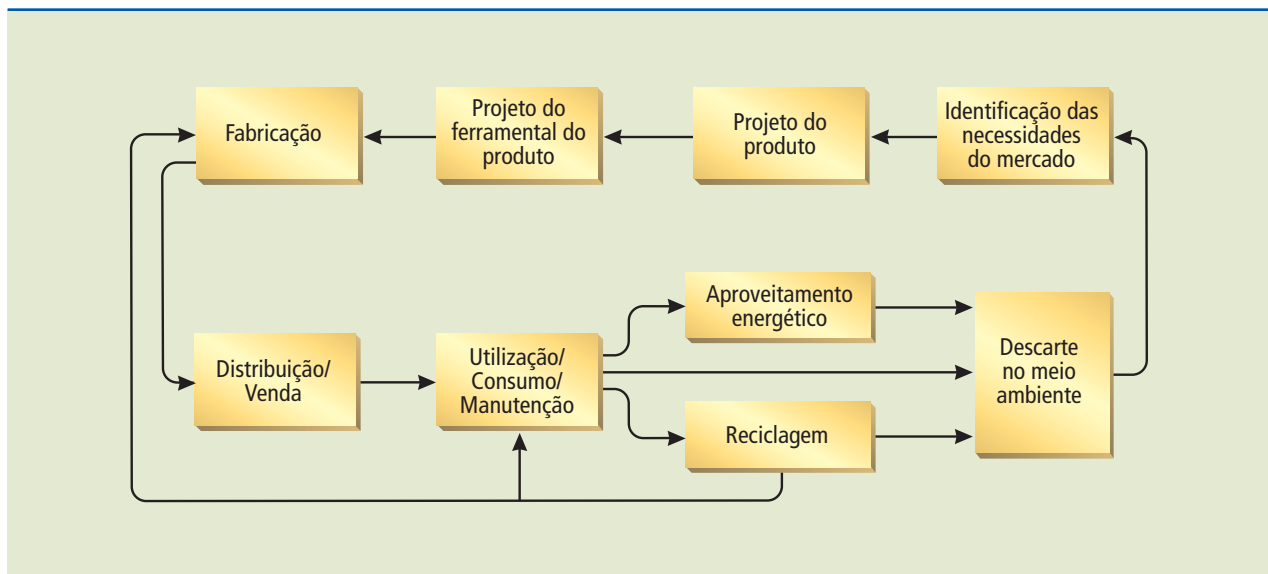
10.2 Ciclo de vida do projeto

Todo projeto é uma atividade intelectual que precisa ser planejada e elaborada de acordo com conhecimentos básicos e tecnológicos. Pode ser uma oportunidade de aperfeiçoar processos eliminando fatores conflitantes cujos requisitos variam em função do tempo.

O projeto faz parte do ciclo de vida dedicada ao desenvolvimento de um novo produto ou à implantação de melhoria em um produto existente, com base na necessidade do consumidor. O ciclo de vida do produto inicia-se com a identificação da necessidade do mercado e passa pelo projeto do produto, pela fabricação, distribuição, utilização, reciclagem e descarte. A figura 10.2 representa o fluxo de desenvolvimento do produto.

Figura 10.2

Diagrama do processo de produção.



Considerado exclusivamente como atividade de geração de um novo produto ou serviço, o projeto pode ser representado com uma curva de vida composta das seguintes etapas: iniciação, planejamento, execução e encerramento (figura 10.3).

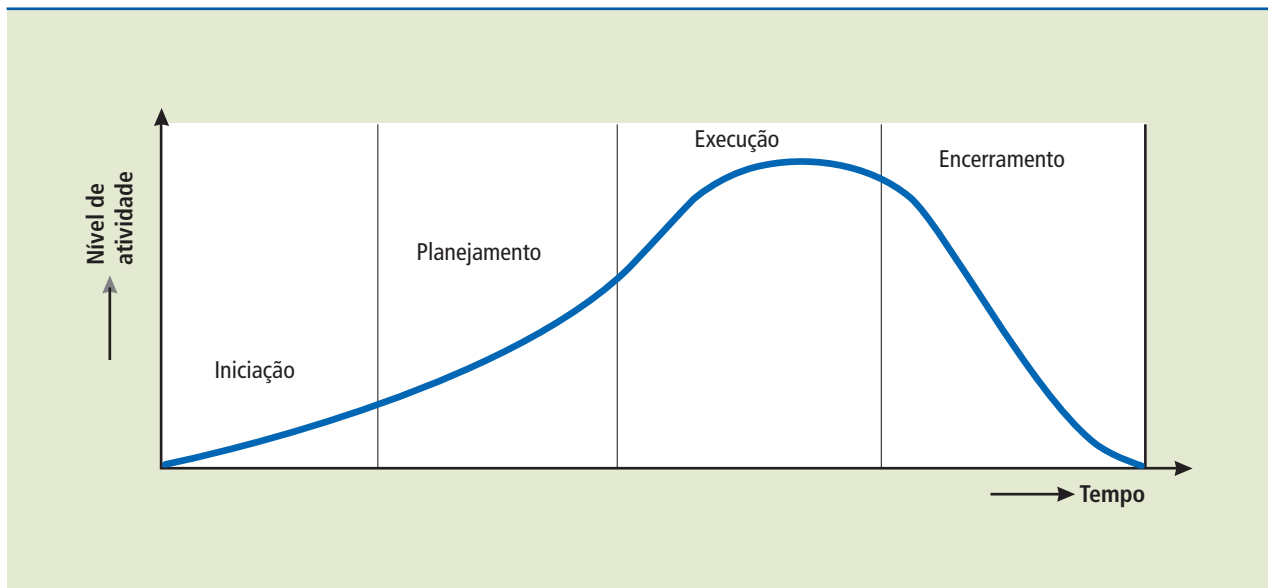


Figura 10.3
Curva de vida de
um projeto.

10.2.1 Iniciação

A **iniciação** é a fase de preparação do projeto. Os estudos são dedicados à identificação das necessidades, determinação dos objetivos e análise dos recursos. Envolve, também, o estudo da viabilidade técnica e apresentação de um pré-projeto com croquis (XAVIER, 2005).

10.2.2 Planejamento

O **planejamento** envolve a declaração de escopo, a estrutura (consideradas as peças principais e os componentes), o ferramental necessário, o cronograma de execução e o orçamento. Nessa fase também se deve indicar quem vai trabalhar no projeto e quem vai assumir a responsabilidade pelo andamento das atividades.

10.2.3 Execução

A outra fase importante é a **execução** do projeto. Tudo o que foi planejado deve ser colocado em prática. Muitas alterações podem ocorrer durante a fabricação, com o objetivo de melhorar o produto ou o modo de fazê-lo. O cronograma, os recursos necessários e os gastos efetivos de fabricação podem e devem ser ajustados.

10.2.4 Encerramento

O **encerramento** é a fase em que todo o conhecimento sobre o projeto deve ser guardado. Esse material servirá de base à evolução para um novo projeto, no futuro. O encerramento deve ser anunciado a todos os envolvidos. Documentos (desenhos, folhas de processos) devem ser organizados e guardados para provas futuras em casos de manutenção, análises de falhas e necessidades de alterações no projeto atual ou em projeto futuro.

10.3 Tipos de projetos

Quando um produto tem boa aceitação no mercado, os projetistas o usam como referência para lançar produtos novos. BACK (1983) estabelece a seguinte classificação: projetos por evolução e projetos por inovação.

10.3.1 Projeto por evolução

Esse tipo de projeto ocorre quando existe a possibilidade de melhorias no modelo que vem depois. Assim, um novo produto apresenta menor possibilidade de falhas porque foi feito tomando como referência o projeto anterior. Na indústria automobilística, o projeto dos novos modelos de veículos baseia-se nos projetos anteriores. É perceptível a mudança entre eles.

10.3.2 Projeto por inovação

É caracterizado pelas mudanças baseadas em novas descobertas científicas. Novos conhecimentos técnicos são agregados, implicando o rompimento quase completo com as práticas tradicionais. Novos conhecimentos geram novos projetos com base em ideias ainda não experimentadas. Dependendo do grau de inovação, a complexidade da tecnologia leva a resultados não plenamente conhecidos, com risco de erros e dificuldade de análise. Em termos organizacionais, a inovação provoca um salto tecnológico. Exemplos de inovação: a criação do contêiner no começo do século XX e o surgimento da imprensa, no século XV.

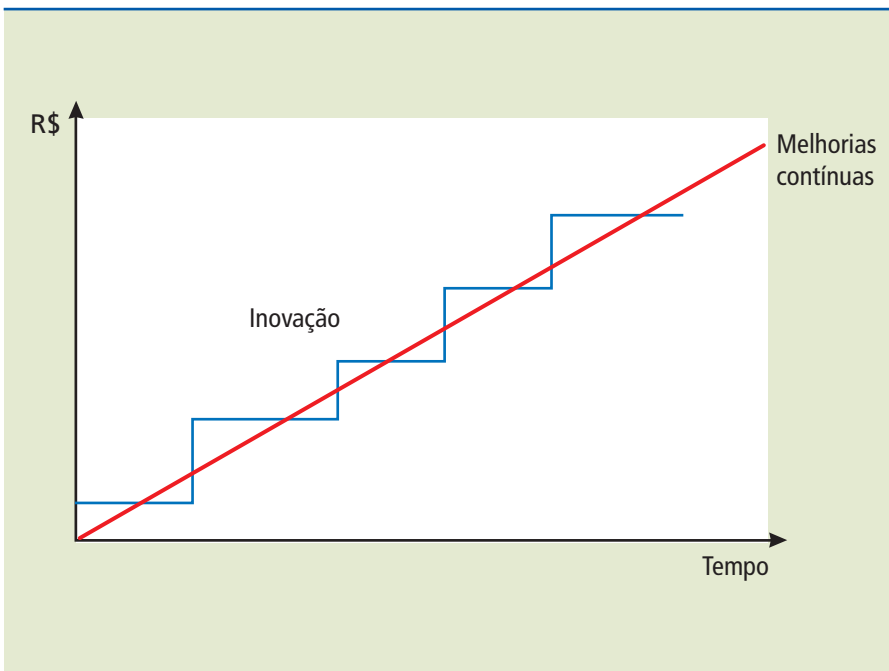


Figura 10.4

Gráfico de investimento em função do tempo resultando em inovação e melhorias contínuas.

Na manufatura, o modelo por inovação implementa mudanças radicais, aos saltos, com investimentos maiores e mudanças de paradigmas.

10.4 Projetos de produtos industriais

BACK (1983) apresenta uma visão mais ampla em sua análise do projeto industrial. A realização de um projeto industrial passa por diferentes fases com as seguintes finalidades:

- verificar o interesse pelo projeto;
- desenvolver pré-projeto;
- desenvolver projeto detalhado;
- realizar testes e revisão;
- planejar o trabalho da produção;
- planejar a logística;
- planejar o consumo e a manutenção;
- planejar a obsolescência e os impactos ambientais.

