

PROJETO MECÂNICO DE ELEMENTOS DE MÁQUINAS - SEM 0568

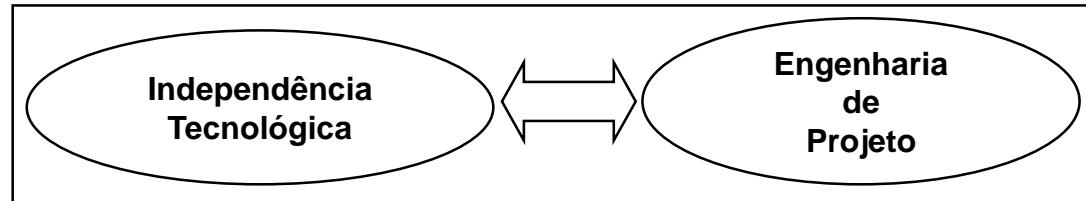
Notas de Aulas

Aula 01 – Introdução, Noções de Projetos Mecânicos

Prof. Dr. Jaime Duduch

1- NOÇÕES BÁSICAS SOBRE DESENVOLVIMENTO DE PROJETOS

1.1- A importância do projeto



	material	projeto
Handheld	20%	80%
Software	0%	100%
Navio	70%	30%

PROJETO

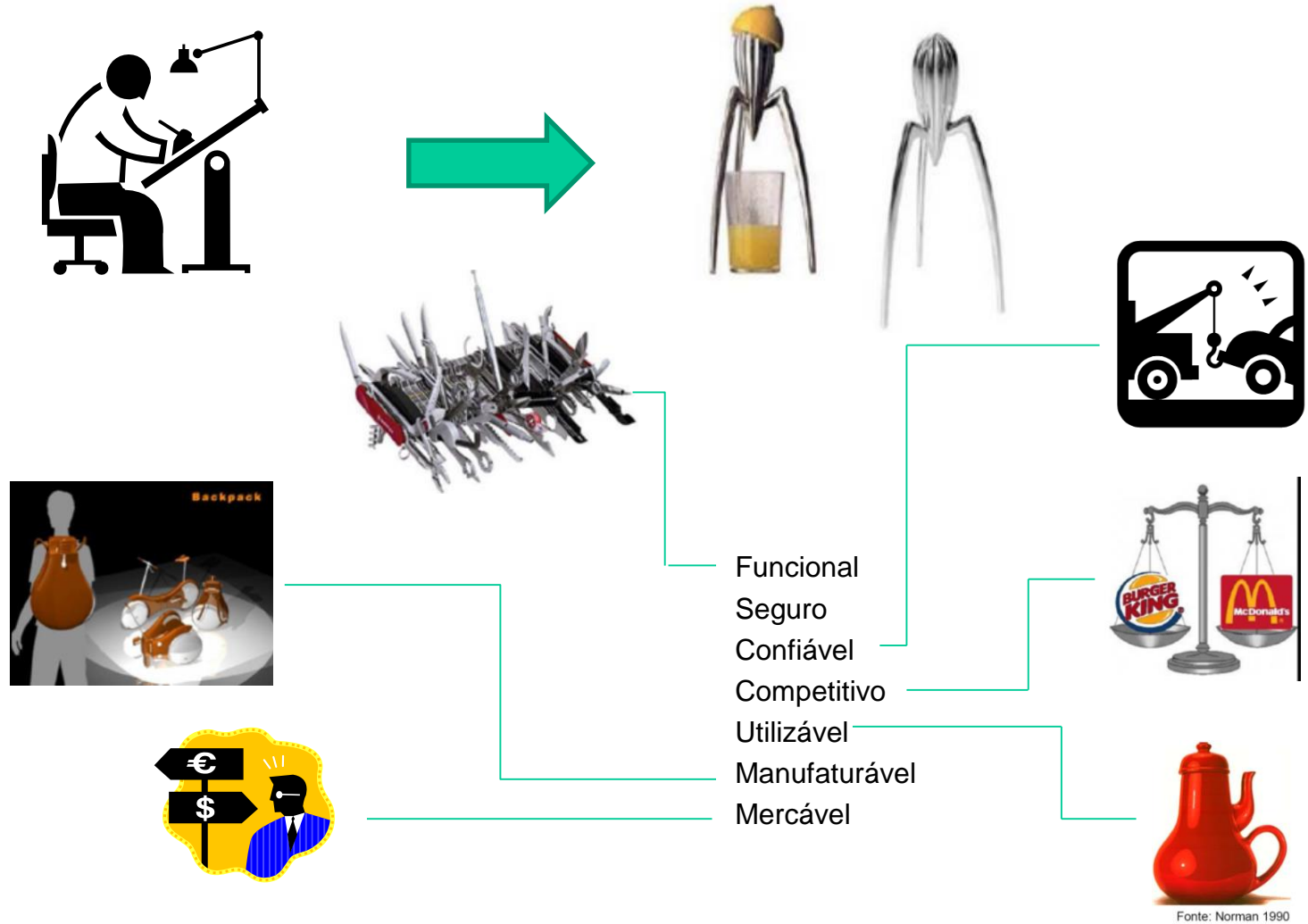
PRODUTO: Funcional
Seguro
Confiável
Competitivo
Utilizável
Manufaturável
Mercável

Projeto é:

- ✓ é um processo inovador e altamente iterativo;
- ✓ é também um processo de **tomada de decisões**;
- ✓ multidisciplinar.

O Projeto mecânico é uma propriedade intelectual que exige: observação, criatividade, inteligência, atualização, domínio das ferramentas computacionais e de cálculos. Atualmente o engenheiro conta com as poderosas tecnologias computacionais (CAE-CAD-CAM) e da informação (Internet, banco de dados). Erros e incertezas são intrínsecos ao projeto. As ferramentas computacionais auxiliam muito na redução deles, *mas*, mesmo assim, é fácil construir modelos computacionais com *erros*. Pode ser fácil corrigi-los, desde que se conheça como fazê-lo.

PROJETO



Fonte: SHIGLEY, J.E., Projeto de engenharia mecânica, Ed. Bookman, 7ed, 2005

Fonte: Norman 1990

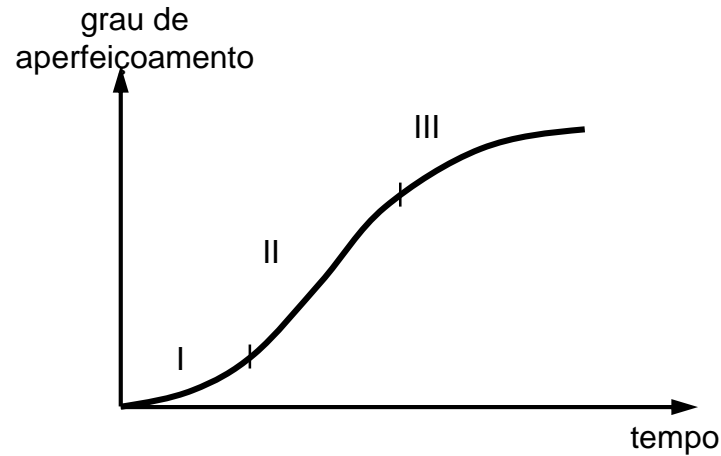
MORFOLOGIA DO PROCESSO DE PROJETO

A abordagem científica e temática de projeto, sua organização e métodos começaram a ser estudadas e interpretadas a partir dos anos 50, e deve ao grande progresso tecnológico obtido durante e decorrente da segunda guerra mundial.

- São representações filosóficas e estratégicas para a condução de um projeto e que podem ser classificados em modelos prescritivos, descritivos e computacionais. ASIMOW 1968, EVBUOMWAN et al. 1996.
- À medida que um projeto é iniciado e desenvolvido, desdobra-se uma sequência de eventos em ordem cronológica, formando um modelo comum a outros projetos. ASIMOW 1968

1.2- Desenvolvimento dos projetos

- Basear-se no que já existe
- Alterar pontos fracos
- Engenharia reversa



JAPÃO:

Anos 50: Indústria arrasada pela guerra

Anos 60: Produtos similares → custo ↓ , qualidade ↓

Anos 70: Produtos similares → custo ↓ , qualidade ↑

Anos 80: Produtos avançados → custo ↑ , qualidade ↑

Anos 90: Liderança

FONTE: NIEMANN, G. Elementos de Máquinas. Ed. Egard Blücher Ltda v.1, 1971.

1.3. Fases de um Projeto

I - Surgimento do produto

- Análise do mercado e/ou
- Solicitação de clientes e/ou
- Plano de desenvolvimento da empresa

II- Esboço preliminar do produto

- Especificação bem feita do produto

III - Planejamento do projeto

- Fases e responsabilidades
- Cronograma

IV - Ante-projeto

- Dimensionar
- Verificar (cálculos)
- Desenhar

V - Análise de custos

- Processo preliminar de fabricação

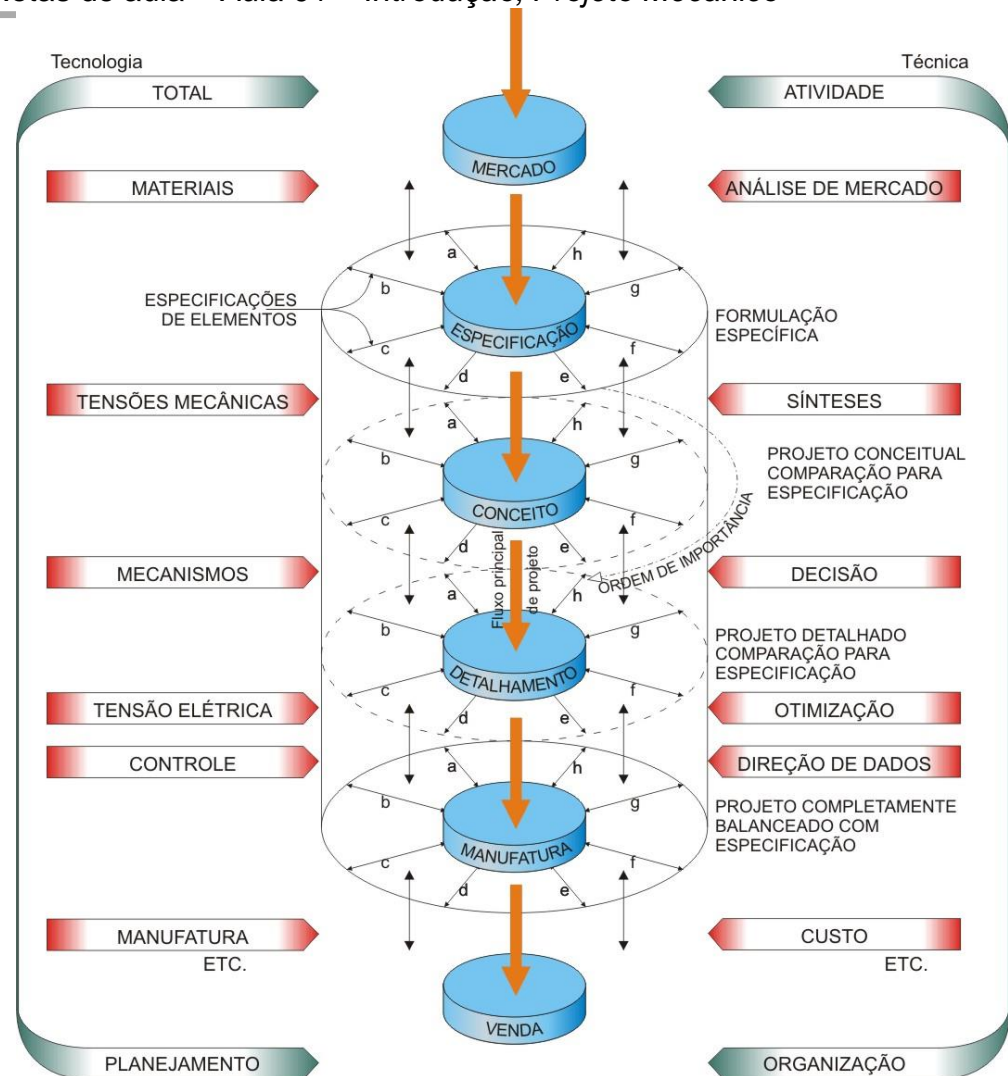


Figura 2.7 – Modelo ativo do “Total Design”. (PUGH, 1995)

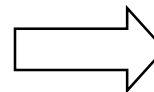
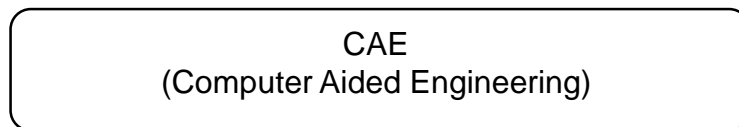
VI - Avaliação do projeto

Envolver todos os departamentos:

- Marketing/vendas
- Assistência técnica
- Projeto
- Fabricação
- Planejamento
- Controle de Qualidade
- Custos
- Compras

VII - Projeto final (definitivo)

- Protótipo
- Modelagem com CAE

VIII - Construção de protótipo

- Elementos Finitos
- Cálculos computadorizados

IX - Testes e avaliação do Produto**X - Alterações****XI - Liberação final para produção**

OBS:

Vida e obsolescência de projetos!

