

ELEMENTOS DE MÁQUINAS (SEM 0241)

Notas de Aulas v.2023

Aula 01 – Introdução, Noções de Projetos Mecânicos

Professores: Carlos Alberto Fortulan
Ernesto Massaroppi Junior
Jonas de Carvalho



Elementos de Máquinas no SEM:

<p>ELEMAQ I (SEM 0241)</p>	<p>Projeto – introdução Materiais, pps mecânicas e Resistência dos Materiais aplicada à elementos de máquinas Dimensionamento a Fadiga Eixos União eixo-cubo, União eixo-eixo, Mancais de rolamentos União por parafusos União por rebites União por solda</p>
<p>ELEMAQ II (SEM 0326)</p>	<p>Transmissões (Correia, corrente, engrenagens, atrito) Molas elásticas Pares de rolamento Projeto de um redutor de engrenagem</p>

Objetivos

Proporcionar conhecimentos básicos sobre elementos e conjuntos mecânicos a partir de critérios de resistência mecânica e de falhas considerando carregamentos estáticos e variáveis. Dimensionar e selecionar elementos mecânicos básicos: eixos e seus acessórios (uniões eixo-cubo; uniões eixo-eixo e mancais), elementos de fixação roscados por rebite e por soldagem.

Programa Resumido

- 1) Conceitos e definições sobre elementos de máquinas em projeto de sistemas mecânicos.
- 2) Tensões e Deformações: Resistência dos Materiais, Tensão Residual e Térmica;
- 3) Falha Estática: Critérios de resistência, Segurança e Confiabilidade
- 4) Conceitos de fadiga (Vida infinita e Vida finita), critérios de resistência a fadiga; fatores de concentração de tensões;
- 5) Dimensionamento de eixos;
- 6) Uniões eixo-cubo: chavetas e interferentes;
- 7) Uniões eixo-eixo: acoplamentos;
- 8) Mancais de rolamento: tipos, seleção, dimensionamento, especificação de montagem, lubrificação, modos de falha;
- 9) Elementos roscados de fixação;
- 10) Elementos de fixação por rebite;
- 11) Elementos de fixação por solda.

Aulas

Aula 1 – *Introdução, Noções de Projetos Mecânicos*

Aula 2 - *Materiais e Propriedades Mecânicas*

Aula 3 *Resistência dos Materiais aplicada à elementos de máquinas*

Aula 4 - *Fadiga de Materiais*

Aula 5 - *Tensão admissível à fadiga*

Aula 6 - *Eixos*

Aula 7 - *Eixos – Tensões de confronto*

Aula 8 - *Uniões Eixo - Cubo*

Aula 9 - *Uniões Eixo-Cubo encaixadas*

Aula 10 - *Uniões Eixo-Eixo*

Aulas 11 - *Mancais de Rolamento*

Aulas 12 - *Dimensionamento de Mancais de Rolamento*

Aulas 13 - *Junções por meio de parafusos;*

Aulas 14 - *Junções por meio de parafusos;*

Aulas 15 - *Junções por meio de solda;*

PROJETO MECÂNICO

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

SHIGLEY JE (2005)

Professor Emérito na Universidade de Michigan

SHIGLEY JE, Projeto de engenharia mecânica, Ed. Bookman, 7ed, 2005 .

Importância do Projeto

Nação
3º Mundo

Extração
Fabricação
Manutenção

Criar
Inovar

Projeto

Normatizar
Difundir

1º MUNDO

Pensar
Agregar valor
Desenvolver
Ensinar

O que dizem os Mestres?

Juvinall RC University of Michigan

Marshek KM University of Texas

O projeto mecânico é uma **ciência aplicada** que faz uso do

“julgamento da engenharia”.

```
graph TD; A("julgamento da engenharia") --> B[Projeto como Tecnologia]; A --> C[Projeto como Ciência];
```