10.4.1 Interesse pelo projeto

O estudo de interesse parte de um estudo real ou de uma hipótese sobre a necessidade do projeto. O estudo real se baseia na pesquisa de mercado, sobre o interesse do consumidor, ou em um problema que precisa ser resolvido. A hipótese pode originar-se na mente de alguém como resposta a um acontecimento não esperado ou como resultado de um avanço científico, tecnológico ou econômico, sem a participação efetiva do consumidor. Por exemplo, o lançamento de um novo tipo de cerveja nem sempre passa pela pesquisa de interesse do consumidor. Esse estudo inicial levanta possibilidades, baseadas em criatividade ou em necessidade do consumidor. Pode ser denominado concepção.

10.4.2 Pré-projeto ou anteprojeto

Nessa fase define-se a melhor alternativa de projeto a ser fabricado e quais parâmetros devem ser controlados. Pontos críticos são estudados, tais como o comportamento do produto no tempo, a disponibilidade de matéria-prima e outros recursos ao longo do tempo, a vida útil do produto sob circunstâncias de trabalho e solicitação e se ele permite evolução.

No pré-projeto, o croqui pode ajudar a definir a forma, o tamanho e outras características básicas do produto. Normalmente, antes do detalhamento do projeto, é desenvolvido o estudo de viabilidade técnica e financeira e, se necessário, feitos ajustes. Ou, então, se o projeto deve ser concluído, se requer mais recursos ou se deve ser adiado para uma oportunidade futura, com mais consistência tecnológica e novas pesquisas.

10.4.3 Projeto detalhado

O projeto detalhado parte do pré-projeto, passa pelo estudo de viabilidade e explora conceitos de engenharia. As dimensões são calculadas, o desgaste é considerado, as partes são detalhadas, tolerâncias são estabelecidas etc. Nessa fase, amadurece-se o conceito sobre o projeto, reconhecem-se os componentes, as dimensões e as tolerâncias e se detalham os processos de fabricação.



10.4.4 Testes e revisão

Verificações e testes experimentais são constantes, com a finalidade de entender o comportamento dos componentes e perceber seu desempenho. Quase em paralelo ao desenvolvimento do projeto detalhado ocorre a fabricação de protótipos e modelos experimentais para verificar comportamentos e provar cálculos ainda não testados. Testes de laboratório e de campo servem para verificar os processos, as solicitações em regime de trabalho e as necessidades de informações para as revisões e projetos futuros.

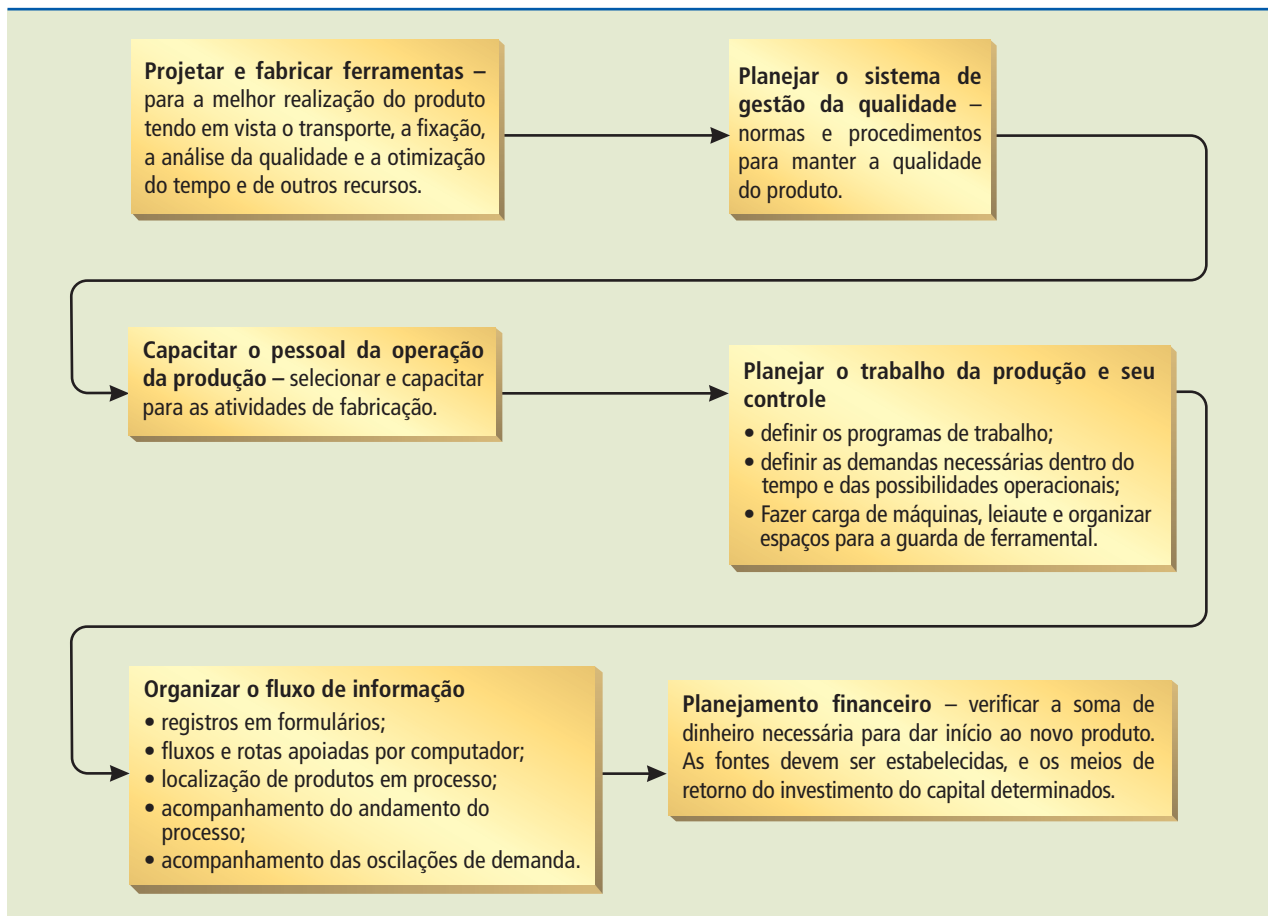
Projetos mais recentes podem ter tempo reduzido com a utilização de simuladores em computadores ou banco de testes, antecipando a colocação do produto no mercado ou alterando pós-projeto, se necessário. Esse procedimento permite a fabricação dos componentes já desenhados enquanto outros ainda estão sendo projetados, reduzindo o tempo de lançamento no mercado. Muitos projetos sofrem revisões durante sua concepção e outros são modificados com base na resposta do consumidor durante seu uso.

Após a conclusão dos testes, os resultados são registrados e homologados, o produto está liberado para fabricação em série e comercialização.

10.4.5 Planejamento do processo produtivo

Figura 10.5

Fluxograma de planejamento de produção.



O planejamento da produção estende a responsabilidade do projetista para as demais áreas da fábrica. A decisão sobre a produção de determinado produto envolve compromisso econômico, responsabilidade técnica e administrativa, envolvimento com a organização fabril e processo de decisão.

O projeto requer o planejamento da produção para que seja possível fabricar o produto desejado de forma organizada. Antes da fabricação é necessário realizar as atividades conforme o fluxograma da figura 10.5.

10.4.6 Estudos de logística

Os requisitos da logística podem influenciar profundamente o projeto. O objetivo dessa fase é planejar um sistema eficiente e flexível de distribuição dos bens projetados. Inclui o projeto da embalagem, do sistema de armazenagem, das atividades de promoção e da satisfação do cliente (BACK, 1983).

Projeto da embalagem

Essa fase prevê as seguintes ações:

- pensar a forma exterior do produto para gerar economia de embalagem;
- analisar necessidade de embalagens individuais e especiais para maior proteção contra choques e mau tempo;
- projetar estrutura e pontos de içamento para a movimentação e transporte com ganchos, correias e empilhadeiras.

Sistema de armazenagem

Determinar locais economicamente favoráveis para armazéns, instalações e forma de distribuição dos produtos.

Marketing e vendas

As ações de *marketing* e vendas pressupõem:

- desenvolver panfletos técnicos de vendas com informações de projeto e dados de testes;
- atender as necessidades do cliente;
- projetar o produto prevendo o período e a forma de condicionamento e exposição para venda;
- considerar a possibilidade de adições modulares posteriores com a finalidade de atender o gosto do cliente na ampliação da capacidade do produto.

10.4.7 Planejamento do consumo

Inicialmente, deve ser feita uma previsão da demanda, pois a influência do consumo pode ser muito grande no projeto do produto, por definir a escala de produção. É fundamental acompanhar a evolução e a forma como o produto vai ser consumido, os aspectos de serviço e detalhes importantes para aperfeiçoar o

projeto futuro, de modo a torná-lo mais eficiente. O projeto deve incluir aspectos relacionados à manutenção, à confiança inspirada pelo produto, segurança, utilização, estética, economia e vida útil.

10.4.8 Obsolescência e impactos ambientais

Certos produtos como automóveis e celulares são projetados para ter vida determinada. O consumidor tem necessidade de trocá-los periodicamente. Na fase de projeto, determinar a obsolescência é muito complexo. O desenvolvimento tecnológico exerce pressão sobre o projetista e também acelera o processo de envelhecimento dos bens de consumo. Outros fatores também podem influenciar o projeto, tais como a mudança da moda (caso de roupas), a diversidade cultural ou as preocupações ambientais. Neste ponto convém lembrar que acelerar uma mudança sem aperfeiçoamento tecnológico pode provocar questionamentos éticos. O correto seria projetar algo para ser substituído à medida que se torne tecnologicamente obsoleto.

Usualmente, os elementos que contribuem para uma vida mais longa são também essenciais para a manutenção e segurança adequadas. O projetista deve desenvolver o projeto com o objetivo de:

- melhorar a vida útil do produto;
- reduzir a obsolescência implementando inovações tecnológicas;
- permitir a reutilização do produto em aplicações diversas;
- permitir a recuperação e reciclagem dos componentes utilizados na fabricação;
- antecipar os impactos ambientais examinando, testando e pesquisando novos materiais a fim de gerar produtos biodegradáveis.