PROCESSO DE PROJETO



1. Reconhecimento de uma necessidade

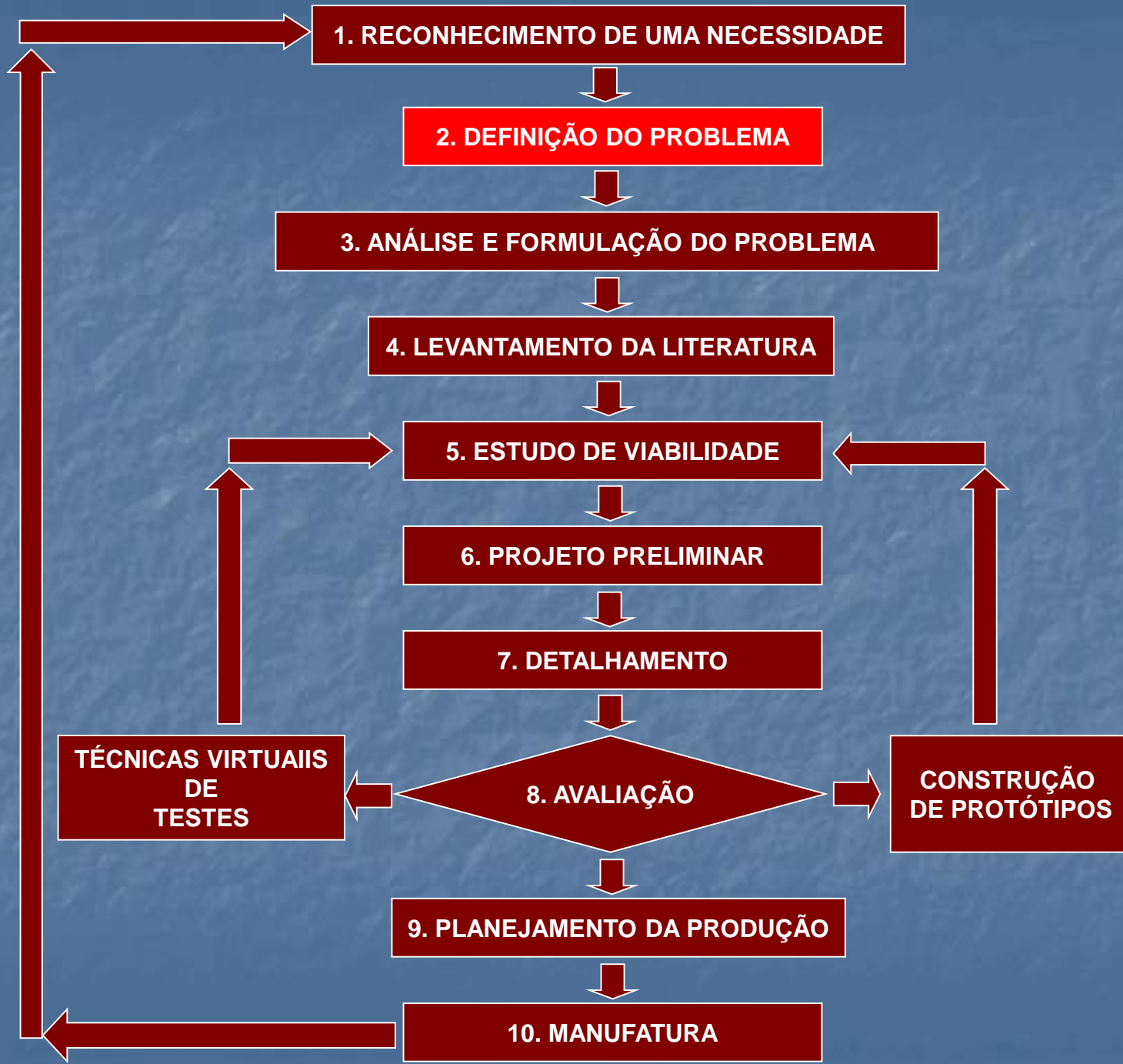


- Necessidades geralmente surgem de uma insatisfação

- > Reduzir o custo

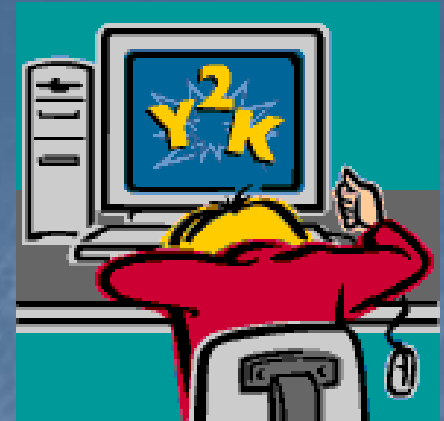
- > Aumentar a confiabilidade/eficiência

- > Mudar



2. Definição do problema

- A definição de um problema inclui:
 - > Apresentação do problema
 - > Objetivos e metas
 - > Definições de termos técnicos
 - > Restrições
 - > Critérios de avaliação



3. Análise e formulação do problema

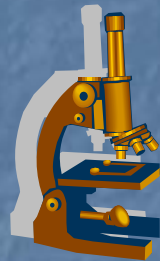
- Para projetar algo:

- > Use a disciplina apropriada da ciência

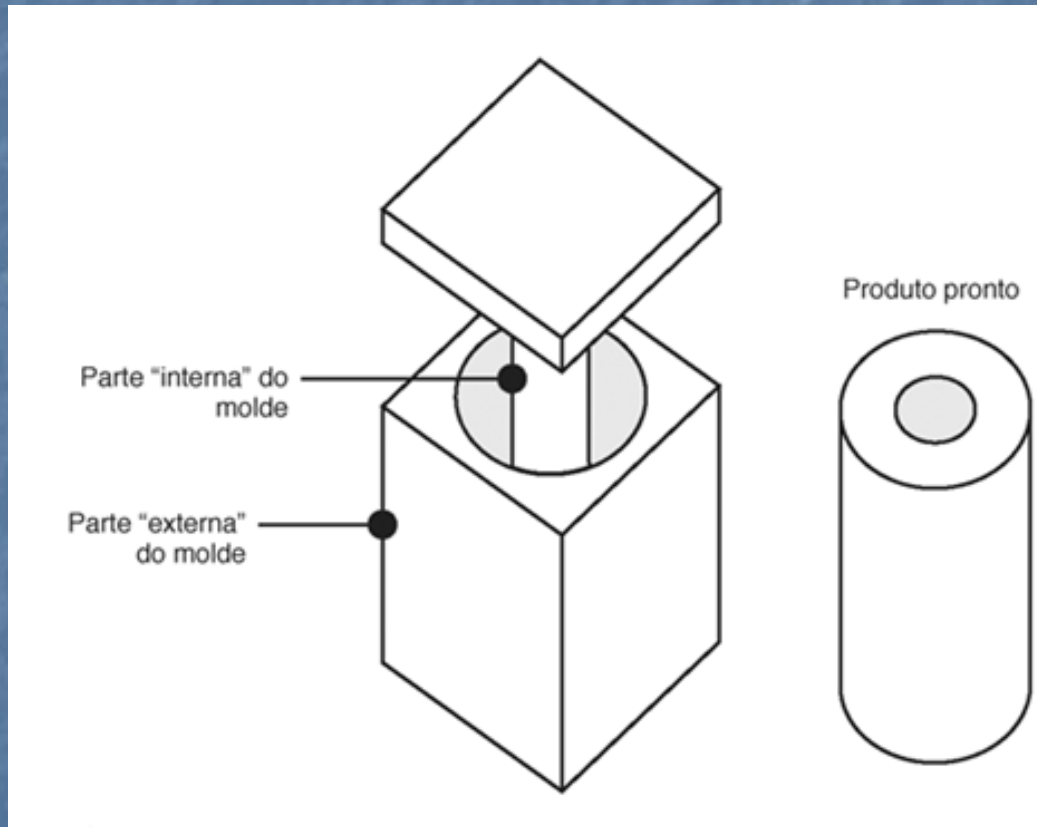
- Escolha as ferramentas



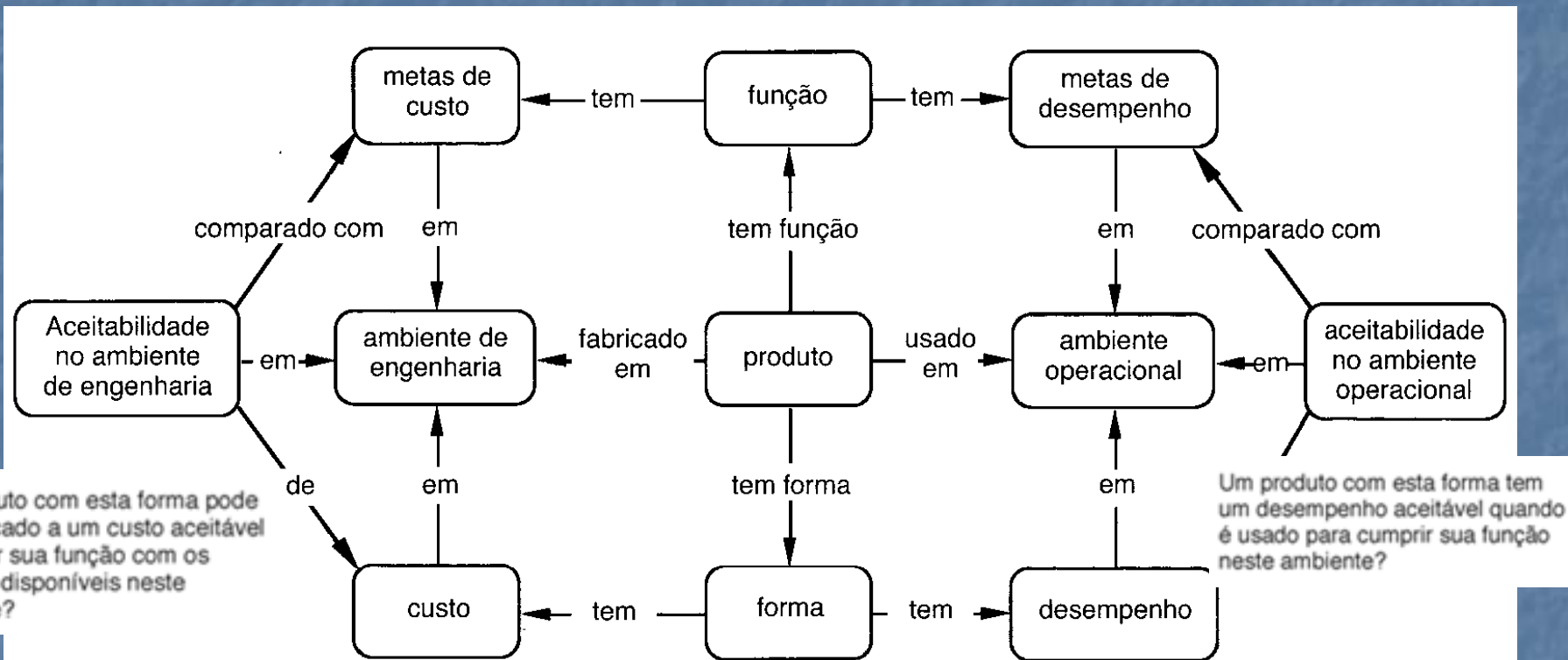
- > Simplifique através de modelos



Forças que moldam um projeto



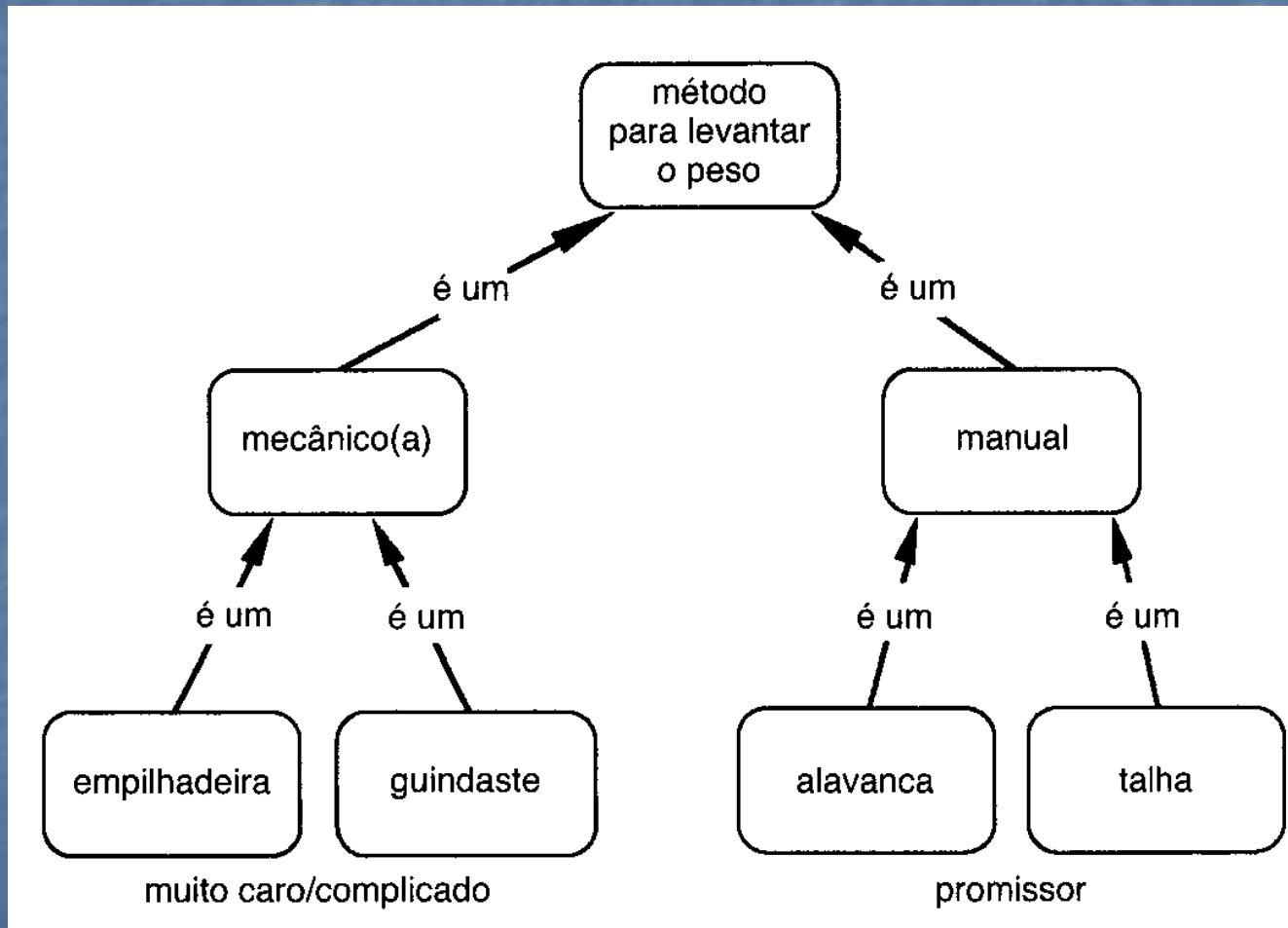
Para que um produto seja aceitável, deve atender às metas de custo e desempenho



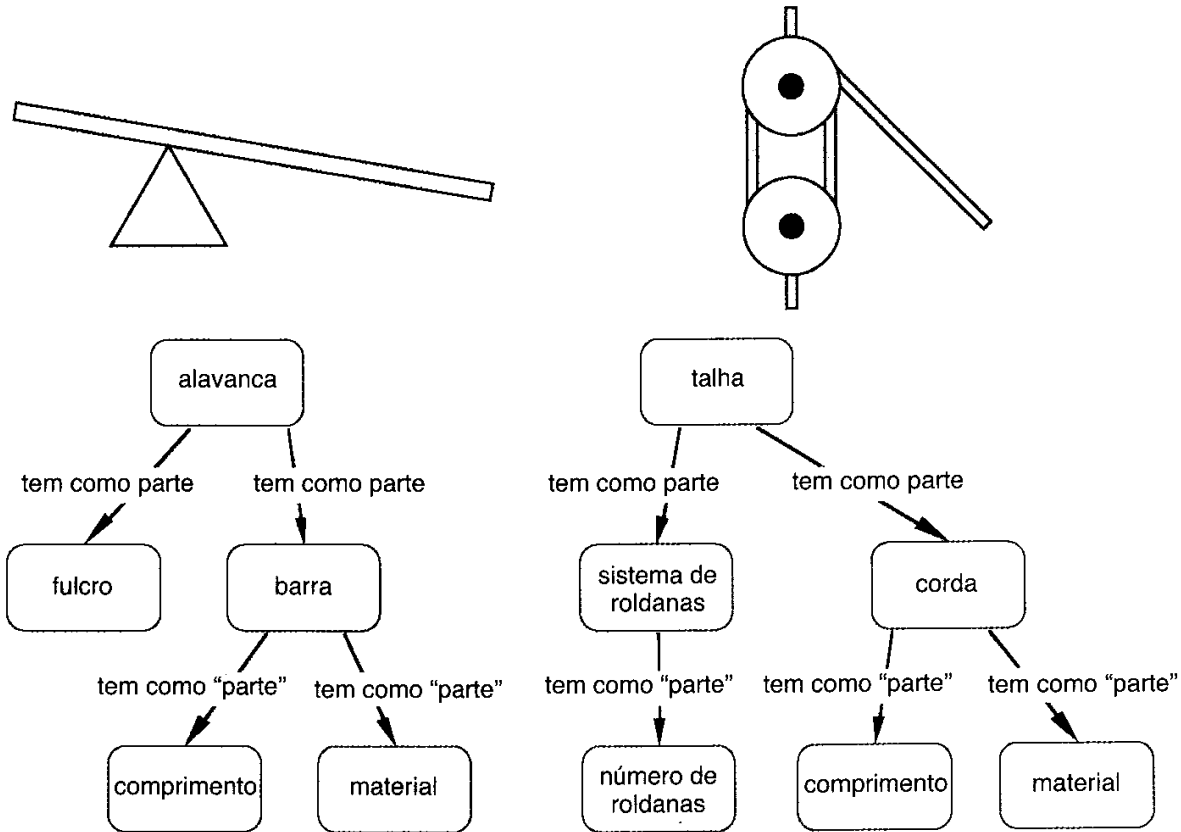
- as pessoas envolvidas no projeto e fabricação do produto;
- as ferramentas e métodos usados no projeto;
- os materiais e tecnologia disponíveis;
- as fábricas e meios de produção.