Projeto como Tecnologia

Projeto como Ciência

Juvinall RC

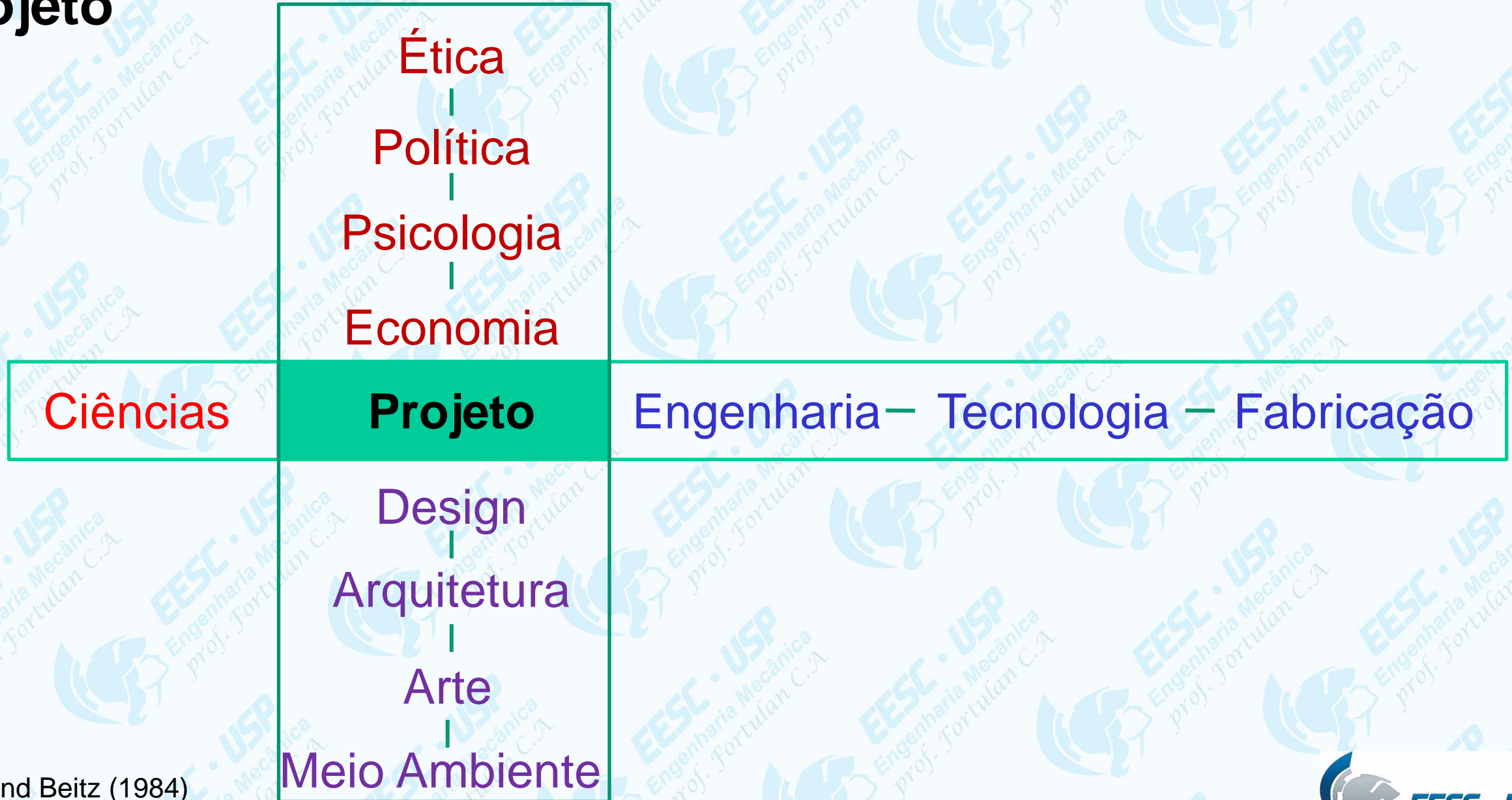
“O engenheiro deve possuir habilidade suficiente para prever situações potenciais de risco.”

Niemann G

“ Um homem que deseja projetar...
que observe, inicialmente, e **pense!**”

NIEMANN G. Elementos de Máquinas, 1971

Projeto



Pahl and Beitz (1984)

Ética

Responsabilidade

Projeto



- bem estar público;
- qualidade;
- confiabilidade;
- segurança.

Código NSPE →

National Society of
Professional Engineers

- 6 princípios fundamentais;
- 5 regras da prática;
- 9 obrigações profissionais.

Política

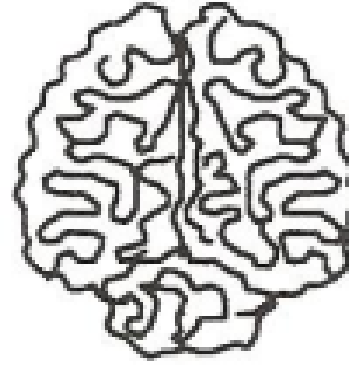
Algumas decisões de projeto são legislativas:

Coeficiente de segurança;

Pro-álcool;

....