10.5 Evolução da mão de obra no desenvolvimento de projetos industriais

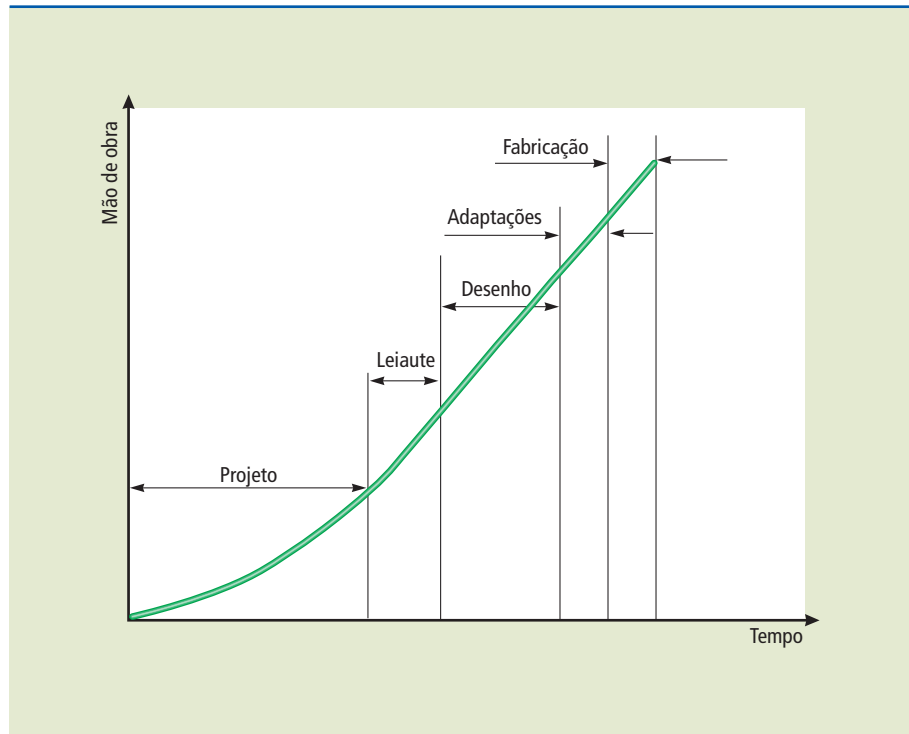
Nos projetos industriais, a quantidade de mão de obra aumenta à medida que as diferentes fases do projeto são realizadas. O crescimento da mão de obra no projeto é apresentado no gráfico da figura 10.6.

Até a fabricação do primeiro lote de produto, com a aprovação da qualidade e homologação final, a maior parte do tempo se consome no planejamento. A fabricação resume-se em um esforço menor, quando o projeto está completo e realizável.

Com o auxílio do computador e de *softwares* de desenho assistido por computador, a elaboração do projeto tornou-se mais rápida, sendo possível desenvolver produtos em tempo bem menor. Apesar da necessidade de melhor qualificação, a quantidade de mão de obra empregada com a utilização de computadores é bem menor hoje, comparativamente àquela empregada nos projetos desenvolvidos em pranchetas de desenho em meados da década de 1980.

Figura 10.6

Diagrama das necessidades de mão de obra.



10.5.1 Engenharia simultânea

Na década de 1970, nenhuma peça era construída antes que todo o projeto tivesse sido calculado e desenhado. A engenharia de produto desenvolvia todo o projeto e só depois passava os desenhos para a engenharia de fabricação. A fabricação só era iniciada após a liberação do projeto pela engenharia de produto. Isso demandava muito tempo para lançar um novo produto no mercado.

No ambiente mais competitivo do século XXI, o lançamento de um produto precisa ser rápido e exige empenho simultâneo da engenharia, do pessoal de projeto e da fabricação. Os primeiros desenhos elaborados seguem para a fabricação do protótipo, e as áreas trabalham simultaneamente para produzir um lançamento em menor tempo. Com isso, o tempo entre um lançamento e outro diminui e o consumidor recebe novidades mais rapidamente. Com a concorrência acirrada, o consumidor é assediado com novidades e as empresas precisam ser ágeis.

A engenharia simultânea reduziu o tempo de lançamento, mas alguns produtos acabaram por ser corrigidos no campo, pela prática do *recall*, quando o consumidor é chamado pelo fabricante para substituir a peça ou o produto com defeito.

10.6 Recursos para desenvolvimento do projeto

O desenvolvimento de projetos requer o empenho de pessoas habilitadas munidas de “ferramentas” modernas e adequadas, com foco, empenho e precisão.

A motivação, a criatividade e a capacidade de resolução de problemas são características fundamentais da equipe de trabalho.

10.6.1 A equipe do projeto

Nas organizações modernas, equipes realizam os projetos industriais, que podem ser feitos internamente ou ter algumas atividades terceirizadas, como o desenho do produto por empresas especializadas na confecção de projeto apoiado por computador (AutoCAD, SolidWorks etc.). O conhecimento sobre o projeto completo normalmente não é repassado para a empresa terceirizada.

Em geral, as equipes de projeto, compostas por profissionais experientes, se caracterizam por:

- apresentarem melhor desempenho quando realizam tarefas que exigem experiências e habilidades múltiplas;
- se preocuparem com o desempenho coletivo do trabalho;
- se responsabilizarem por suas contribuições e desempenhos, tanto individual quanto coletivamente;
- possuírem alto grau de sinergia que combina e melhora o conhecimento, capazes de criar produtos e tomar decisões com maior qualidade do que se fossem feitos individualmente.

As equipes de projeto podem ser autogerenciáveis, ou seja, aptas a tomar decisões para solucionar problemas sem precisar da orientação de um líder. São capazes de distribuir responsabilidades, dimensionar o ritmo e avaliar a qualidade do trabalho individual e da equipe. Não obstante, embora saibam caminhar sozinhas para resolver problemas, podem precisar de um líder para representá-las e para interagir com outras áreas da organização e com os clientes.

Equipes multifuncionais podem ser constituídas para lidar com projetos grandes e complexos ou para resolver problemas que ultrapassam as linhas funcionais da organização.

Independentemente da forma como a equipe é organizada, a convivência entre seus membros no desenvolvimento do projeto deve ser sempre pautada por atitudes proativas e éticas.

10.6.2 Responsabilidades e habilidades do projetista

Os novos desafios exigem que o projetista seja um profissional que saiba lidar com problemas de caráter sistêmico. Problemas técnicos e emergentes, como poluição, mobilidade em grandes cidades, saúde, conforto e segurança, exigem conhecimentos teóricos, práticos e sociais.

Segundo BACK (1983), as habilidades desejadas do técnico em mecânica, como projetista e solucionador de problemas teóricos, práticos e sociais, podem ser resumidas conforme mostrado na tabela 10.1.



Tabela 10.1
Habilidades do projetista.

Habilidades	Características
Criatividade	Cognição para resolver problemas, pensando e multiplicando as ideias para conceber coisas ou processos a fim de alcançar os objetivos desejados.
Matemática	Fazer cálculos utilizando recursos matemáticos e de tecnologia da informação.
Especialista e generalista	Saber resolver problemas cuja competência avança para áreas fora de sua especialidade. Ter conhecimento específico e generalista.
Ter espírito analítico	Capacidade de analisar componentes, sistemas ou processos usando princípios científicos e de engenharia para obter rapidamente resultados significativos.
Capacidade para tomada de decisão	Capaz de ponderar e tomar decisões diante das incertezas.
Comunicação clara e precisa	Saber expressar-se de forma clara e persuasiva, oral e graficamente e na escrita.
Comunicação gráfica – desenho técnico	Saber fazer croqui e desenhos de produtos. Interpretar desenhos de produtos e normas técnicas relacionadas à fabricação e ao uso.
Compreensão sistêmica	Capacidade de perceber o mundo à sua volta como um sistema complexo e inter-relacionado, com muitas possibilidades de melhorias e que requer responsabilidade de atitudes para manter a qualidade de vida das pessoas.
Habilidades em informática	Saber utilizar com facilidade o microcomputador e os <i>softwares</i> para desenho e cálculos, pesquisar normas e dominar a pesquisa e comunicação pela internet.

Além das habilidades, também são importantes os conhecimentos, detalhados na tabela 10.2.

Cada produto é único e apresenta características especiais, portanto requer um grau de conhecimentos específicos. No estágio inicial, certas considerações do projeto são bastante remotas em relação ao produto final, mas em estágios mais avançados esses detalhes tornam-se mais importantes.

O projetista deve considerar o processo de fabricação e suas limitações, tendo em vista os métodos que poderão ser aplicados, a mão de obra, o ferramental e o maquinário.

Ainda como objetivo de projeto de produtos industriais, é preciso considerar a qualidade e o custo. Deve-se procurar obter ótimo desempenho operacional e rápido retorno do investimento.

Conhecimentos	Características
Conhecimento em mecânica	Conhecer em profundidade os princípios da engenharia mecânica e suas especialidades.
Conhecer os processos de fabricação	Apreciar e conhecer os processos de fabricação novos e os convencionais.
Conhecimento de uso ou aplicação do produto que está projetando	Se é um produto final ou um componente empregado em um produto final. Nesse caso, o projetista necessita conhecer exatamente a função e as condições de uso do componente no produto.
Entender o valor do produto para o usuário e/ou fabricante	Exercer a empatia (colocar-se no lugar do outro) para perceber a importância do projeto para o usuário/fabricante; seu efeito no crescimento, lucro e prestígio da empresa.
Conhecimento de áreas correlatas	Conhecer os fundamentos dos processos das áreas ligadas à mecânica pelas características do projeto: eletrônica, elétrica, informática etc.

Tabela 10.2

Conhecimentos do projetista.

10.6.3 Equipamentos e ferramentas do profissional de projeto

O microcomputador e a calculadora eletrônica são equipamentos comuns da área de projeto. A prancheta ainda é utilizada, porém seu uso foi muito maior até meados da década de 1990, quando os projetistas desenhavam em papel vegetal utilizando ténígrafo, régua/esquadro, tinta nanquim etc.

Mais detalhes sobre desenhos e projetos podem ser vistos no volume 6 de Mecânica.

10.6.4 Softwares

O uso de programas de projeto assistido por computador (CAD) tem sido cada vez mais frequente na realização do projeto de produtos industriais e componentes.

Mais detalhes sobre a utilização de *softwares* para desenhos e projetos podem ser vistos no volume 6 de Mecânica.

10.7 Projeto de mecânica

10.7.1 Características do produto

Na visão moderna, os produtos devem ser simples e, em sua concepção, evitar satisfazer requisitos funcionais coincidentes, isto é, cada parâmetro do projeto tem de atender apenas a um requisito. O projeto do produto precisa ter como objetivo transformar informações sobre as necessidades do usuário e os requisitos funcionais relativos ao produto, o que contribui para

a simplificação e impede redundância de funções. Esse procedimento foi criado e estudado por Nam P. Suh, em 1977, e é usado principalmente nas empresas que trabalham com manufatura enxuta. Nam Suh denominou-o projeto axiomático. Axiomas são verdades que não precisam ser provadas e não possuem contraexemplos ou exceções.

Os parâmetros do projeto (PP) devem satisfazer dois axiomas:

- **Axioma da independência:** manter a independência dos requisitos funcionais (RF). Cada parâmetro deve satisfazer um requisito funcional.
- **Axioma da informação:** minimizar a quantidade de informação sobre o projeto. Mínimo de informações e restrições, peças integradas com funcionamento independente e peças padronizadas e intercambiáveis.

As figuras 10.7 e 10.8 apresentam, respectivamente, os axiomas de projeto e um exemplo.

Figura 10.7
Os parâmetros e axiomas do projeto.