- as condições socioeconômicas, como financiamentos, códigos de construção, normas ambientais, normas de fabricação e operação, e hábitos e costumes locais;
- o modo como as pessoas interagem com o produto; por exemplo, a forma como operam e consertam o produto;
- o modo como outros produtos podem interagir com ele; por exemplo, o motor e a transmissão de um automóvel.

Hierarquia de classes: “é um”

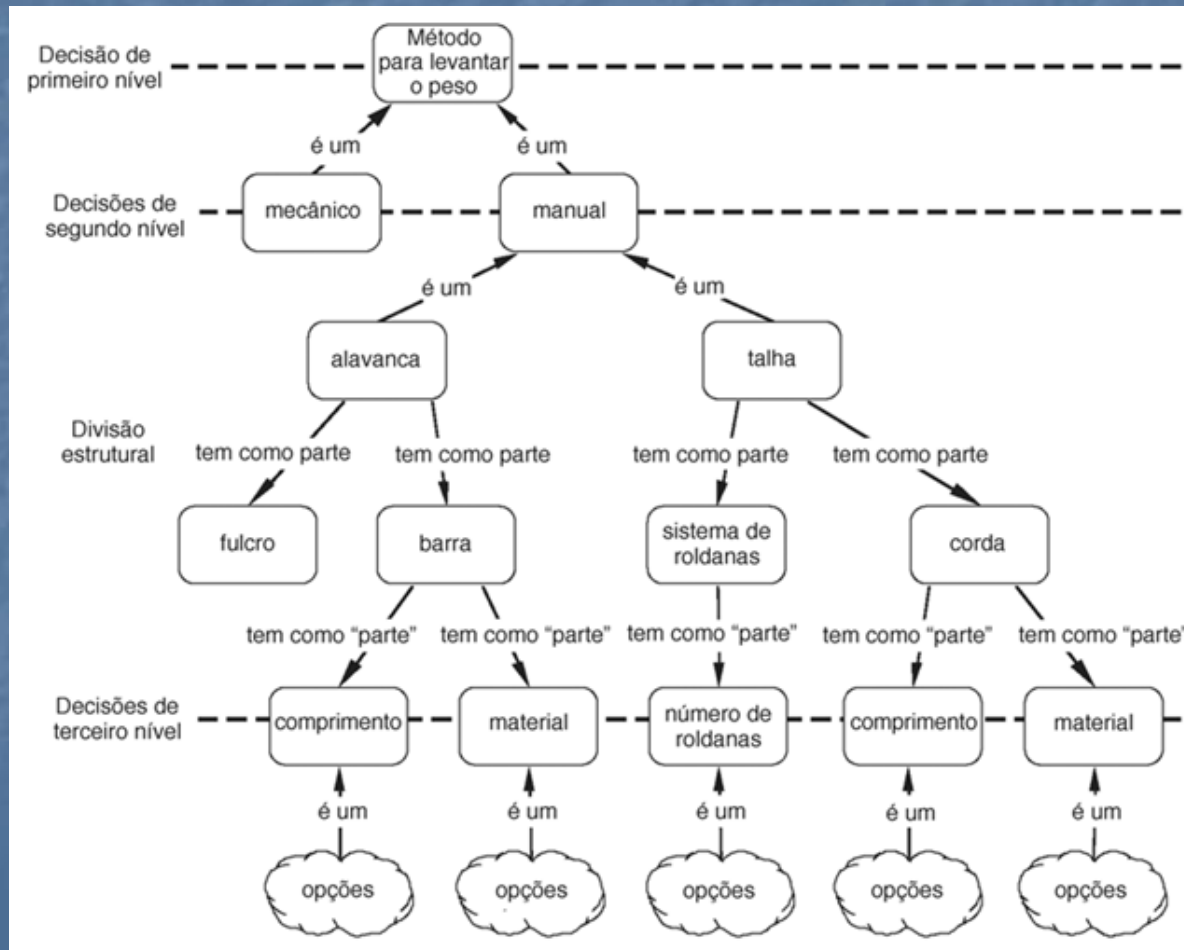


Hierarquia estrutural: "tem como parte"



Hierarquia estrutural dos dois métodos manuais de levantamento.

Mapa conceitual: hierarquia de decisões "é um" + hierarquia de componentes "tem como parte"





4. Literatura

- > Biblioteca
- > *Internet*
- > Relatórios Técnicos [R&D]
- > Relatórios de Empresas
- > *Journals*
- > Patentes
- > Catálogos
- > Manuais etc.





5. Estudo da viabilidade

- Avaliação das soluções,
 - > Factibilidade tecnológica
 - > Factibilidade física
 - > Vantagem econômica
 - > Viabilidade financeira





6. Projeto Preliminar

- Não corra detalhando o projeto !..
- Divida o sistema em blocos funcionais.
- "checklist";

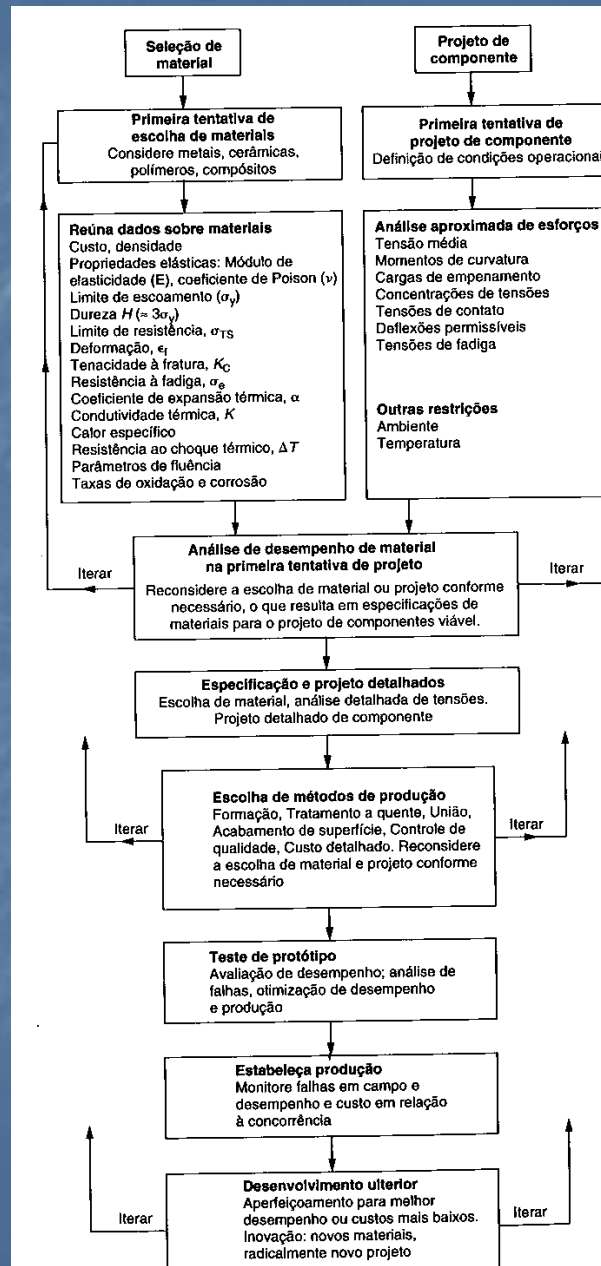


- > Função
- > Resistência
- > Estética
- > Energia
- > Segurança
- > Viabilidade etc.



-A partir daqui alterações tornam-se extremamente caras

Metodologia de Projeto



Metodologia de Projeto

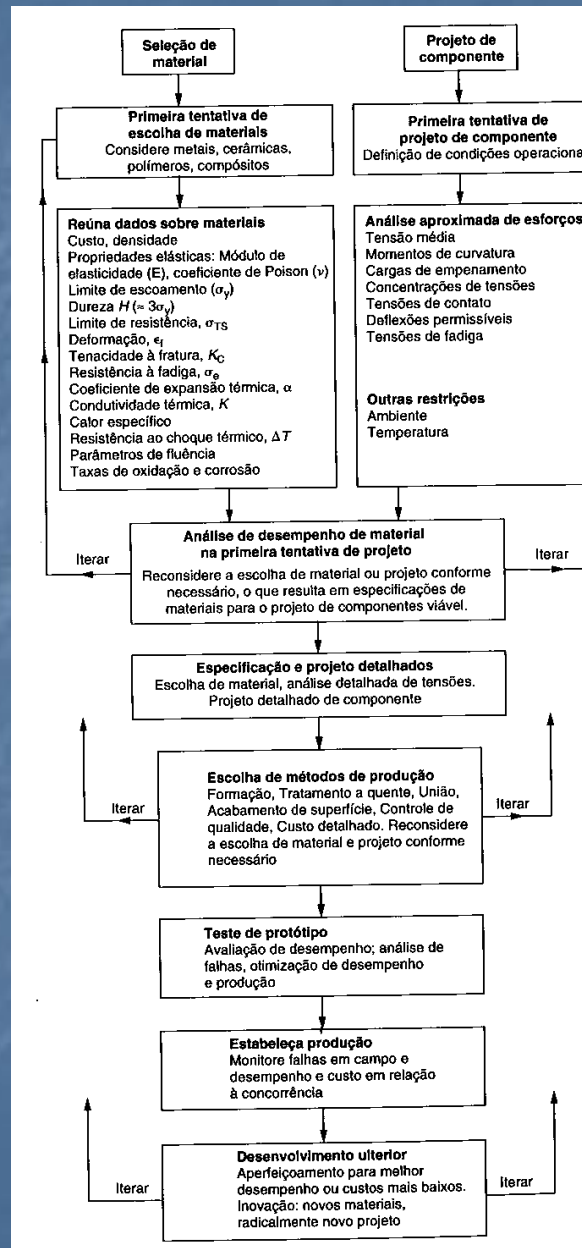
Seleção de material

Primeira tentativa de escolha de materiais
Considere metais, cerâmicas, polímeros, compósitos

Projeto de componente

Primeira tentativa de projeto de componentes
Definição de condições operacionais

Metodologia de Projeto



Metodologia de Projeto

Reúna dados sobre materiais

Custo, densidade
Propriedades elásticas: Módulo de elasticidade (E), coeficiente de Poisson (ν)
Limite de escoamento (σ_y)
Dureza H ($\approx 3 \sigma_y$)
Limite de resistência, σ
Deformação, ϵ
Tenacidade à fratura, K_c
Resistência à fadiga, σ_e
Coeficiente de expansão térmica, α
Condutividade térmica, K
Calor específico, c
Resistência ao choque térmico
Parâmetros de fluência
Taxas de oxidação e corrosão

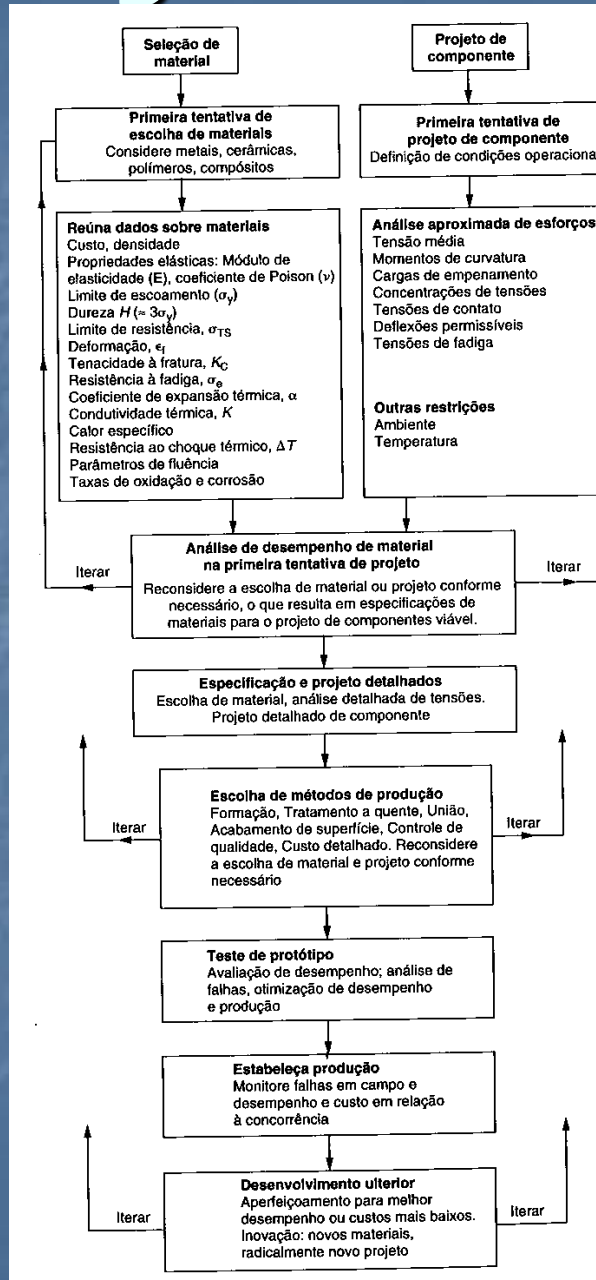
Análise aproximada dos esforços

Tensão média
Momentos de curvatura
Cargas de empenamento
Concentrações de tensões
Tensões de contato
Deflexões permissíveis
Tensões de fadiga

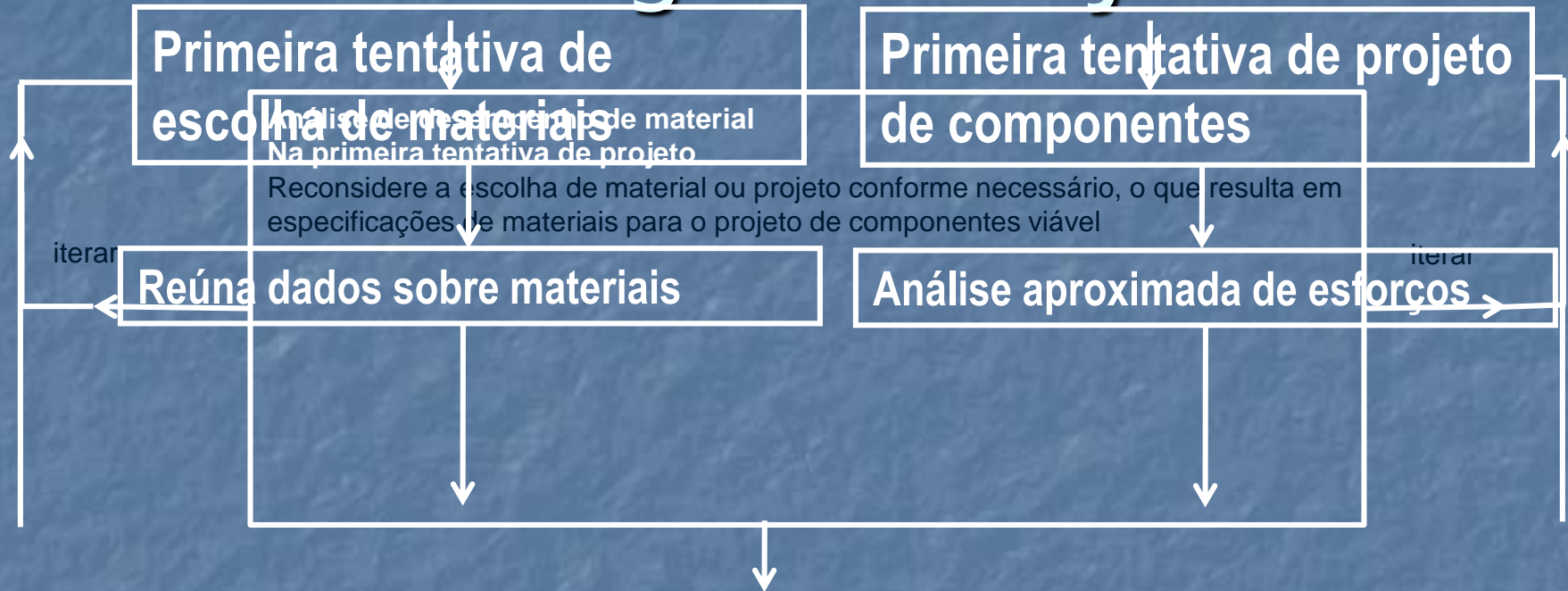
Outras restrições

Ambiente
Temperatura

Metodologia de Projeto



Metodologia de Projeto



Especificação e projeto detalhados

Escolha de material, análise detalhada de tensões.

Projeto detalhado de componentes

Metodologia de Projeto

iterar

Análise de desempenho de material
Na primeira tentativa de projeto

iterar

Especificação e projeto detalhados
Escolha de material, análise detalhada de tensões. Projeto detalhado de componentes

iterar

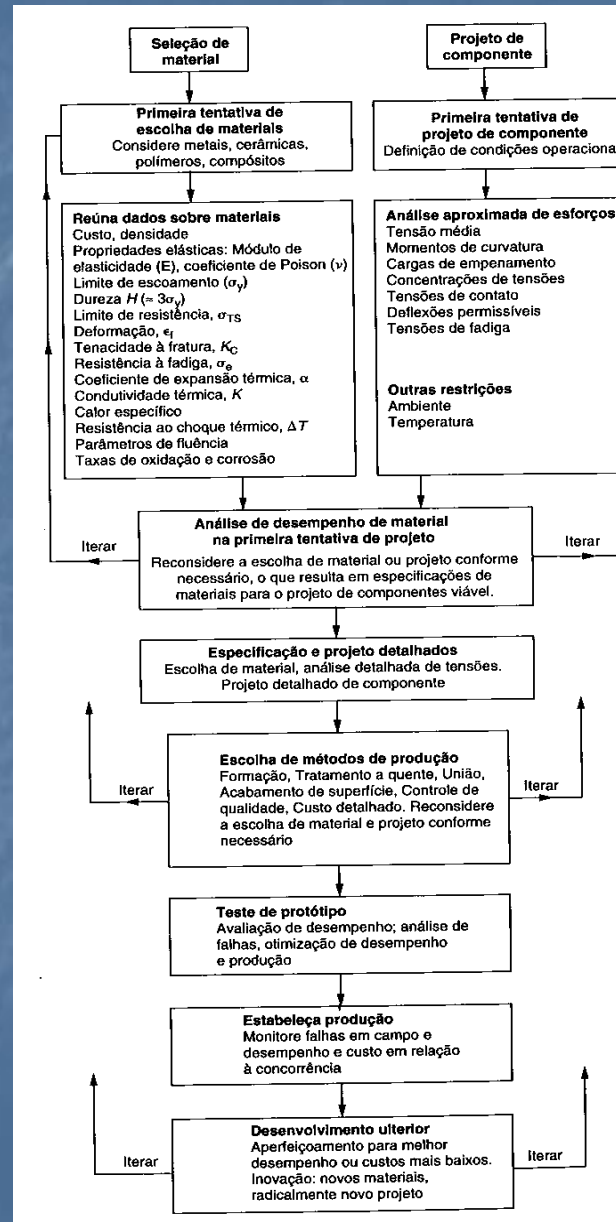
Escolha dos métodos de produção

Formação, tratamento a quente, união, acabamento de superfície, controle de qualidade, custo detalhado. Reconsidere a escolha do material e projeto conforme necessário.

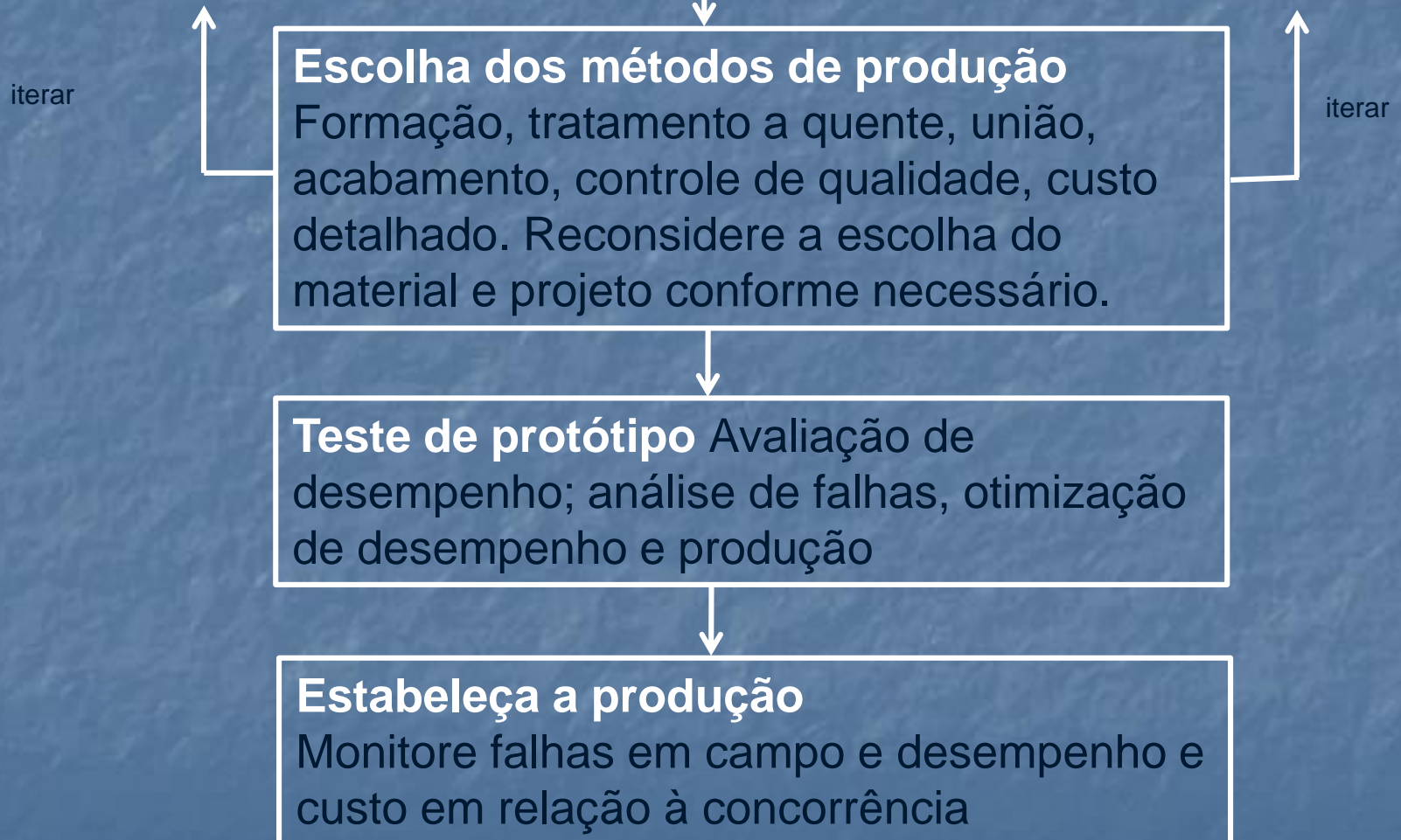
iterar



Metodologia de Projeto



Metodologia de Projeto



7. Detalhamento do Projeto

- Para cada bloco funcional;

- > Forma & Dimensões

- > Tolerâncias & Propriedades Superficiais

- > Materiais

- > Processos de fabricação

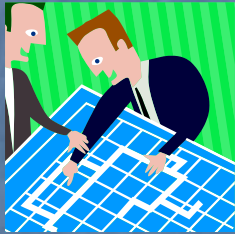
- > Decisões comerciais

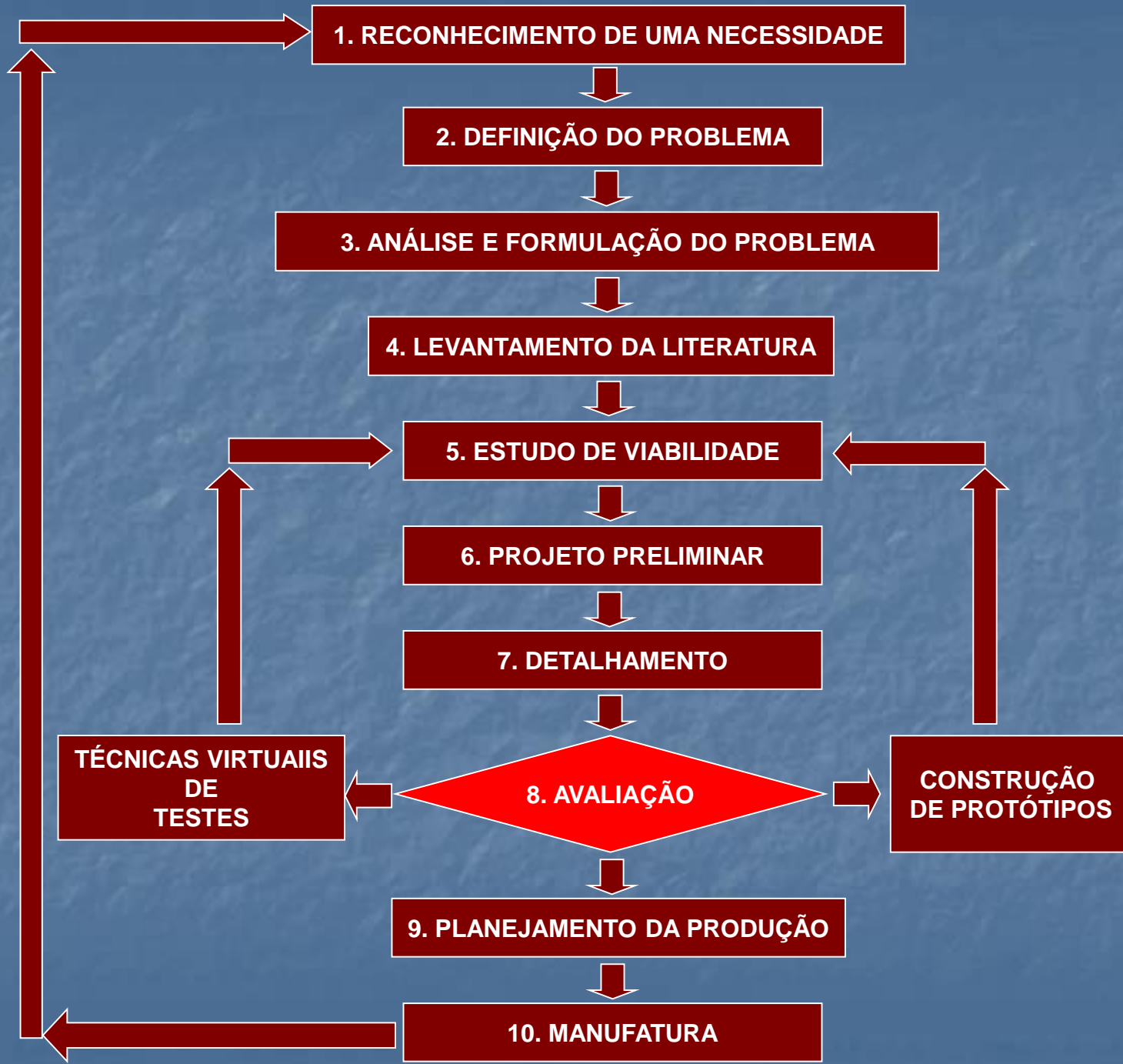
- > Marketing & Serviços

- > Descarte & Vida útil

- > Melhorias

- > Resultado: Modelos & Desenhos Técnicos





8. Avaliação

> Técnicas de testes virtuais

- Integração de computadores no projeto e processo de fabricação

- CAD / CAM / CAE

- Simulação, Animação, Análise FEM



> Construção de protótipos e testes usando técnicas de laboratório

- Fácil, barato, fácil de revisar





9. Planejamento da Produção



- Muito planejamento precisa ser feito.