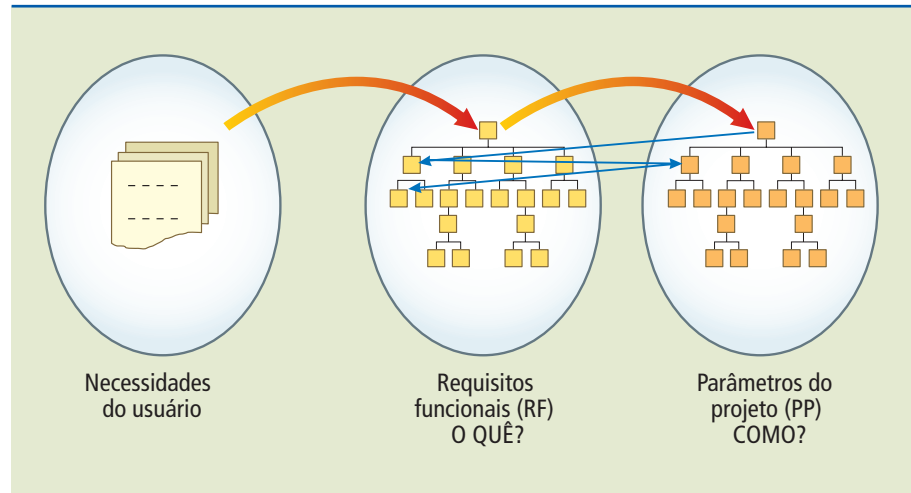
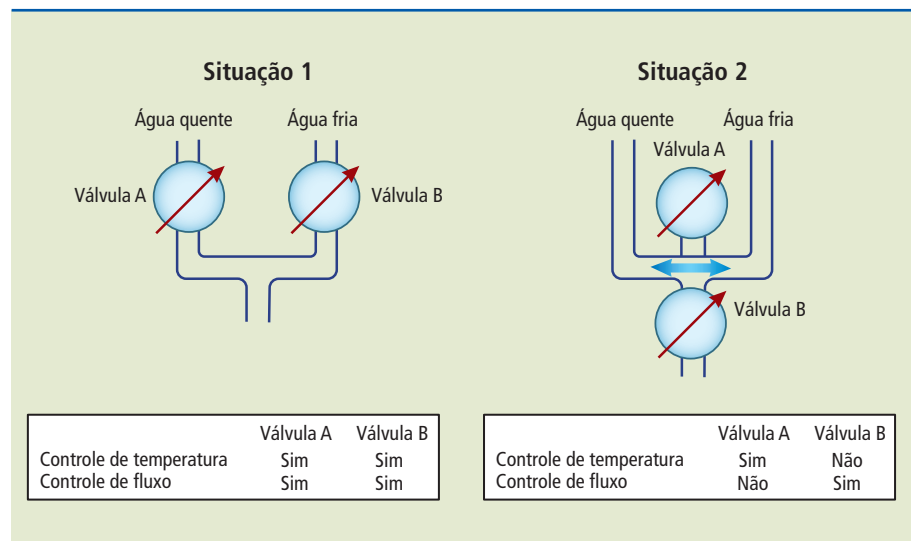


Figura 10.8
Exemplo de projeto axiomático.



As válvulas A e B da situação 1 atendem a dois requisitos funcionais. Um bom projeto deve considerar um parâmetro para apenas um requisito funcional de cada vez.

Alguns requisitos funcionais devem ser levados em conta na elaboração de um projeto, como: funcionalidade, resistência/tensão, distorção/flexão/rigidez, desgaste, corrosão, segurança, confiabilidade, fabricabilidade, utilidade, custo, fricção, peso, vida, barulho, estilo, forma, tamanho, controle, propriedades térmicas, superfície, lubrificação, mercantilidade, manutenção, volume, responsabilidade, refabricação/recuperação dos recursos etc.

Alguns parâmetros do projeto que devem ser alcançados: por exemplo, qual a dimensão adequada, a espessura do material e o formato seguro.

Os estudos na área de materiais, resistência dos materiais, elementos de máquinas e manutenção permitem ampliar o conhecimento dessas características fundamentais para a elaboração de projetos de produtos industriais. Algumas características serão comentadas mais adiante.

10.8 Análise técnica

10.8.1 Incerteza

Embora os produtos devam ser projetados com base em normas e catálogos, são muitas as incertezas que podem ocorrer durante o desenvolvimento do projeto.

Os materiais utilizados apresentam variabilidade nas propriedades mecânicas. As falhas podem ser de deformação elástica, plástica e de fratura.

As incertezas podem estar relacionadas com:

- variação da composição química do material;
- variações de propriedade do material ao longo de uma barra;
- corrosão;
- desgaste;
- concentração de tensão;
- tratamento térmico.

Lidando com essas incertezas, o projetista deve agregar fator de segurança aos cálculos e dimensionamentos, mantendo flexibilidade na aplicação dos materiais e garantindo segurança e vida ao projeto.

Existem métodos matemáticos para calcular as incertezas, mas a técnica primária consiste em estabelecer um fator de segurança com base nas incertezas absolutas do projeto. Por exemplo, no dimensionamento de cargas deve-se evitar que causas imprevistas levem a falhas. Para um problema de carga máxima, é necessário que as tensões permitidas sejam menores que aquelas que levarão a falhas.

$$\sigma_w = \frac{\sigma_e}{N_e} \text{ ou } \sigma_w = \frac{\sigma_u}{N_u}$$

em que:

σ_w = tensão de trabalho

σ_e = tensão de escoamento

σ_u = limite de resistência à tração

N_u = fator de segurança para limite de resistência à tração

N_e = fator de segurança para tensão de escoamento

Boa parte dos problemas é controlada pela inspeção de recebimento dos materiais e peças que serão utilizados na fabricação, seleção rigorosa de fornecedores e aplicação de fatores de segurança. O projetista deve manter documentação para lidar com situações que fogem à previsão de segurança. Para falhas que podem resultar em perigo de vida, os fatores de segurança devem ser maiores.

10.8.2 Tensão e resistência

Segundo SHIGLEY (2005), o projetista deve ajustar a tensão máxima em um componente para que seja menor do que a resistência desse componente quando em operação. O objetivo deve ser ajustar por uma margem em que a falha seja próxima de zero.

- **Resistência** é uma das propriedades do material, relacionada à escolha, ao tratamento térmico e ao processamento.
- **Tensão** é um estado de um corpo em função da geometria, da temperatura e do processo de fabricação.

O projetista deve desenvolver um produto seguro, econômico e eficiente.

10.8.3 Flexibilidade

O projetista deve pensar o produto como um sistema flexível. A flexibilidade pode atender a várias situações:

- **na fabricação:** permitir a utilização de mais de um processo de fabricação, flexibilizando o uso das máquinas da produção;
- **na seleção dos materiais:** possibilitar a seleção de mais de um tipo de material ou fabricante, oferecendo opções de escolha;
- **na escolha de componentes** de fixação, peças prontas e normatizadas existentes no mercado;
- **permitir a engenharia reversa:** desmontagem e reutilização dos materiais usados na fabricação;
- **flexibilidade de modelos:** permitir a facilidade de mudança do produto e criação de famílias de produtos, por meio de projetos modulares e flexíveis;
- **flexibilidade de montagem e manutenção:** o projeto do produto deve gerar um sistema fácil de montar e desmontar, prevendo a manutenção rápida e segura, para evitar paradas longas, dificuldade em encontrar peças de reposição no mercado e uso de mínima quantidade de ferramentas.

A flexibilidade é um pensamento inverso ao da padronização, é a customização dos produtos. O projetista deve pensar em atender a necessidade do cliente e, ao

mesmo tempo, projetar um produto com materiais e componentes de catálogos facilmente encontrados no mercado.

10.8.4 Manutenção

A manutenção muito frequente deve ser evitada, utilizando materiais e sistemas que não necessitem de lubrificação periódica. Quando for inevitável, que seja simples e rápida.

O projeto tem de procurar minimizar o uso de diferentes tipos de parafusos para reduzir a quantidade de tamanhos e tipos de chaves necessárias para a manutenção.

A forma exterior do produto deve facilitar a limpeza e o acesso à manutenção.

10.8.5 Aquecimento e desgaste

O aquecimento e o ruído são causados pelo desgaste, que compromete o funcionamento da máquina e provoca avarias.

O desgaste pode ocorrer em superfície de deslizamento, de rolamento, ser provocado por jatos e por sucção. A superfície resultante pode ser áspera, com trincas e esfacelamento.

Aquecimento e desgaste são evitados com a escolha conveniente de materiais, rolamentos e mancais de ligas deslizantes, diminuição das forças de desgaste, uso de fluidos a seco e lubrificantes (graxa e óleos), endurecimento da superfície por meio de enchimentos com solda e metalização.

Para reduzir o aquecimento é possível prever, também, sistemas trocadores de calor, radiadores, ranhuras, aletas de refrigeração e sistemas de aeração com ventiladores e ar condicionado.

10.8.6 Transporte

Alças para içamento e pontos para alavancagem ou colocação dos garfos da empilhadeira devem ser previstos na elaboração de um projeto. Se o produto for muito grande e desajeitado para ser içado ou transportado, oferecerá riscos de queda e deformação.

Para que produtos pequenos não escorreguem das mãos, é necessário prever o formato adequado para a pega e movimentação, garantindo a segurança do usuário e a utilização plena do produto. Estrias, ranhuras ou formato anatômico melhoram esse quesito e garantem confiabilidade ao produto.

10.8.7 Lubrificação

O projeto do produto deve ser desenvolvido de forma a evitar a lubrificação periódica, utilizando materiais e sistemas mais modernos. As alternativas para melhorar a vida do produto baseado em lubrificação consistem em construir

produtos com mancais, com anéis de lubrificação, mancais de rolamento, materiais deslizantes, ligas especiais, providenciando canais, ranhuras e pontos de lubrificação e sistema de lubrificação centralizado. Essas intervenções garantem segurança no funcionamento dos produtos, pois evitam esforço de trabalho, travamento, pane e quebra.

10.8.8 Fabricação

O projetista deve desenvolver o produto pensando na forma como ele será fixado na máquina, como será usinado em cada operação, para evitar erros do operador, dificuldade de posicionamento, esforço físico e movimentação. O projeto tem de prever fixadores, alavancas e superfícies de encostos. Se o produto a ser fabricado é uma máquina, precisa ser projetado considerando mecanismos simples de acionamento e de parada. Convém analisar fatores ergonômicos e de estresse na atividade do operador da produção.

10.8.9 Segurança

O projetista tem de prever a falta de cuidado do usuário, considerando que ele pode ser um leigo, um profissional experiente ou uma dona de casa. O produto precisa ser seguro, de fácil utilização e com superfícies que não causem problemas durante o manuseio. A falha e/ou travamento devem ser previstos de modo que, caso ocorra, não coloque em risco a integridade física do usuário.

As peças e mecanismos que oferecem mais riscos têm de ser protegidos para evitar a exposição e contato despercebido. Mecanismos especiais podem ser adicionados: botões de segurança, proteção dos dedos, sinais de advertência, isolamento e proteção.

10.8.10 Peso

No projeto, é necessário prever produtos de menor peso próprio sem comprometer a segurança, a funcionalidade do produto e o custo de fabricação. O custo de fabricação pode até ficar maior, se o esforço apresentar compensação em outro setor qualquer, dentro do processo de fabricação. A redução de peso pode contribuir para:

- aumentar a carga útil do produto, caso o peso total seja mantido;
- reduzir a energia na utilização do produto, facilitando o funcionamento;
- reduzir energia na movimentação para instalação e manutenção do produto;
- reduzir gasto com matéria-prima na fabricação.