- > Planejamento de vendas

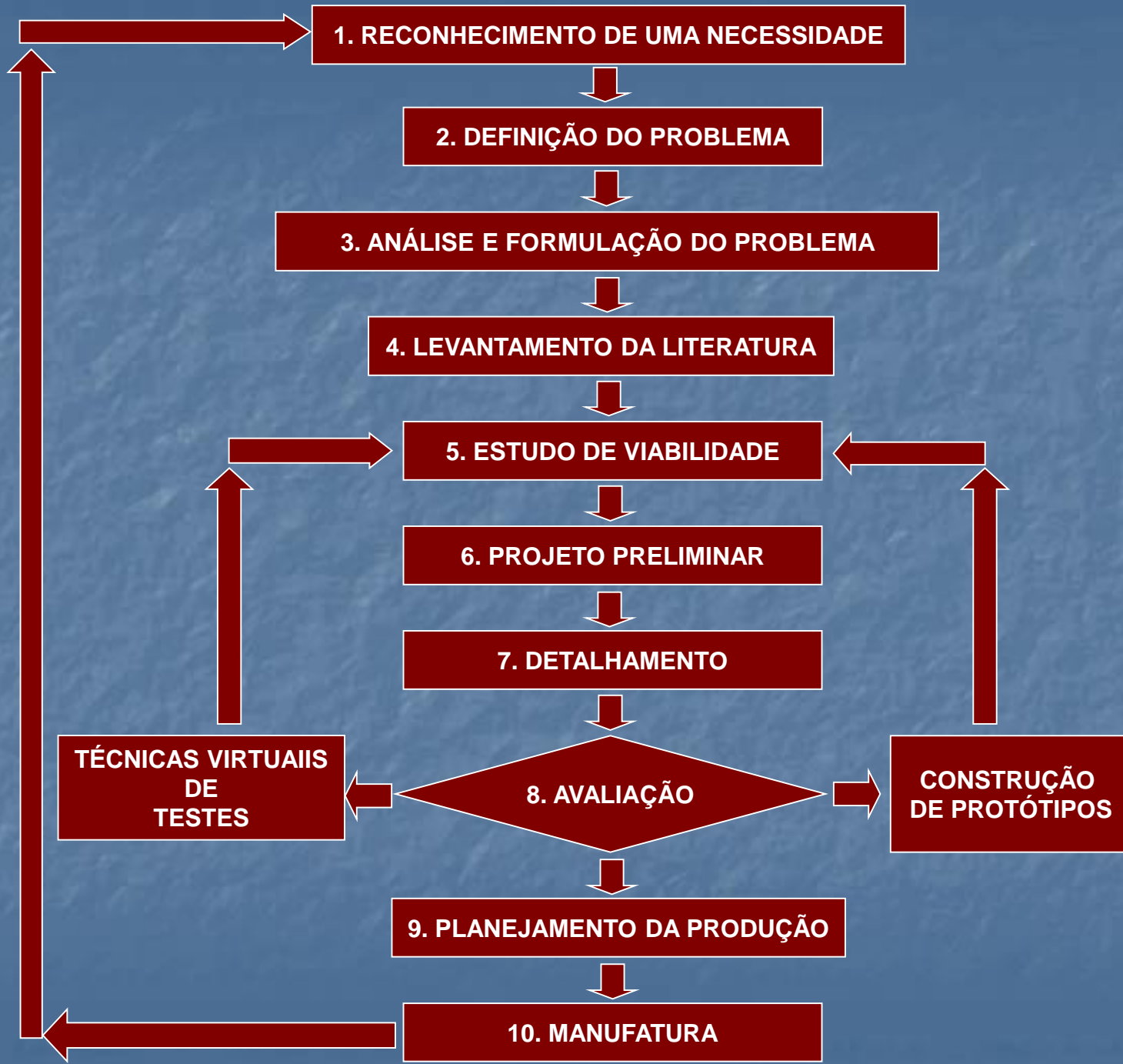
- > Planejamento a longo prazo

- > Gerenciamento de demanda

- > Planejamento de necessidade de materiais

- > Relações com os consumidores





10. Manufatura

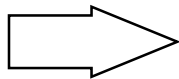
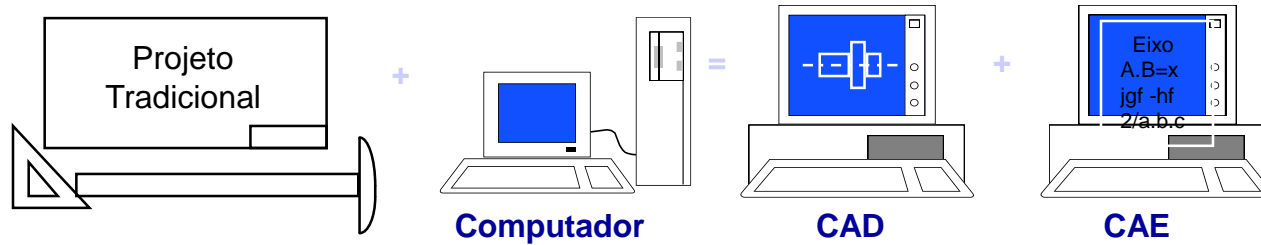
- That is the point where the rubber meets the road !..



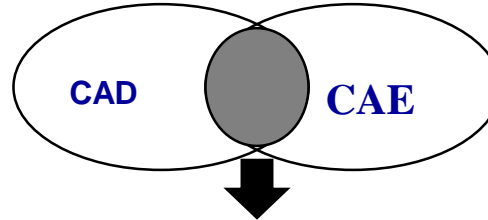
References

- Dieter, George E., Engineering Design, A Materials and Processing Approach
- <http://www.cetex.de/cetex/eng/ausstat.htm#gv>
- <http://www.sapgenie.com/sapfunc/pp.htm>
- <http://fire.nist.gov/bfrlpubs/buildall/key/key1904.html>

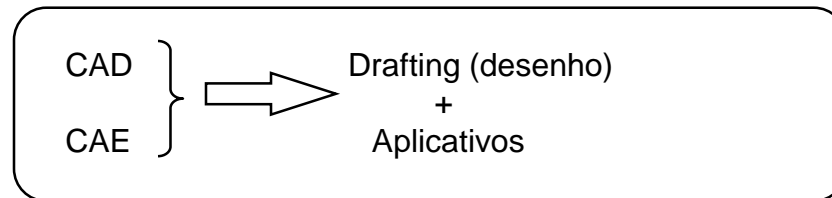
Projeto tradicional x CAD/CAE



CAE = Projeto + Computador – CAD Tradicional



“Áreas Cinzas”



1.4. Aplicativos de CAE

a. Método dos Elementos Finitos

- Tensões e deformações nas peças
- Frequências naturais (ressonâncias) e modos de vibrar
- Transmissão de calor
- Escoamentos de fluidos
- Campos elétricos e magnéticos
- etc

b. Modelagem de sólidos

- Construir figuras 3D
- Gerar malhas de Elementos Finitos

c. Propriedades de sólidos

- Massa
- Áreas
- Volume
- Centro de Gravidade
- Momentos de inércia

d. Projeto de tubulações**e. Cinematismo de sistemas**

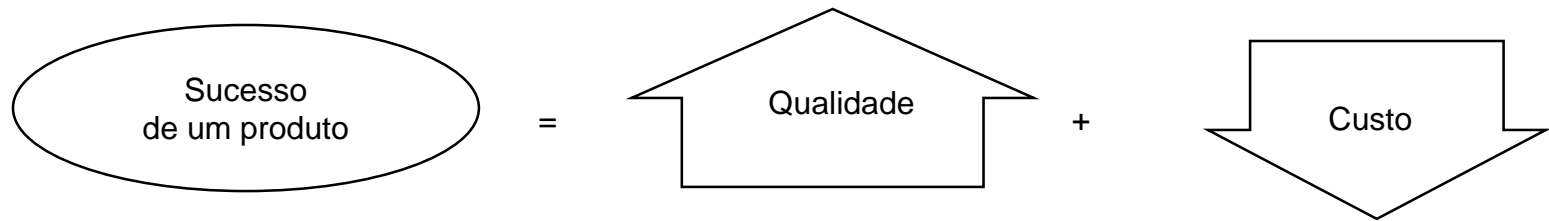
- Trajetória de robôs
- Cálculo de folgas e colisões

f. Projeto de matrizes para injeção de plástico

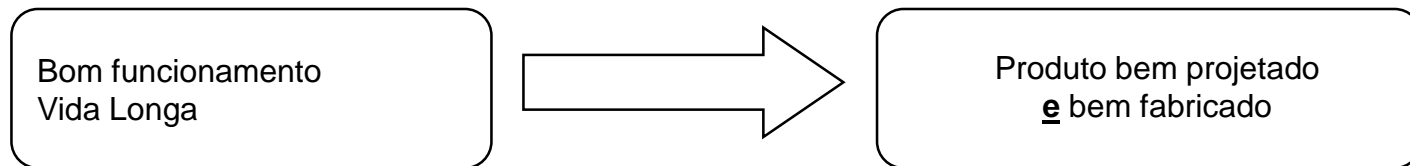
- Projeto de cavidade
- Controle das variáveis do processo
- Projeto do estampo

g. Projeto de placas de circuitos impressos**h. Projeto estrutural arquitetônico****i. Automatização de cálculos e dimensionamento**

1.5. Qualidades e custos

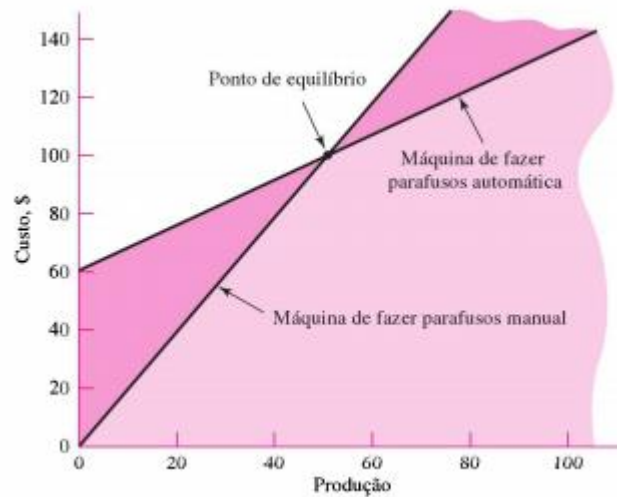
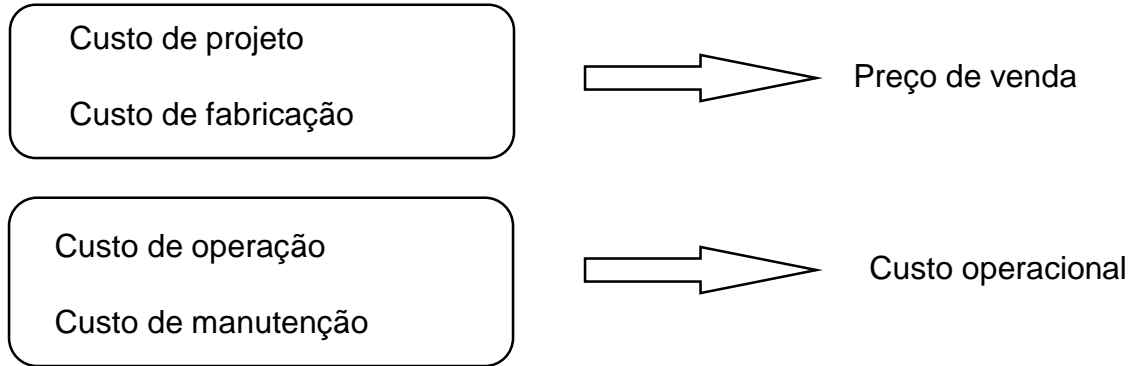


- Qualidade de projeto:
"Produto obedece especificações de projeto"
- Qualidade de fabricação:
"Peças obedecem especificações de desenho"

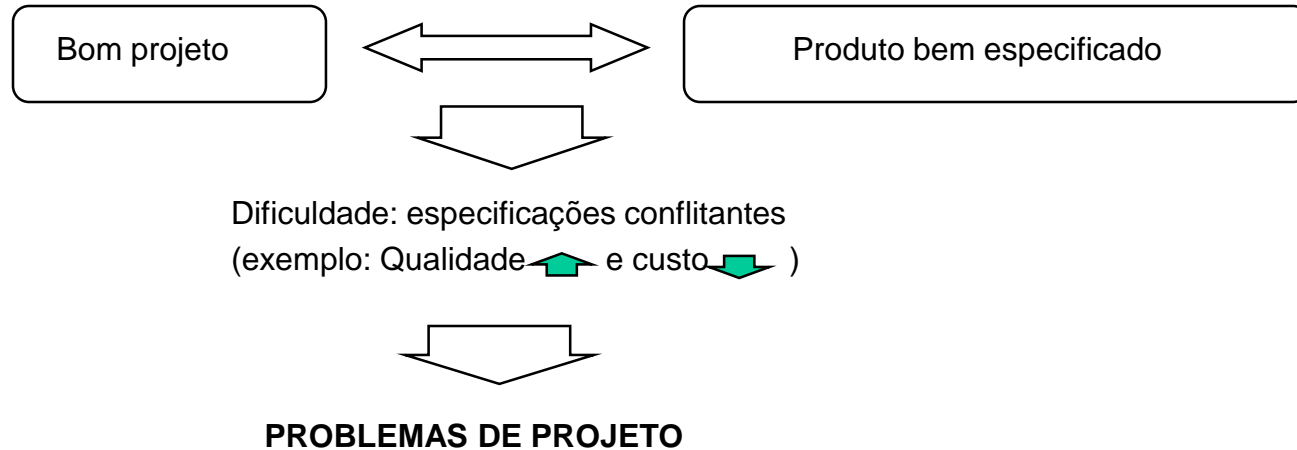


Custos

“Custos são funções das opções de projeto feitas pelo projetista ”



1.6. Solução dos problemas de projeto



Solução dos problemas

a) Localizar bem os problemas → O que é importante para a peça / produto funcionar bem

superfícies
partes

funcionais

x

superfícies
partes

acessórias

Exemplos de superfícies funcionais:

- Superfícies que transmitem força / momento
- Assento de rolamentos
- Guias de movimento relativo
- Superfícies de posicionamento
- Superfícies de vedação e/ou lubrificação

b) Identificar o tipo de problema:

Problema de : {

- projeto
- fabricação
- especificação
- etc.

Solucionando Problemas

TIPOS DE PROBLEMAS

- *Os problemas de pesquisa* exigem que uma hipótese seja comprovada ou refutada.
- *Os problemas de conhecimento* ocorrem quando uma pessoa se depara com uma situação que não entende.
- *Os problemas de defeitos* ocorrem quando o equipamento se comporta de forma inesperada ou imprópria.
- *Os problemas matemáticos* são encontrados por engenheiros ao descrever os fenômenos físicos por um modelo matemático .

Solucionando Problemas

TIPOS DE PROBLEMAS

- *Os problemas de recursos* são sempre encontrados no mundo real. Tempo, dinheiro, pessoal, equipamento necessários para executar uma tarefa.
- *Os problemas sociais* estão relacionados com escassez de mão de obra especializada, treinamento, baixa escolaridade.
- *Os problemas de projeto* são o coração da engenharia. Exigem criatividade, conhecimento e trabalho em equipe.

Procedimento para solução de problemas

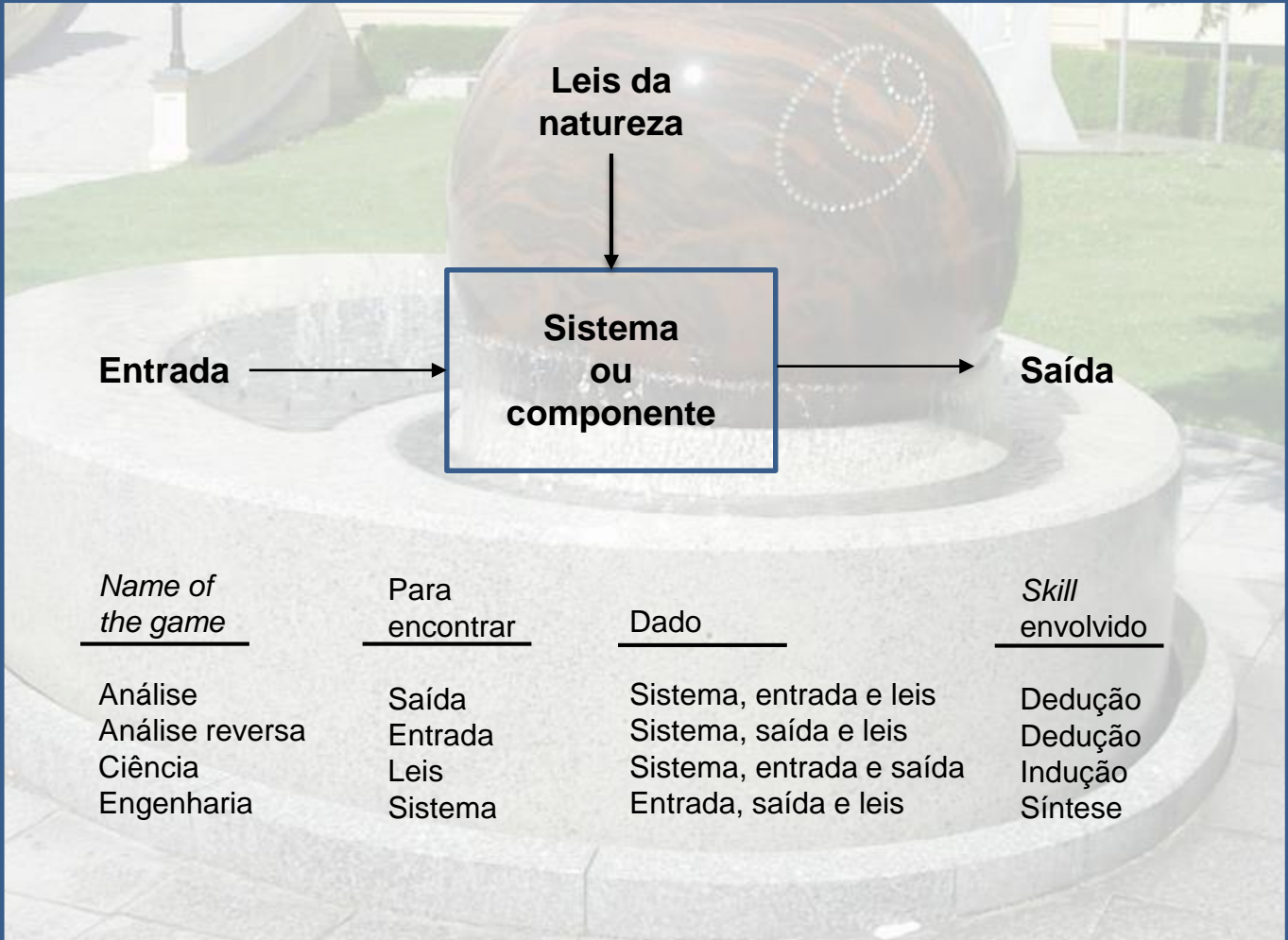


Síntese PROCESSO CRIATIVO

Profissões criativas

Profissão	Objetivos	Restrições
Escritor	Comunicação, exploração de emoções, desenvolvimento de personagens	Linguagem
Artista	Comunicação, criação de beleza, experimentação com diferentes meios	Forma visual
Compositor	Comunicação, criação de novos sons, exploração do potencial de cada instrumento musical	Forma musical
Engenheiro	Simplicidade, maior confiabilidade, maior eficiência, custo reduzido, melhor desempenho, menor dimensão, menor peso etc.	Leis físicas e economia

Fonte: Holtzaple & Reece



<u>Name of the game</u>	<u>Para encontrar</u>	<u>Dado</u>	<u>Skill envolvido</u>
Análise	Saída	Sistema, entrada e leis	Dedução
Análise reversa	Entrada	Sistema, saída e leis	Dedução
Ciência	Leis	Sistema, entrada e saída	Indução
Engenharia	Sistema	Entrada, saída e leis	Síntese

b) Identificar o tipo de problema:

Problema de : {
- projeto
- fabricação
- especificação
- etc.

c) Fazer perguntas adequadas:

- Como os concorrentes solucionam?
- Quais objetivos não foram alcançados?

• Qual a solução mais : {
Fácil?
Barata?
Correta?

d) Analisar várias alternativas

- “Brain Storm”
- Listar todas as soluções possíveis
- Dar notas e escolher
- técnica de Quality Function Deployment (QFD)

e) FMEA

- modernamente aplica-se também Failure Mode and Effects Analysis. Esta técnica e a de QFD (Quality Function Deployment) são ferramentas de Engenharia de Produção aplicados ao projeto de produtos

Geração de idéias

É um ato fundamental, para pensamento criativo. Muitas técnicas de criatividade são citadas na tentativa de unir idéias que se encontram livres.

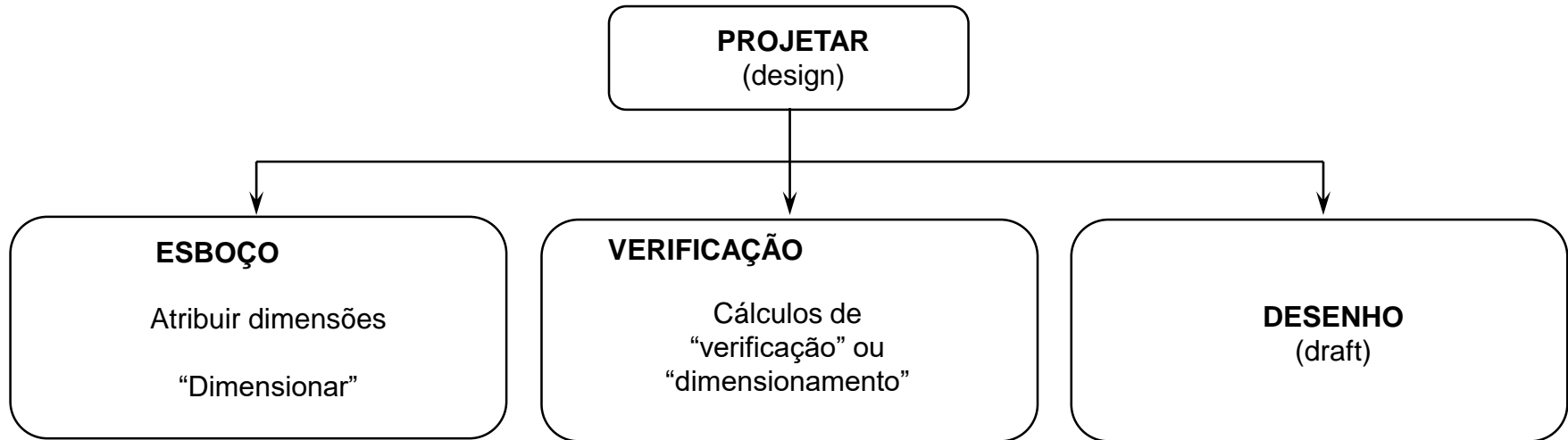
Ferramentas de geração de idéias:

- Métodos convencionais: procura de literatura, análise de sistemas naturais, análise de sistemas de técnicas existentes, analogias;
- Métodos intuitivos: *brainstorming*, *brainwriting* (Método 6.3.5), método de combinação;
- Métodos discursivos: estudo sistemático de processos físicos, busca sistemática com esquemas de classificação auxiliar, uso de catálogos técnicos de projeto.

Algumas requerem pouco tempo e esforço. Assim, os possíveis benefícios de uma solução inovadora geralmente justificam os seus custos. Para muitos projetistas, quando se necessita de uma ferramenta para geração de novas idéias adota-se o processo de *Brainstorming*. Porém, essa técnica pode se mostrar pouco eficiente. Segundo Baxter (1999), a principal característica do *Brainstorming* baseia-se nas idéias de uma pessoa, que inspira outras pessoas e, assim idéias vão fluindo respectivamente. Porém, deve-se cuidar para que o processo não fique polarizado na idéia inicial. Dessa forma, o resultado obtido não será muito diferente daquele que seria conseguido individualmente.

Fonte: Pahl (2005); Baxter (1999) :

1.7. Projetar, dimensionar, verificar



Critérios usuais:

- Tensão admissível
- Flecha (deformação) admissível

• Outros Critérios:

- rigidez dinâmica
- velocidade crítica
- resistência à corrosão
- etc

2. ALGUMAS REGRAS DE BEM PROJETAR

2.1. Redução de custos

a) Redução de custos na construção.Ex:

- Comprar ou fabricar nós mesmos?
- Padronização e normalização de peças

b) Redução de custos de material.Ex:

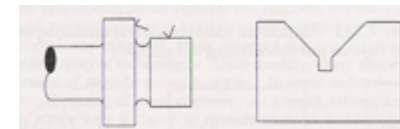
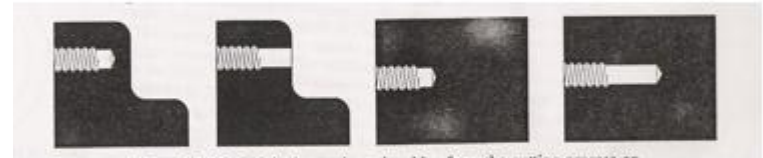
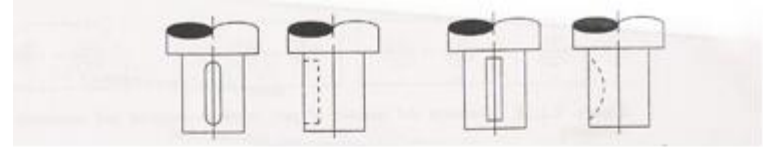
- Formatos adequados
- Forjamento ou fundição
- Redução de sobras, aparas, refugos

c) Redução de custos de fabricação.Ex:

- Processos de fabricação adequados
- Acabamentos e tolerâncias somente em superfícies funcionais

d) Redução de custos para o consumidor.Ex:

- Facilidade de manutenção, montagem e desmontagem
- Baixo custo de embalagem
- Baixo custo de transporte



2.2. Influência das solicitações em serviço

- a) Dimensionamento e verificações corretas. Uma peça não deve:
- Romper
 - Deformar excessivamente
 - Desgastar
 - Ser corroída
- b) Evitar esforços e sobrecargas desnecessárias. Ex
- Fusíveis
 - Pinos de segurança
- c) Se existirem choques, forças alternativas, reversão de movimentos. Ex:
- Eliminar folgas
 - Usar pré-carga
- d) Se existirem rotações elevadas. Ex:
- Balanceamento
 - Velocidades críticas e ressonâncias
- e) Baixo ruído de funcionamento. Ex:
- Mancais de deslizamento
 - Materiais e lubrificação adequados
 - Amortecimento interno
- f) Atrito e desgaste. Ex:
- Usar materiais adequados
 - Dureza adequada
 - Peças postiças / ajustáveis
- g) Vedações
-

2.3. Influência da operação, manutenção e segurança do funcionamento

a) Facilitar a operação. Ex:

- Ergonomia;

b) Prever falta de cuidado: Ex:

- Soluções *foolproof*;

c) Segurança de funcionamento. Ex:

- Freios de segurança;

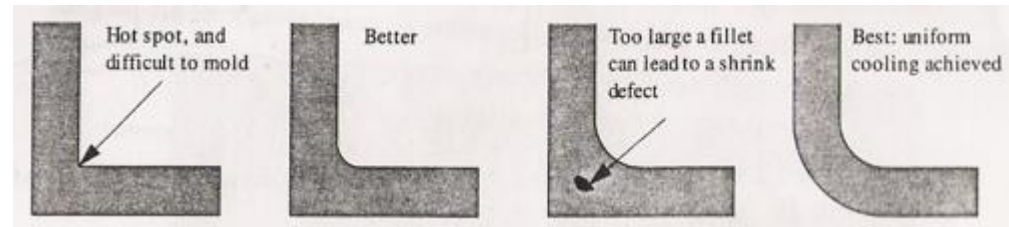
d) Facilitar manutenção. Ex;

- Lubrificação acessível.

2.4. Influência do material e tipo de processo de fabricação

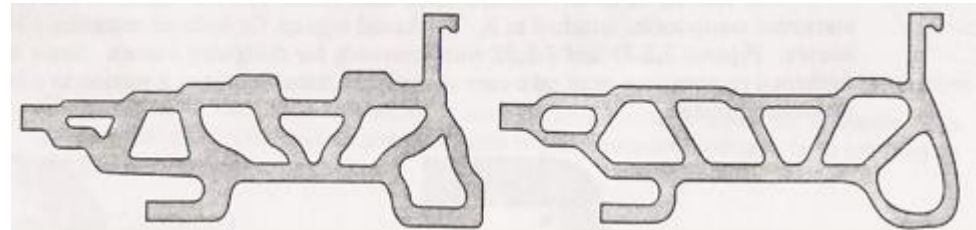
a) Uso de materiais avançados.Ex:

- Plásticos / polímeros
- Cerâmicas
- Ligas de Titânio
- Fibras de vidro / Carbono
- Silício, vidros ópticos, etc.