A redução de peso pode ser obtida incluindo no projeto:

- furos e cavidades, sem perder a resistência estrutural;
- melhoria no formato, disposição e tratamentos diferentes, garantindo a mesma capacidade de carga com menos material;
- o uso de ligas metálicas mais leves: alumínio, por exemplo;
- o uso de materiais mais resistentes;
- redução de forças de sollicitação e impacto, utilizando molas ou dispositivos especiais de sobrecarga, mancais de deslizamento etc.;

- melhoria no resfriamento das construções, utilizando aletas e ranhuras para resfriamento, garantindo melhor funcionamento;
- o uso de tratamentos térmicos e cobertura de superfície (metalização), de acordo com a solicitação de desgaste, esforço e vida do produto.

10.8.11 Material

Na hora de desenvolver um novo projeto do produto, é necessário escolher o material por meio de catálogos de fabricantes, e os mais comuns são facilmente encontrados no comércio.

Embora haja muitos materiais diferentes no mercado, a cada dia são introduzidas novas ligas, mais resistentes e mais leves. As ligas de alumínio são utilizadas para fabricar aviões, latas para refrigerantes e componentes de automóveis.

Um projeto pode ser feito com base nos materiais, exigindo sua escolha prévia e o tipo de fabricação.

Na fabricação em massa é ideal que o material escolhido e o tipo de fabricação sejam compatíveis, para evitar excesso de cavacos, dificuldade de remoção do material e resfriamento deficiente da ferramenta de usinagem. O material escolhido pode ter suas dificuldades de usinagem reduzidas pelo emprego de ferramental de corte adequado e velocidade de corte compatível.

10.8.12 Confiabilidade do projeto

A confiabilidade (R) de um projeto deve estar expressa por um número situado no intervalo entre 0 e 1 (SHIGLEY, 2005):

$$0 \leq R < 1$$

Um índice de confiabilidade $R = 0,95$ indica que o projeto não terá problema de funcionamento com 95% de certeza.

A confiabilidade do projeto é um método que consiste em distribuir as tensões e as resistências e relacioná-las, a fim de atingir uma taxa de sucesso aceitável.

A falha de 50 peças em mil peças fabricadas pode ser considerada aceitável para determinado produto. Esse índice pode variar de um produto para outro, por exemplo: freio de um avião, de um automóvel, de um elevador de passageiros ou de um guindaste.

$$R = 1 - \frac{50}{1000} = 0,95 \quad \text{ou} \quad R = 95\%$$

A confiabilidade deve ser analisada por estudos da média e do desvio padrão de uma série de ocorrências, como tensão, resistência, carga ou tamanho. O projetista deve selecionar materiais, processos e tamanho visando atingir uma meta de confiabilidade.

10.9 Análise econômica

10.9.1 Custo

Reduzir custos sempre esteve na pauta diária dos profissionais de mecânica. Normalmente, os custos de processamento apresentam tendência de queda por causa do uso das máquinas automáticas. Na realização de um projeto, os custos podem variar de uma cidade para outra e de uma fábrica para outra, em decorrência de encargos, mão de obra, fretes e pequenas diferenças na manufatura.

O projetista pode reduzir o custo do projeto e da produção tomando alguns cuidados no momento da concepção do produto:

- **Selecionar materiais de catálogo** – fornecedores devem garantir regularidade de fornecimento. Materiais fora de padrão em geral são mais caros, pois requerem desenvolvimento e não são feitos em escala. Alguns materiais e componentes nem mesmo são mantidos em estoque.
- **Cuidar das especificações técnicas** – as tolerâncias de projeto definem a precisão exigida na fabricação. Tolerâncias restritas podem requerer passos adicionais de processamento. A qualidade do produto pode ser maior do que a exigida pelo mercado, com desperdício de tempo de processamento e maior custo.
- **Selecionar máquinas e processo de fabricação** – escolher as máquinas de acordo com a flexibilidade e a vantagem de trabalho que elas podem oferecer. O projetista deve elaborar o projeto tendo em vista a operacionalidade da fabricação, com máquinas mais econômicas, mão de obra com custo reduzido, ou visando a exigência de qualificação dos operadores. É preciso ponderar entre a escolha de máquinas simples, trabalhadores menos qualificados, baixa produção e menor custo de fabricação, ou máquinas complexas, trabalhadores mais capacitados, alta produção e maiores custos de fabricação.
- **Estimar os custos de fabricação** – alguns fatores de desempenho podem ser tomados como referência para cálculo e controle do custo de fabricação. Esses fatores podem ser vistos em 9.3: O custeio dos produtos.

10.10 Análise de segurança

Projetos devem ser seguros, mas nem sempre é possível avaliar a segurança de um produto com os testes realizados com o conhecimento tecnológico da época. Cabe ao projetista avaliar o grau de risco e manter documentação de análises guardadas para investigações futuras.

O projetista precisa avaliar se o produto justifica:

- ensaios elaborados dos materiais em laboratório; ou
- testes de componentes ou protótipos no campo.

Essa decisão pode ser tomada tendo em vista a grande quantidade fabricada, o valor do produto, ou por se tratar de um produto perigoso. Os ensaios podem ser modestos porque a quantidade a ser fabricada não é significativa, ou, ainda, a quantidade é tão pequena que o coeficiente de segurança é maior, e o ensaio é dispensável.



Os projetos precisam ser bem avaliados, e os fatores de segurança, colocados conforme as normas. As normas técnicas permitem ao projetista se sentir mais confiante quando da elaboração de projetos seguros. Em linhas gerais, para o problema de carga admissível adota-se o fator de projeto.

$$\sigma_{ma} = \frac{\sigma_{lim}}{\eta}$$

em que:

σ_{ma} = carga máxima admissível

σ_{lim} = limite de carga acima do qual a carga causa falha

η = fator de segurança, que deve ser aumentado para reduzir a carga admissível e aumentar a segurança do projeto

Os valores do fator de segurança η para dimensionamento de peças de máquinas são dados como segue.

- Solicitação estática

Materiais dúcteis, como o aço: 1,2 a 1,8

Materiais frágeis, como o ferro fundido: 2,0 a 4,0

- Solicitação dinâmica

Materiais dúcteis, como o aço: 3 a 4

Materiais frágeis, como o ferro fundido: 3 a 6

Deve-se sempre prever ocorrências futuras, realizar testes em campo e registrar as falhas encontradas em regime de trabalho. Providências precisam ser tomadas para eliminar o problema, e o histórico tem de ser preservado para evitar que o mesmo problema ocorra na elaboração de projetos futuros.

10.11 Análise ambiental

É necessário que o técnico projetista trabalhe de forma sistêmica, com vistas à sustentabilidade do planeta. Define-se desenvolvimento sustentável como:

“as condições sistêmicas através das quais, em nível regional e planetário, as atividades humanas não devem interferir nos ciclos naturais em que se baseia tudo o que a resiliência do planeta permite, e ao mesmo tempo não devem empobrecer o capital natural, que será transmitido às gerações futuras”.

(MANZINI; VEZZOLI, 2008.)

É a possibilidade de trabalhar permitindo que a natureza, com as alterações impostas, possa voltar ao normal, sem sair do equilíbrio, e que o mundo seja preservado para gerações futuras.

O conceito de desenvolvimento sustentável foi criado pelo World Commission for Environment and Development no documento *Our common future*,

escrito em 1987. Esse conceito foi apresentado na Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento ocorrida em 1992, no Rio de Janeiro. Na sociedade industrial há um aumento desenfreado da criação de produtos e do consumo. O produto é descartado sem que a natureza tenha tempo ou condições suficientes para reincorporá-lo ao ecossistema como lixo biodegradável. Isso quer dizer que os limites da natureza foram ultrapassados pelos limites do sistema de produção atual.

Na visão moderna, o projeto do produto precisa ser pensado tendo em vista a emergência da sobrevivência do ecossistema. Os processos de transformação têm de ser reorganizados e integrados “o máximo possível com os ciclos naturais” (MANZINI; VEZZOLI, 2008). Isso significa usar menos material e energia, incorporando mais inteligência ao produto, colocando a tecnologia da informação e a comunicação como peças centrais do processo produtivo industrial.

Na outra ponta do projeto, a desmontagem e a reutilização das partes do produto após sua utilização completa, para serem empregadas em outros, também são uma solução a ser pensada como forma de aproveitamento de materiais e de seu descarte adequado, contribuindo para o processo de preservação da natureza.

Grandes empresas mundiais estão engajadas em fabricar produtos sustentáveis. Um exemplo é a General Electric, que, com seu programa batizado de Ecomagination, viu as vendas de produtos verdes superarem os 14 bilhões de dólares em 2007, representando 8% das receitas da empresa. Trata-se de produtos como turbinas que emitem menos gases de efeito estufa e sistemas de automação para casas que visam reduzir o consumo de água e energia. É uma lista de produtos e serviços com mais de 60 itens.

10.12 Unidades e valores

Pode ser visto em detalhes no volume 1 de Mecânica.

10.13 Códigos e padrões

Se os produtos não fossem feitos seguindo as normas, seria muito difícil montá-los. Na colocação de um piso, por exemplo, seria preciso desfazer as embalagens e selecionar os pisos parecidos, antes de assentá-los. Isso demandaria tempo e geraria atraso na obra, ou seja, não seria possível a intercambiabilidade. No passado não havia normas ou padrões para parafusos e fixadores. O montador era obrigado a identificar as peças enquanto desmontava para poder montá-las novamente.

A Primeira Guerra Mundial demonstrou os riscos do trabalho mal executado e a necessidade de normas para a produção de materiais bélicos.

Durante a Segunda Guerra Mundial, a necessidade da produção em massa de suprimentos para a guerra levou as Forças Armadas dos Estados Unidos a comprar armamentos, munições e demais produtos de vários fabricantes. Os contratos de menor preço nem sempre tinham a melhor qualidade, e as Forças Armadas precisavam verificar tudo o que compravam. Surgiu, então, a Military



Standard 105 – MIL STD 105, norma de amostragem aplicada aos contratos militares (tabela 10.3).

A norma é um conjunto de especificações para análise, projeto, manufatura e construção. Seu propósito é atingir um bom nível de satisfação em segurança, eficiência e desempenho ou qualidade.

A evolução das normas		
Ano	Norma	Fonte
1963	MIL-Q-9858 ^a	Exército dos EUA
1969	AQAP	Otan
1971	ASME Boiler Code	American Society of Mechanical Engineers
1973	API 14 A	American Petroleum Institute
1975	CSA Z299	Norma canadense
1979	BS 5759	Norma britânica
1985	API Q1	American Petroleum Institute

Tabela 10.3

Normas de amostragem.

As normas servem para fixar padrão, que é um conjunto de especificações para peças, materiais ou processos, necessárias para atingir uniformidade, eficiência e qualidade determinada. A padronização limita o número de itens presentes nas especificações, de modo a proporcionar inventário razoável de ferramentas, tamanhos, formas e variedades.