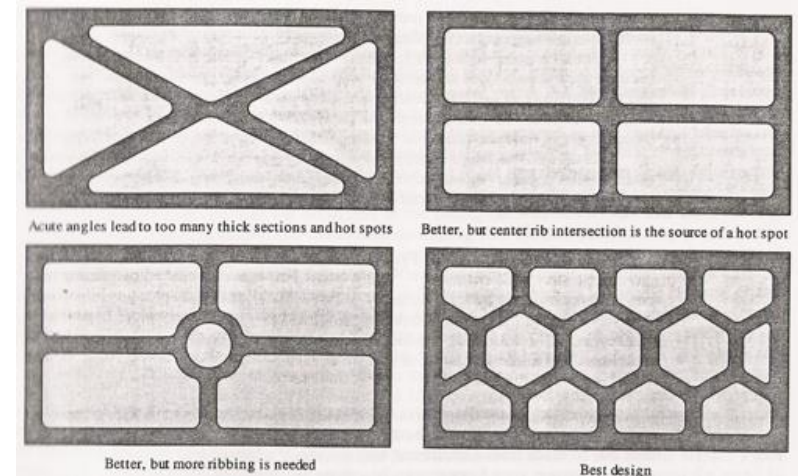
b) Influência do número de peças.Ex:

- Lote pequeno → peças soldadas
- Lote grande → peças fundidas



c) Projetar formas de acordo com material + processo.Ex:

- Peças fundidas
- Peças forjadas
- Peças soldadas
- Peças usinadas
- Peças injetadas
- Peças extrudadas
- Peças coladas
- Peças sinterizadas



3. RESPONSABILIDADE DO PRODUTO

De maneira geral o Engenheiro Projetista bem como o fabricante de um produto (Engenheiros de Produção) são responsáveis pelos danos ou ferimentos que estes venham a causar, mesmo que não tenham a noção sobre o defeito.

As melhores práticas de prevenção são:

- engenharia satisfatória: análise;
projeto;
controle de qualidade;
ensaios;
normalização

4. INCERTEZAS

São muitas as incertezas em projetos de máquinas, é sempre necessário calcular um ou mais coeficientes de segurança para estimar a probabilidade de falha. Há também normas específicas, de legislatura ou aceitos de forma geral.

O Coeficiente de segurança ou fator de segurança (N), sempre adimensional, é tipicamente a razão entre duas quantidades de mesma unidade: resistência/tensão atuante; esforço crítico/esforço aplicado; velocidade crítica/velocidade de operação.

$$N = \max(F1, F2, F3)$$

$F1 \rightarrow$ incertezas sobre propriedades dos materiais
 $F2 \rightarrow$ condições ambientais de uso
 $F3 \rightarrow$ modelos analíticos de forças e tensões

Ex:

Aeronaves comerciais: $N \rightarrow 1,2-1,5$ (devido a necessidade de peso baixo, sofisticados ensaios analíticos)

Aeronaves militares: $N < 1,1$ (tripulação usa pára-quedas)

Mísseis: $N=1$ (não tem tripulante)

Escada rolante: $N=14$ (em um Estado americano)

Suporte de elevadores $F^*=2$

Suporte de maquinas leve $F \geq 1,2$

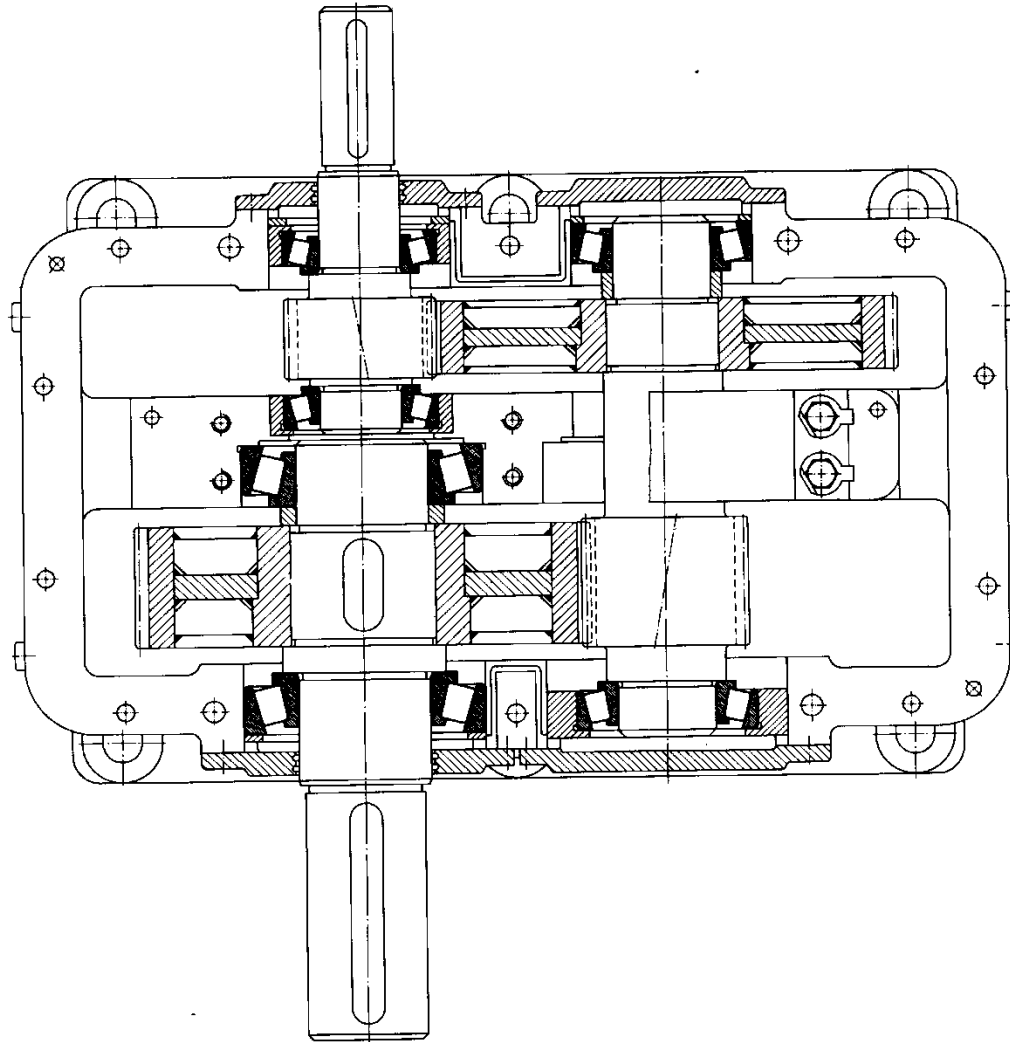
Suporte de maquinas de movimento alternado $F \geq 1,5$

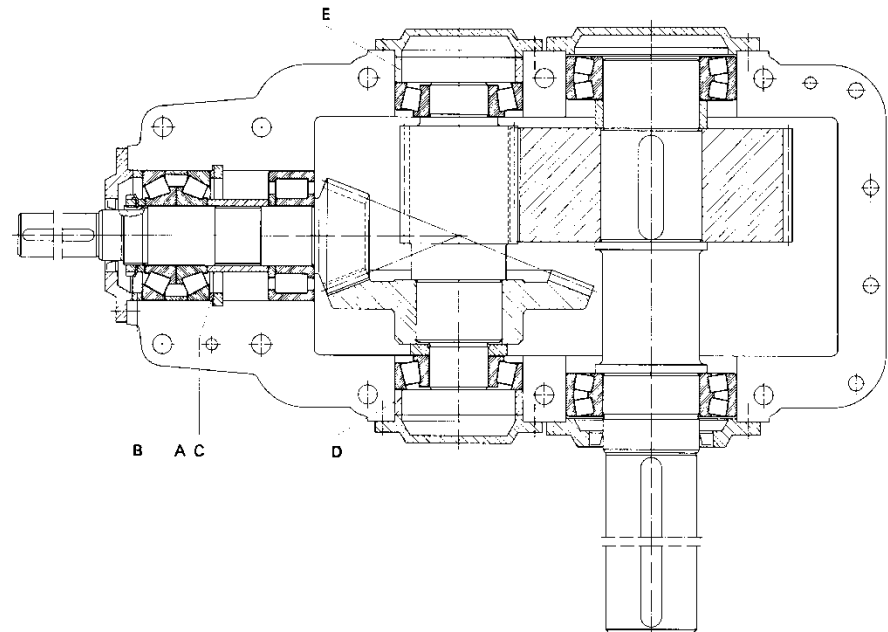
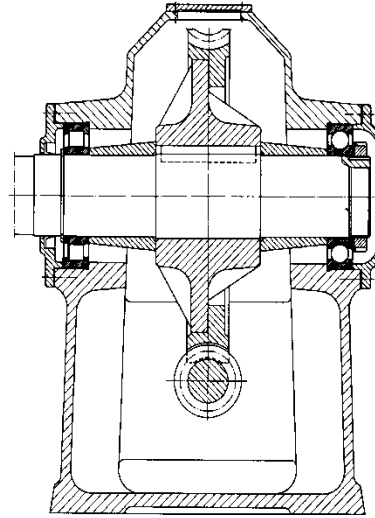
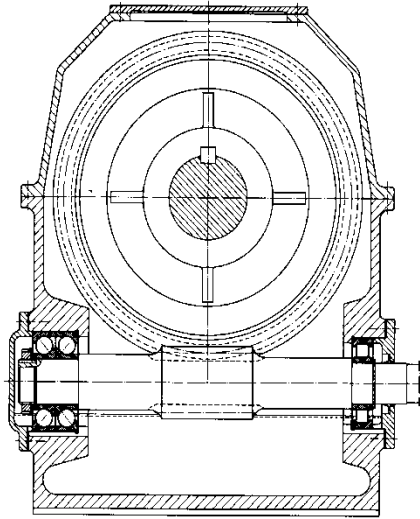
* F = fator de serviço

Fontes: NORTON, R.L. “Projeto de Máquinas”, 2.ed. Bookman, Porto Alegre, 2004.; SHIGLEY, J.E., Projeto de engenharia mecânica, Ed. Bookman, Zed, 2005

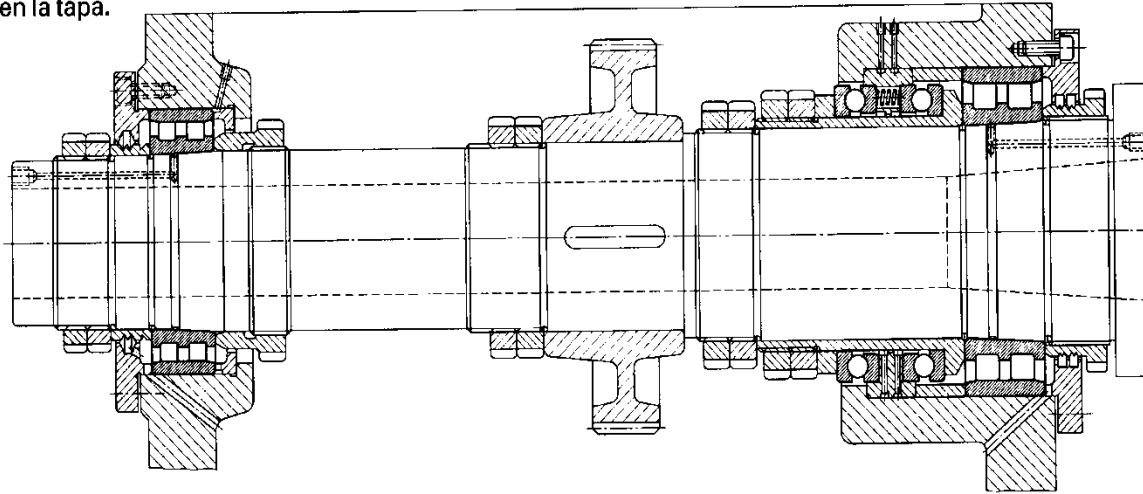
Incertezas

- Composição dos materiais
- Variação das propriedades ao longo do material
- Efeito de processos de fabricação
- Efeito de uniões nas propriedades
- Variação na intensidade e distribuição de cargas
- Aproximação dos modelos usados
- Intensidade de concentração de tensões
- Corrosão, desgaste e outros.

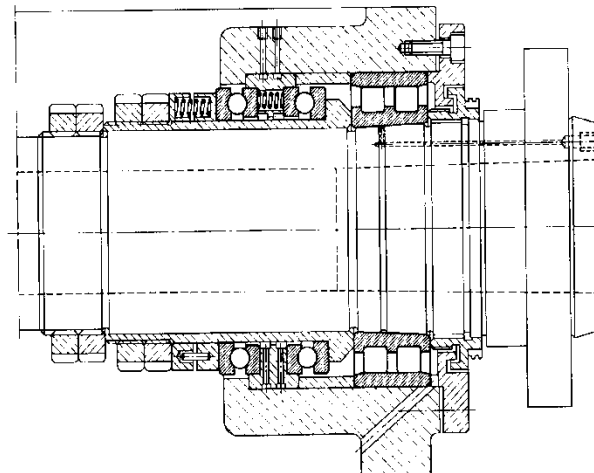
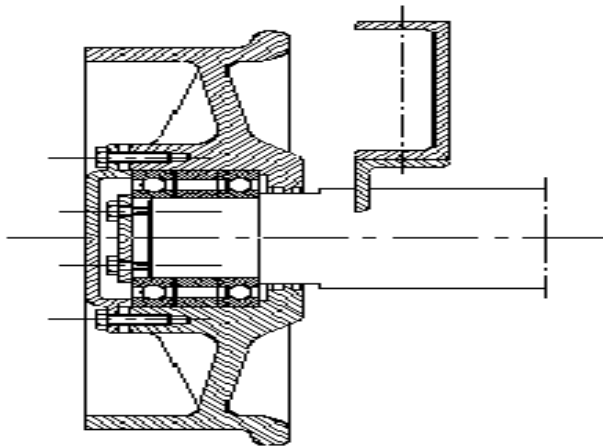




so conjunto una cubierta para...
en la tapa.