As organizações mais desenvolvidas estabelecem especificações para padrão e segurança de projeto. Algumas associações de classe são apresentadas a seguir:

- Deutsche Industrie Normen (DIN)
- American Institute of Steel Construction (AISC)
- American Iron and Steel Institute (AISI)
- American National Standard Institute (ANSI)
- American Society of Mechanical Engineers (ASME)
- American Society of Testing and Materials (ASTM)
- International Organization for Standardization (ISO)
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT)
- American Welding Society (AWS)

10.14 Especificações de equipamentos padronizados e normalizados

Máquinas e equipamentos devem ser padronizados e normalizados. O projeto precisa tomar como referência um padrão.

Exemplo: especificação técnica para ar condicionado

- Unidades de medidas no sistema métrico decimal de acordo com o Instituto Nacional de Pesos e Medidas (Ipem).
- Desenhos técnicos, catálogos e informações devem indicar os materiais utilizados na fabricação, as dimensões, o acabamento, as fixações e outros dados coerentes com o item anterior, e seguir normas da ABNT.

O manual técnico deve conter no mínimo:

- índice geral;
- procedimentos de transporte e armazenagem;
- informações para instalação e operação seguras;
- esquema hidráulico, pneumático e elétrico, quando aplicável;
- manual com instruções para manutenção preventiva, corretiva, e lista de peças de reposição;
- relação com endereço completo dos representantes do fornecimento (matriz e filiais) e dos fabricantes; e
- acesso ao suporte técnico para dúvidas e reclamações.

O fornecedor deve garantir que os equipamentos, (sejam ou não fabricados por ele ou provenham mesmo que parcialmente de subfornecedores) estejam exatamente de acordo com as especificações técnicas, isentos de defeitos de fabricação, de matéria-prima ou de mão de obra. Deve também informar o prazo e a abrangência de cobertura da garantia.

A normalização de máquinas e equipamentos mecânicos está a cargo da ABNT/CB-04 – Comitê Brasileiro de Máquinas e Equipamentos Mecânicos.

O Comitê Brasileiro de Máquinas e Equipamentos Mecânicos -- CB-04 da ABNT normatiza máquinas e equipamentos mecânicos, máquinas ferramentas, ferramentas e dispositivos hidráulicos, pneumáticos, termodinâmicos, de medição e controle da qualidade, de movimentação etc. Incluindo projetos mecânicos, considerando a terminologia, requisitos, métodos de ensaio e generalidades.

Quando o produto a ser fabricado se destina diretamente a pessoa física, o projetista também deve se orientar pelas normas de proteção e defesa do consumidor, lei nº. 8.078, de 11 de setembro de 1990.

10.15 Desenho do projeto

10.15.1 Memorial de cálculo

Na elaboração do projeto, o projetista deve organizar cuidadosamente os dados, pois favorecem a realização do projeto, evitando resultados indesejados. Os cálculos devem ser elaborados considerando os fatores necessários para evitar defeitos de utilização, dimensão, peso e custo da construção, como as forças, deformações, tensões, durabilidade, desgaste, potência, rendimento, consumo de energia.



O cálculo de um projeto exige atenção, bom senso e experiência do projetista. Certas dimensões devem ser feitas considerando a solicitação máxima de tensão e deformação, para permitir segurança em caso de ruptura.

10.15.2 Modelos e protótipos

Os modelos e protótipos devem ser construídos para facilitar a avaliação do produto. O uso de modelos permite visualizar a aparência e as características do produto. Podem ser feitos de materiais diversos: papel, madeira, borracha etc., e servem para esclarecer movimentos, tensões e aplicação.

Os protótipos permitem estudar o comportamento do produto diante da solicitação de esforços, com a realização dos ensaios tecnológicos de laboratório e de campo. São úteis para simular a vida e o desempenho do produto e servem também para perceber as informações relativas a seu funcionamento, confirmar resultados ou refazer cálculos do projeto.

10.15.3 O croqui

A informatização do projeto ainda não é ampla o suficiente, capaz de envolver plenamente os projetistas. O desenho feito à mão, com papel e lápis, possibilita maior interação do projetista no processo criativo; embora primitivo, é muito utilizado.

Ainda na fase de concepção, o croqui registra o momento de criatividade, liberdade e compreensão espacial. As configurações e reconfigurações são representações espontâneas. O croqui é o desenho esboçado em que o autor coloca seus traços legítimos; enquanto desenha, percebe as formas e dimensões do produto.

O croqui permite a ampla manipulação do espaço, e é onde o projetista é capaz de planejar e ver suas ideias de forma tridimensional. Trata-se de um recurso mais rápido e descompromissado com o rigor do desenho técnico.

Definições de croqui, esboço e desenho:

- croqui é o esboço do desenho, uma forma rápida de materialização da ideia;
- esboço representa as linhas fundamentais do desenho, um plano, um ensaio;
- desenho é uma representação organizada e dimensionada de uma figura.

Segundo MARTINO (2007), o croqui pode ser apresentado das seguintes formas:

- croqui analítico: possibilita ordenar dados, o raciocínio, e como estabelecer determinadas relações entre eles. Exemplo: fluxogramas, gráficos, organograma e zoneamento;
- tema predominante: desenvolvimento de possibilidades em busca de soluções para determinada questão; e
- vinculação de projeto: relacionado ao desenvolvimento do projeto, resolve questões espaciais, formais e teóricas.

O croqui é um item muito importante em um projeto, pois possibilita de forma descompromissada reconhecer no objeto a ser desenvolvido características como detalhes de encaixe e dobras, mesmo que o objeto não esteja ainda definido formalmente. O croqui permite uma série de tentativas até chegar ao produto final.







10.16 Tolerâncias geométricas em projetos mecânicos

No desenvolvimento de projetos mecânicos, nem sempre as tolerâncias dimensionais são suficientes para determinar exatamente como a peça deve ficar. A peça real pode não corresponder com acurácia à peça projetada. Durante a fabricação, ocorrem desvios e é muito difícil obter uma peça real com as formas idênticas às do desenho. Os desvios verificados são descritos a seguir.

10.16.1 Desvios de forma

É o grau de variação das superfícies reais com relação aos sólidos geométricos que os definem, isto é, em relação à forma geométrica ideal. Destacam-se: a linearidade, a circularidade, a cilindridade e a planicidade (tabela 10.4).

Tabela 10.4
Desvios de forma.







Tolerância de forma		
Denominação	Símbolo	Descrição
Linearidade		Peça cilíndrica: o eixo com sua tolerância deve caber dentro de um cilindro imaginário de diâmetro t cujo centro coincide com o eixo da peça.
Circularidade		No plano de corte tangencial ao eixo de referência, a linha circunferencial da peça deve situar-se dentro do campo de tolerância correspondente ao espaço entre duas circunferências imaginárias concêntricas de raios diferentes, distantes t , entre si.
Forma linear		O perfil da peça, com sua tolerância, deve situar-se entre duas linhas imaginárias envolvendo uma circunferência de diâmetro t , cujo centro se desloca em uma linha que tem o perfil geométrico ideal.
Planeza		A superfície com sua tolerância deve caber entre os dois planos paralelos, ideais e imaginários de tolerância t .
Cilindridade		A forma real deve estar situada entre a superfície de dois cilindros ideais e coaxiais, de raios diferentes. O espaço entre ambos tem distância t .
Forma de superfície		O campo de tolerância é limitado por duas superfícies tangentes a uma esfera de diâmetro t , cujo centro movimentar-se por uma superfície que tem a forma geométrica ideal.

10.16.2 Desvios de posição e de orientação

São definidos por elementos (linha, plano, superfície, ponto), escolhidos como referência, e representam os graus de variação que as diversas superfícies reais apresentam entre si, com relação a um posicionamento teórico. As tolerâncias de orientação podem ser: paralelismos, perpendicularidade e inclinação; as tolerâncias de posição: desvios de localização, simetria, concentricidade ou coaxialidade. A tabela 10.5 apresenta as tolerâncias de orientação e de posição.

Tabela 10.5

Tolerância geométrica para elementos associados.


De orientação	Paralelismo		A superfície com sua tolerância deve estar situada entre dois planos paralelos, distantes t entre si, paralelos ao plano de referência. O eixo com sua tolerância deve situar-se entre dois planos paralelos distantes t entre si, paralelos ao plano de referência. O eixo com sua tolerância deve estar compreendido dentro de uma zona cilíndrica de diâmetro t , paralela ao eixo de referência.
	Perpendicularidade		O campo de tolerância do eixo fica limitado por dois planos distantes t entre si, perpendiculares à reta de referência. O eixo com sua tolerância deve situar-se dentro de um cilindro com diâmetro t , perpendicular ao plano de referência.
	Inclinação		O eixo com sua tolerância deve situar-se entre duas retas paralelas distantes t entre si que formam com a base o ângulo de inclinação α . A superfície inclinada com sua tolerância deve situar-se entre dois planos paralelos distantes t entre si que formam com a base o ângulo de inclinação α .
De localização	Localização		O centro real do furo deve situar-se no campo de tolerância de diâmetro t cujo centro coincide com a localização precisa do ponto.
	Coaxialidade ou concentricidade		O eixo da peça com sua tolerância deve situar-se dentro do cilindro coaxial em relação ao eixo de referência de diâmetro t .
	Simetria		O campo de tolerância é limitado por dois planos separados pela distância t , paralelos equidistantes do plano médio de referência.

10.16.3 Desvios compostos

Desvios compostos são aqueles de forma e posição, desvios de batida radial e axial relacionados aos desvios de deslocamentos em relação ao eixo axial ou radial.

Tabela 10.6

Tolerância de batimento.

Radial		Em cada rotação do eixo sobre o eixo de referência, o campo de tolerância é delimitado por um plano perpendicular ao eixo de giro que define dois círculos concêntricos de raios diferentes. A tolerância t dos raios corresponde à tolerância radial.
Axial		Em cada rotação do eixo sobre o eixo de referência, o campo de tolerância fica delimitado por dois planos paralelos entre si, a uma distância t , e que são perpendiculares ao eixo de rotação.

Algumas situações de trabalho que provocam esses desvios:

- desgaste da aresta cortante da ferramenta;
- tensões internas devidas ao material da peça;
- esforço da fabricação;
- velocidades de corte inadequadas;
- centralização e fixação da peça;
- fixação da ferramenta.

Assim, para solucionar esses problemas, devem-se permitir certos limites de desvios de forma aos produtos a serem fabricados. O projeto da peça precisa prever, além das tolerâncias dimensionais, as tolerâncias geométricas, a fim de obter a melhor qualidade funcional possível. As tolerâncias geométricas são as variações permitidas na forma e na posição. Se dois ou mais elementos de uma peça estiverem associados, é preciso levar em conta a posição relativa entre eles.

As normas NBR 6409, DIN 7184 e ISO R-1101 apresentam conceitos relativos a desvios e tolerâncias geométricas.

As tolerâncias geométricas devem ser indicadas quando:

- a exatidão de forma não seja garantida com os meios normais de fabricação;
- houver coincidência entre as superfícies;
- houver necessidade do controle dimensional e geométrico para garantir a montagem sem interferências e a funcionalidade perfeita do conjunto.

10.17 Planejamento e controle de projetos

Um grande projeto, que pode ser chamado de programa, apresenta alto grau de complexidade e necessita de planejamento para a realização de várias atividades que devem ser executadas em determinada ordem, antes que o todo seja concluído. Essas atividades devem ser sincronizadas, seguindo certa ordem de execução que não pode ser mudada.

Um programa pode constituir vários projetos inter-relacionados. Sua realização pode demorar anos e requer planejamento e controle.

10.17.1 Planejamento

O planejamento é um plano organizado de atividades cujos conteúdos se interligam internamente de maneira coerente e, externamente, com as necessidades e interesses dos envolvidos.

Segundo HIRSCHFELD (1982), o que se considera em um planejamento é uma estrutura lógica de tarefas a serem executadas, suas interdependências e seus períodos de tempo normais, que possibilitam saber qual é a duração mínima da execução total planejada. Com relação a cada tarefa, qual a data cedo de iniciá-la e terminá-la, e qual a data tarde, ou seja, a última chance de iniciá-la e terminá-la sem comprometer o prazo do projeto.

Fases do planejamento do projeto

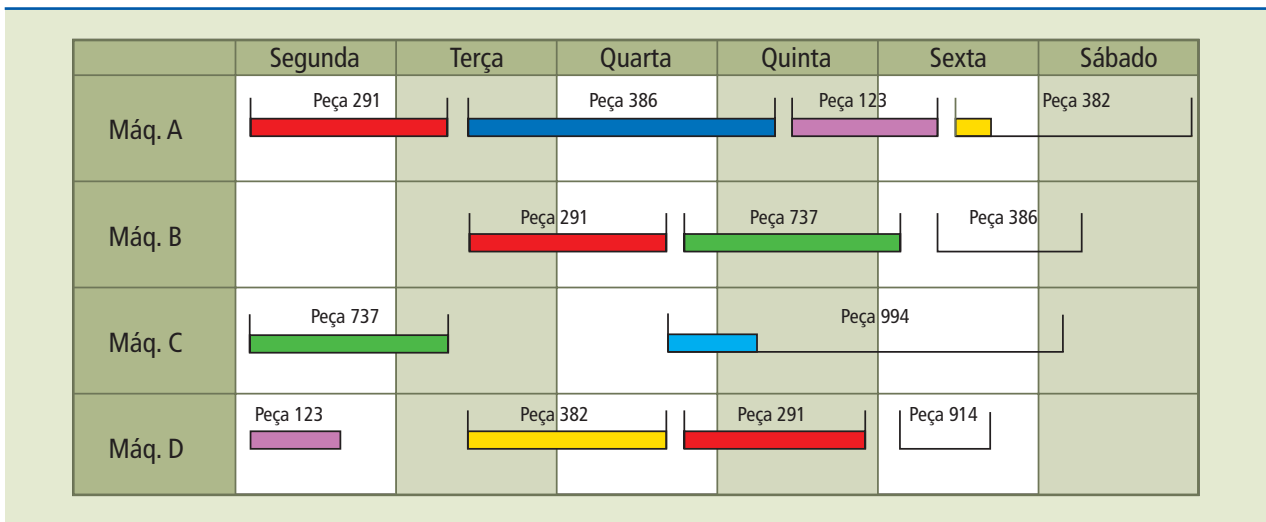
1. **Preparação** – A observação é a ferramenta básica. Fase especulativa que remete à pesquisa, à análise, à reflexão. É um momento de estudo.
2. **Estruturação** – Nasce da etapa anterior, com o registro do plano.
3. **Acompanhamento** – O que está dando certo? O que não? É a fase da verificação dos encaminhamentos, de questionar, problematizar.
4. **Avaliação** – O que aconteceu desde o primeiro momento do planejamento, o que foi excessivo e o que faltou. É na avaliação que se observa que é possível prever possíveis erros, hipóteses falsas.

10.17.2 Gráfico de Gantt

O gráfico de barras, ou gráfico de Gantt, desenvolvido por Henry Gantt (1861-1919), é uma técnica antiga e simples de programação temporal dos projetos. Pode ser usada também para a programação da produção de máquinas individuais ou de células de trabalho. Permite ver as datas de início e término de várias tarefas.

Figura 10.9

Gráfico de barras, ou gráfico de Gantt.



No exemplo dado, as máquinas fazem operações diferentes. As barras indicam o início e o fim de cada tarefa e as cores ilustram as diferentes peças em processo. O gráfico pode ser desenhado ou elaborado com o apoio de *software* específico para tal.

Características do gráfico de Gantt:

- Preocupação exclusiva com a dimensão temporal.
- Negligencia o custo relativo de produzir em uma máquina e não em outra.
- Permite acompanhar projetos relativamente pequenos, compostos por tarefas com poucos desvios.

10.17.3 Programação linear

A programação linear é usada para máquinas ou centro de máquinas. Considera a combinação ótima dos recursos (a eficiência relativa das várias unidades da produção, as diferenças na manutenção, o tempo de operação etc.) para maximização de lucro ou minimização de custo.

10.17.4 Técnicas de rede – Pert-CPM

Para a execução de projetos mais complexos, com mais atividades e recursos, tornou-se necessário o uso de técnicas mais completas, que permitem o planejamento e o controle das atividades de modo eficiente, com boa comunicação visual.

A programação do caminho crítico ou rede Pert é um método gráfico de representar a sequência lógica de um conjunto de tarefas com as interdependências, cuja finalidade é alcançar determinado objetivo.

A rede Pert foi usada pela primeira vez em 1958, no Projeto Polaris da Marinha dos Estados Unidos, para construir um foguete espacial. O número de empreiteiros principais era de 250 e o de subempreiteiros, de 9 mil. Havia fornecimento de inúmeras fontes e muitas agências do governo estavam envolvidas em sua realização. O número de peças diferentes que teriam de ser fabricadas era cerca de 70 mil (HIRSCHFELD, 1982). O problema era bastante difícil e não se queria atrasar o término da operação.

Em 1958, a Marinha dos Estados Unidos, a Lockheed e a Booz Allen & Hamilton International, Inc. desenvolveram um sistema que recebeu o nome de Pert (Program Evaluation and Review Technique – Técnica de Avaliação e Controle de Programa).

O CPM (Critical Path Method – Método do Caminho Crítico) foi desenvolvido em 1957 pela Du Pont e pela Remington Rand Division, da Sperry Rand Corporation, para auxiliar na programação de manutenção e paradas de fábricas de processamento químico.

O prazo previsto para a fabricação do foguete foi reduzido de cinco para três anos.

Em 1962, os métodos que continham aspectos probabilísticos e aspectos determinísticos foram denominados Pert-CPM.

Estimativas de tempo no Pert-CPM

Para aplicar essa técnica de planejamento, o projeto precisa possuir as seguintes características:

- atividades únicas e independentes com começo e fim bem definidos;
- tarefas ordenadas em sequência – relação de precedência;
- uma única estimativa de tempo é feita para cada atividade (no Pert).



O método CPM está baseado em três valores de tempo para cada atividade: hipótese otimista, que considera o tempo mínimo para a realização da atividade, sem complicações ou dificuldades; a hipótese mais provável, que reflete as contingências normais ou o tempo dentro do qual é mais provável que se complete a atividade, baseada em informações, históricos, circunstâncias e imprevistos; e a hipótese pessimista, ou o tempo máximo de execução da atividade, caso surjam complicações ou dificuldades imprevistas.

Símbolos e nomenclatura:

A rede representa as atividades do projeto e suas interdependências. Para desenhar a rede são usados círculos que representam os eventos e setas que representam as atividades. Números e códigos identificam as atividades e duração (figuras 10.10 e 10.11).

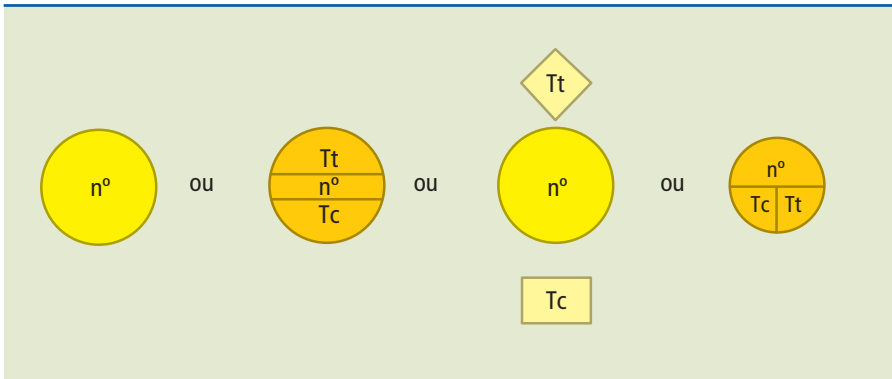


Figura 10.10

Simbologia dos eventos.

em que:

n° = número da atividade; T_t = tempo mais tarde; T_c = tempo mais cedo.

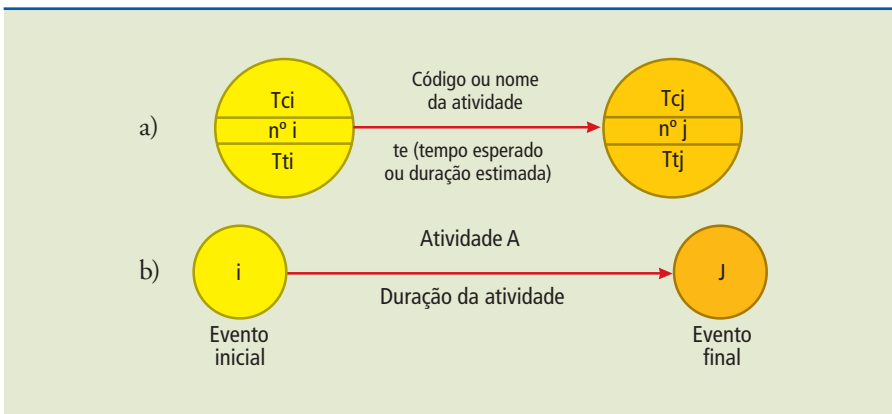


Figura 10.11

Simbologia de eventos e atividades.

em que:

Atividade: tarefa a ser executada, representada por seta.

Eventos i e j : marcos que caracterizam determinados acontecimentos do planejamento, representados por círculos;

Duração da atividade: tempo necessário para a execução das tarefas (hora, dia, semana, mês).

Características da rede Pert-CPM

- Cada atividade é representada por uma e somente uma seta.
- Duas atividades não podem compartilhar o mesmo evento inicial e o mesmo evento final. A saída para a representação de atividades paralelas é a criação de uma atividade fantasma (seta tracejada), que serve apenas para indicar a inter-relação. A atividade-fantasma não tem duração e não consome recurso.

Exemplo: Camila faz ensino médio. Todo dia acorda cedo e se prepara para ir à escola. Sua mãe, Regina, prepara-lhe o café. Enquanto aguarda o café, Camila assiste à TV (figuras 10.12 e 10.13).