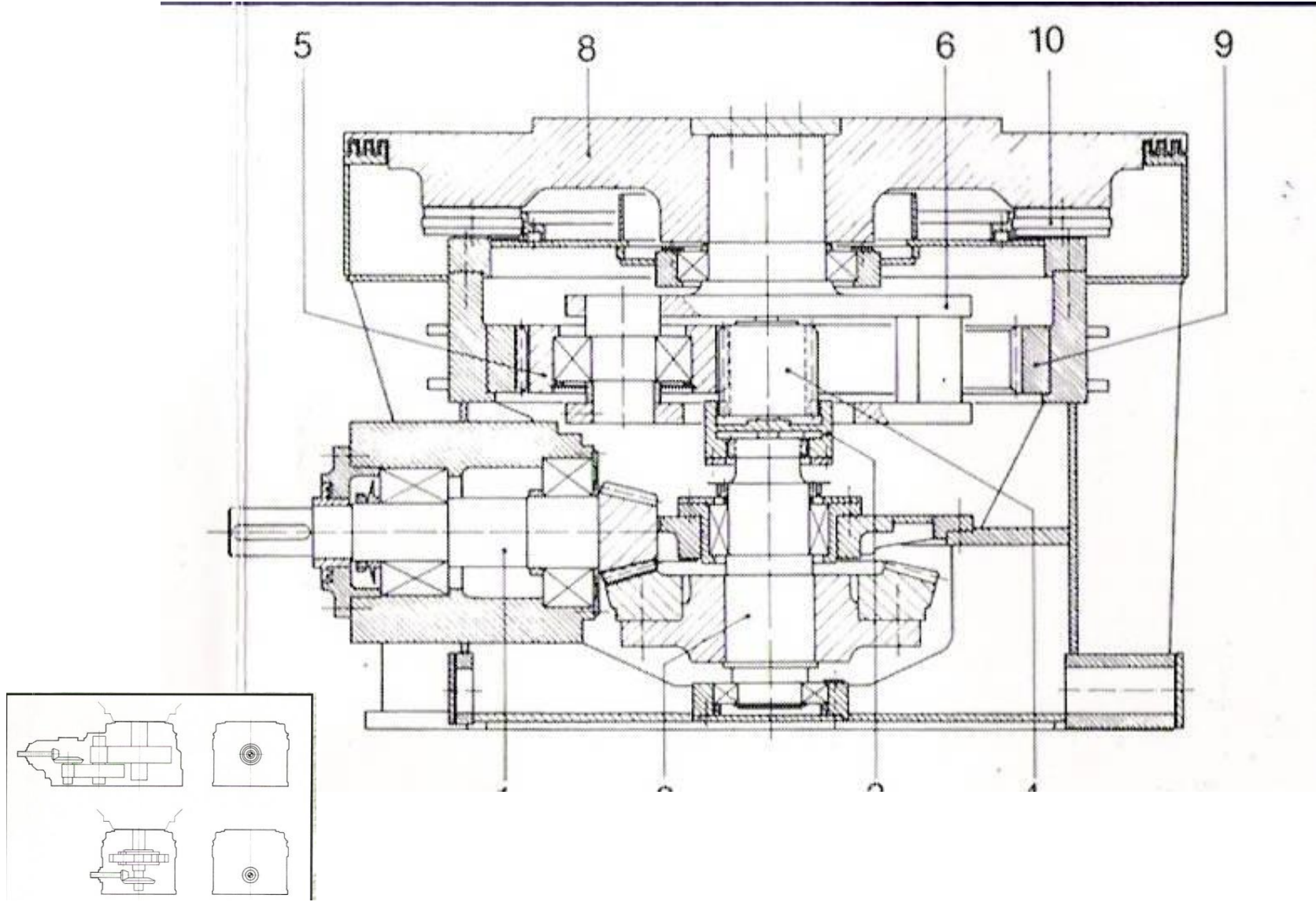


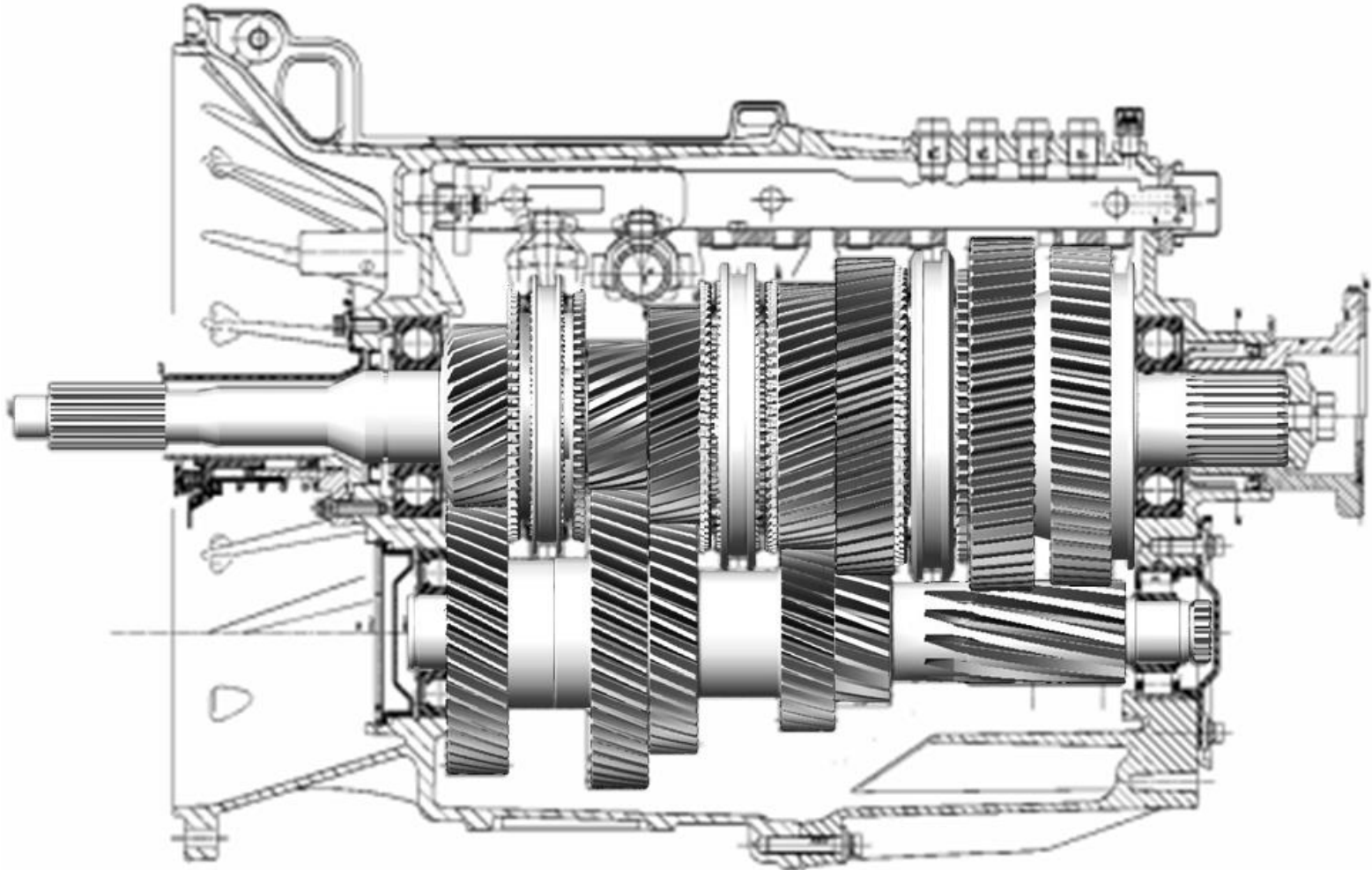
6 Husillo de un torno











5- BIBLIOGRAFIA

BAXTER, M. *Projeto de Produto*. Ed. Edgard Blücher, 2000.

NIEMANN, G. “Elementos de Máquinas”, vols. I, II e III, Editora Edgard Blucher, 1991.

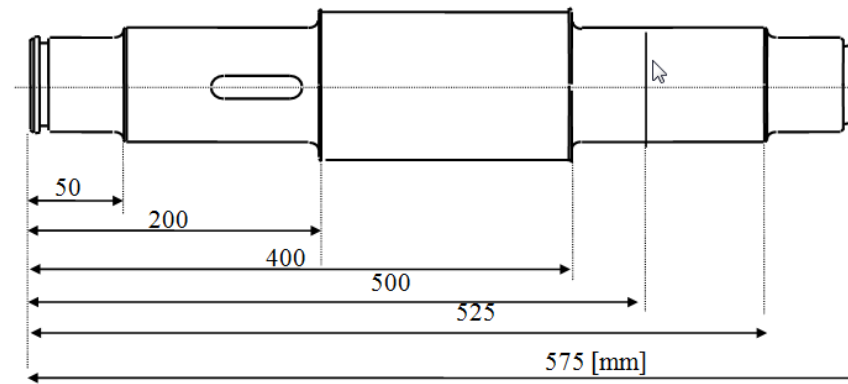
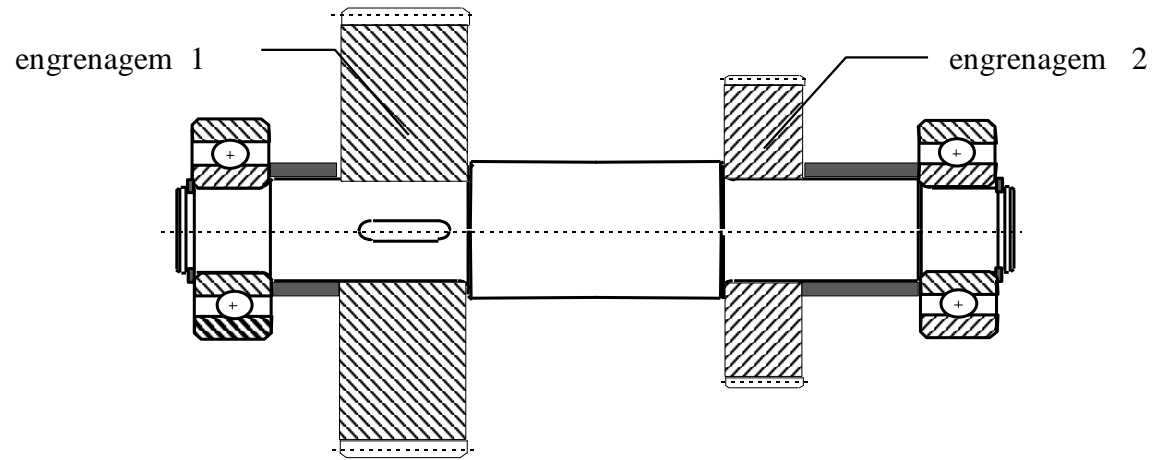
NORTON, R.L. “Projeto de Máquinas”, 2.ed. Bookman, Porto Alegre, 2004.

PAHL, G.; BEITZ, W.; FELDHUSEN, J.; GROTE, K-H. *Projeto na Engenharia*, Ed. Edgard Blucher. 2005, 412p.

PUGH, S. *Total design: Integrated method for successful product engineering*. Addison-Wesley, 1995.

SHIGLEY, J. E. “Projeto de Engenharia Mecânica”, 7.ed. Bookman, Porto Alegre, 2005.

SKF - Catálogo de Rolamentos, 1989.



Tamanhos preferenciais e série de Renard

Table A-17

Preferred Sizes and Renard (R-Series) Numbers
(When a choice can be made, use one of these sizes; however, not all parts or items are available in all the sizes shown in the table.)

Fraction of Inches

$\frac{1}{64}, \frac{1}{32}, \frac{1}{16}, \frac{3}{32}, \frac{1}{8}, \frac{5}{32}, \frac{3}{16}, \frac{1}{4}, \frac{5}{16}, \frac{3}{8}, \frac{7}{16}, \frac{1}{2}, \frac{9}{16}, \frac{5}{8}, \frac{11}{16}, \frac{3}{4}, \frac{7}{8}, 1, 1\frac{1}{4}, 1\frac{1}{2}, 1\frac{3}{4}, 2, 2\frac{1}{4}, 2\frac{1}{2}, 2\frac{3}{4}, 3, 3\frac{1}{4}, 3\frac{1}{2}, 3\frac{3}{4}, 4, 4\frac{1}{4}, 4\frac{1}{2}, 4\frac{3}{4}, 5, 5\frac{1}{4}, 5\frac{1}{2}, 5\frac{3}{4}, 6, 6\frac{1}{2}, 7, 7\frac{1}{2}, 8, 8\frac{1}{2}, 9, 9\frac{1}{2}, 10, 10\frac{1}{2}, 11, 11\frac{1}{2}, 12, 12\frac{1}{2}, 13, 13\frac{1}{2}, 14, 14\frac{1}{2}, 15, 15\frac{1}{2}, 16, 16\frac{1}{2}, 17, 17\frac{1}{2}, 18, 18\frac{1}{2}, 19, 19\frac{1}{2}, 20$

Decimal Inches

0.010, 0.012, 0.016, 0.020, 0.025, 0.032, 0.040, 0.05, 0.06, 0.08, 0.10, 0.12, 0.16, 0.20, 0.24, 0.30, 0.40, 0.50, 0.60, 0.80, 1.00, 1.20, 1.40, 1.60, 1.80, 2.0, 2.4, 2.6, 2.8, 3.0, 3.2, 3.4, 3.6, 3.8, 4.0, 4.2, 4.4, 4.6, 4.8, 5.0, 5.2, 5.4, 5.6, 5.8, 6.0, 7.0, 7.5, 8.5, 9.0, 9.5, 10.0, 10.5, 11.0, 11.5, 12.0, 12.5, 13.0, 13.5, 14.0, 14.5, 15.0, 15.5, 16.0, 16.5, 17.0, 17.5, 18.0, 18.5, 19.0, 19.5, 20

Millimeters

0.05, 0.06, 0.08, 0.10, 0.12, 0.16, 0.20, 0.25, 0.30, 0.40, 0.50, 0.60, 0.70, 0.80, 0.90, 1.0, 1.1, 1.2, 1.4, 1.5, 1.6, 1.8, 2.0, 2.2, 2.5, 2.8, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0, 5.5, 6.0, 6.5, 7.0, 8.0, 9.0, 10, 11, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 25, 28, 30, 32, 35, 40, 45, 50, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180, 200, 250, 300

Renard Numbers*

1st choice, R5: 1, 1.6, 2.5, 4, 6.3, 10

2d choice, R10: 1.25, 2, 3.15, 5, 8


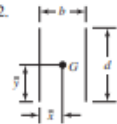
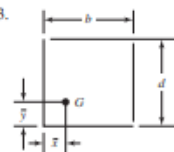
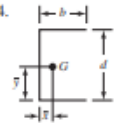
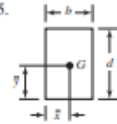

3d choice, R20: 1.12, 1.4, 1.8, 2.24, 2.8, 3.55, 4.5, 5.6, 7.1, 9

4th choice, R40: 1.06, 1.18, 1.32, 1.5, 1.7, 1.9, 2.12, 2.36, 2.65, 3, 3.35, 3.75, 4.25, 4.75, 5.3, 6, 6.7, 7.5, 8.5, 9.5

*May be multiplied or divided by powers of 10.

Propriedades de torsão de filetes de solda

Torsional Properties of Fillet Welds*

Weld	Throat Area	Location of G	Unit Second Polar Moment of Area
1. 	$A = 0.707 hd$	$\bar{x} = 0$ $\bar{y} = d/2$	$J_u = d^3/12$
2. 	$A = 1.414 hd$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$J_u = \frac{d(3b^2 + d^2)}{6}$
3. 	$A = 0.707h(b + d)$	$\bar{x} = \frac{b^2}{2(b + d)}$ $\bar{y} = \frac{d^2}{2(b + d)}$	$J_u = \frac{(b + d)^4 - 6b^2d^2}{12(b + d)}$
4. 	$A = 0.707h(2b + d)$	$\bar{x} = \frac{b^2}{2b + d}$ $\bar{y} = d/2$	$J_u = \frac{8b^3 + 6bd^2 + d^3}{12} - \frac{b^4}{2b + d}$
5. 	$A = 1.414h(b + d)$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$J_u = \frac{(b + d)^3}{6}$
6. 	$A = 1.414 \pi hr$		$J_u = 2\pi r^3$

*G is centroid of weld group; h is weld size; plane of torque couple is in the plane of the paper; all welds are of unit width.

Exercício de figura de mérito (fom)