Figura 10.12
Exemplo de CPM.

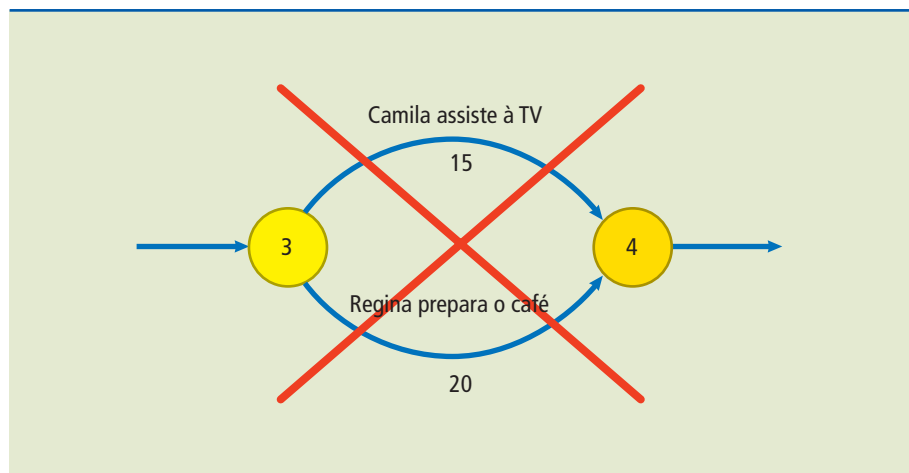
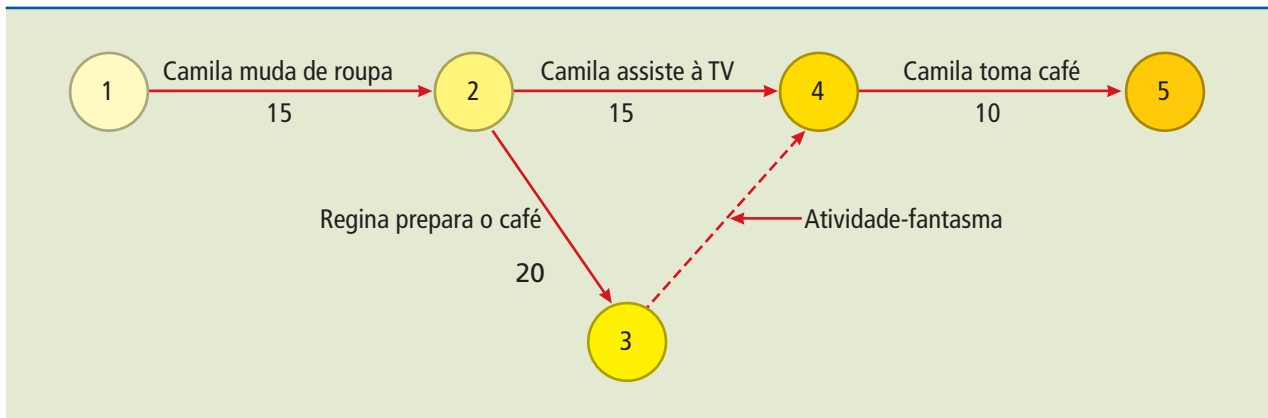


Figura 10.13
Exemplo de CPM.



Se houver atividades independentes que compartilham as mesmas antecedentes, a atividade-fantasma não deve ser utilizada.

Etapas da elaboração da rede Pert-CPM

Seja o diagrama representativo de duração das atividades (figuras 10.14 a 10.17).

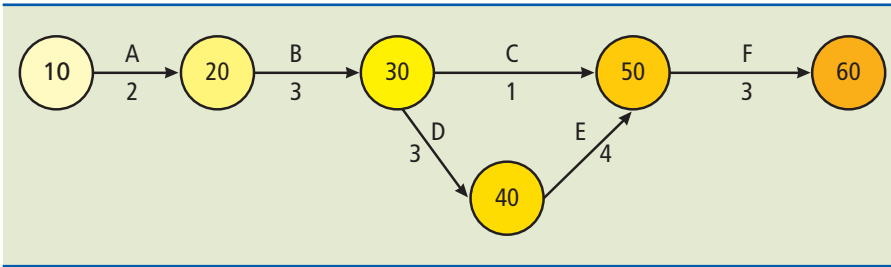


Figura 10.14

Diagrama I representativo de duração das atividades.

Antes	Atividades	Códigos das atividades	Dias úteis	Depois
–	A	10 – 20	2	B
A	B	20 – 30	3	C, D
B	C	30 – 50	1	F
B	D	30 – 40	3	E
D	E	40 – 50	4	F
C, E	F	50 – 60	3	–

Tabela 10.7

Tabela I representativa de duração das atividades.

- **Data mais cedo:** representa o tempo mais cedo em que cada atividade do projeto pode ser iniciada.

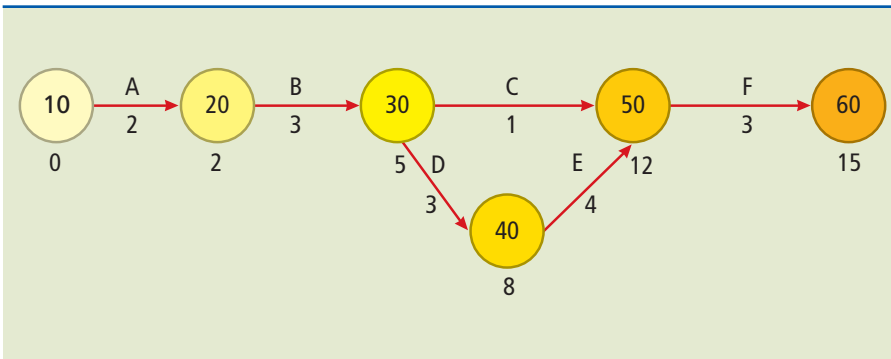


Figura 10.15

Diagrama II representativo de duração das atividades.

Evento	Data mais cedo
10	0
20	$0 + 2 = 2$
30	$2 + 3 = 5$
40	$5 + 3 = 8$

Tabela 10.8

Tabela II representativa de duração das atividades.

Regra: percorre-se a rede da esquerda para a direita para colocar o tempo mais cedo.

$$\text{Evento 50: } \rightarrow \left. \begin{array}{l} 5 + 1 = 6 \\ 8 + 4 = 12 \end{array} \right\} \text{ Escolhe-se o de maior duração.}$$

Data mais tarde: preestabelecida para o término do empreendimento. É o tempo mais tarde em que cada atividade pode ser iniciada sem afetar a data global de conclusão do projeto.

Figura 10.16

Diagrama III representativo de duração das atividades.

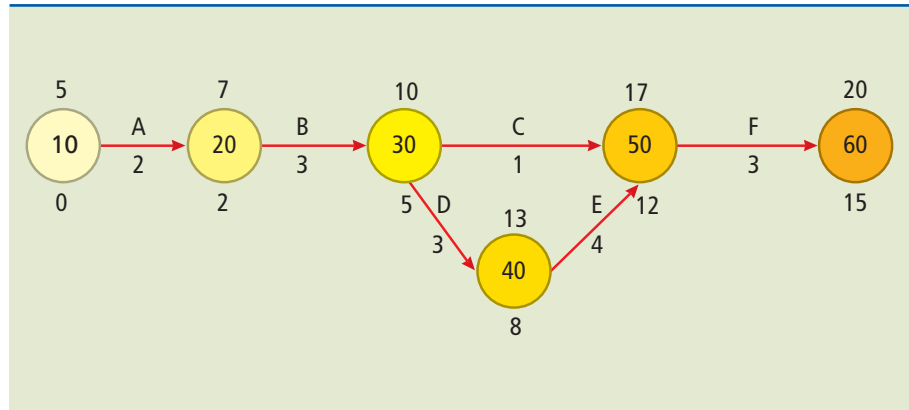


Tabela 10.9

Tabela III representativa de duração das atividades.

Evento	Data mais tarde
60	20
50	$20 - 3 = 17$
40	$17 - 4 = 13$

Regra: percorre-se a rede da direita para a esquerda para colocar o tempo mais tarde.

$$\text{Evento 30: } \rightarrow \left. \begin{array}{l} 40 \Rightarrow 13 - 3 = 10 \\ 50 \Rightarrow 17 - 1 = 16 \end{array} \right\} \text{ Escolhe-se o de menor duração.}$$

$$\text{Evento 20 } \Rightarrow 10 - 3 = 7$$

$$\text{Evento 10 } \Rightarrow 7 - 2 = 5$$

- **Caminho crítico:** é o caminho de menor folga ($T_t - T_c$) e que tem a maior duração. Tempo de folga é o tempo que uma atividade pode ser atrasada, ou seja, a diferença entre o tempo cedo e o tempo tarde. $Folga = T_t - T_c$.

Evento	Folga ($T_t - T_c$)
10	$5 - 0 = 5$
20	$7 - 2 = 5$
30	$10 - 5 = 5$
40	$13 - 8 = 5$
50	$17 - 12 = 5$
60	$20 - 15 = 5$

Tabela 10.10

Tabela IV representativa de duração das atividades.

No exemplo dado, o caminho crítico é formado pelos eventos: 10 – 20 – 30 – 40 – 50 – 60.

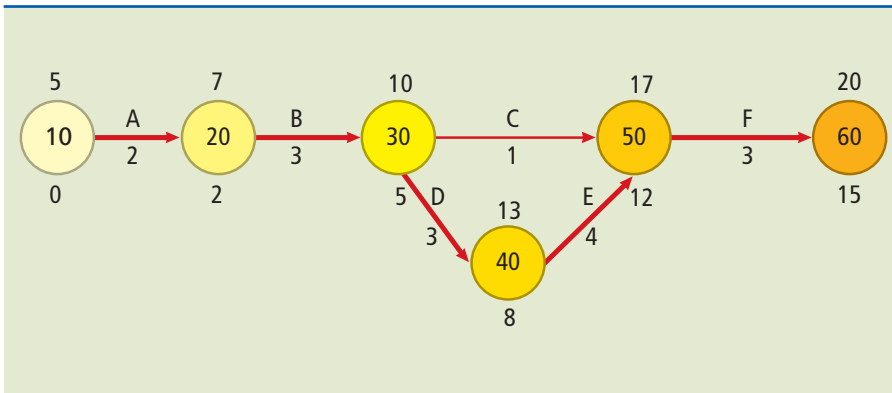


Figura 10.17

Diagrama IV representativo de duração das atividades.

A análise conjunta do Pert-CPM com o gráfico de Gantt coloca o gerente de projeto ligado às atividades do projeto, com acompanhamento prudente, evitando atrasos, reduzindo custos e nivelando os recursos.

Softwares especializados, como o Primavera e o MS Project, e *softwares* livres, como o Mr. Project e Gantt Project, auxiliam a elaboração do planejamento do projeto, com a construção do gráfico de Gantt e a rede Pert-CPM.

O Gantt Project e o Mr. Project podem ser baixados na internet para o gerenciamento de projetos de baixa complexidade.