Psicologia



ESQUERDO

Lógico e Racional

Digital

Inteligência

Tese, Antítese

Abstrato e Simbólico

Conceitual

Seqüencial-Linear

CENTRAL

Política

Hereditariedade

Instintivo

Realista

Executivo

Pragmático

Raciocínio de Guerra

DIREITO

Intuitivo

Analógico

Criatividade-arte

Inspiração

Concreto

Holístico

Espacial (Geométrico)

Design

“A forma segue a função”

*“Função e estética devem ser tratadas
com igual importância”*

Henry Petyroski, 2006
Duke University



1993

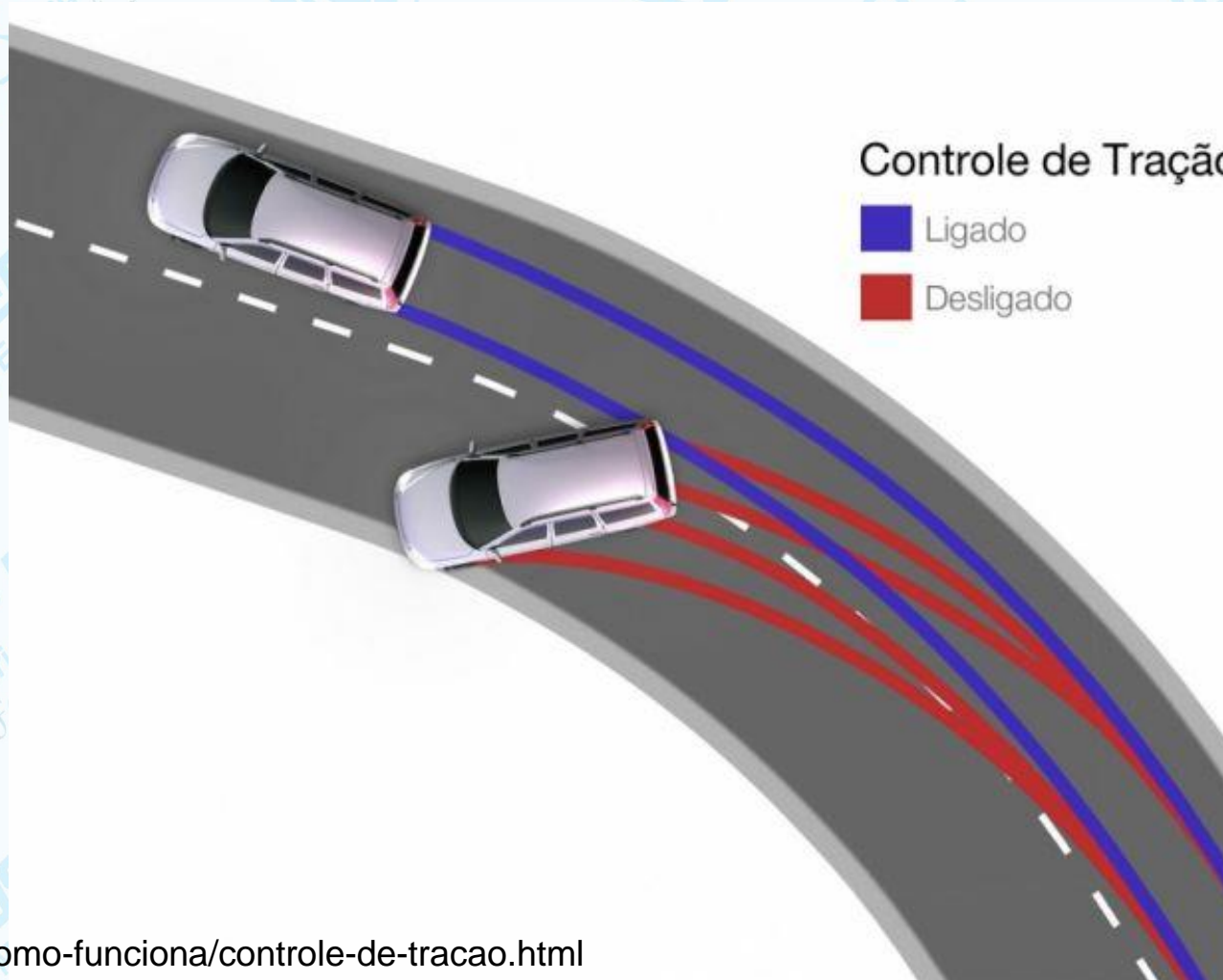


2001



2006

Ciência → tecnologia



<http://salaodocarro.com.br/como-funciona/controle-de-tracao.html>

Engenharia - Tecnologia - Fabricação



<https://www.youtube.com/watch?v=v3811aHWIBA>

<https://www.youtube.com/watch?v=k5P8CY0u-Wo>

Métodos de Projeto

Projeto Racional

Baseado em tensões e deslocamentos → dimensões.

Projeto Empírico

Baseado em ensaios, fórmulas, experimentos e experiência.

Projeto Industrial

Baseado em considerações industriais, normas, mercados, infraestrutura, baixo custo e padrões.

Resultado do projeto: Produto

- ✓ Funcional;
- ✓ Seguro;
- ✓ Confiável;
- ✓ Competitivo;
- ✓ Utilizável;
- ✓ Manufaturável;
- ✓ Mercável

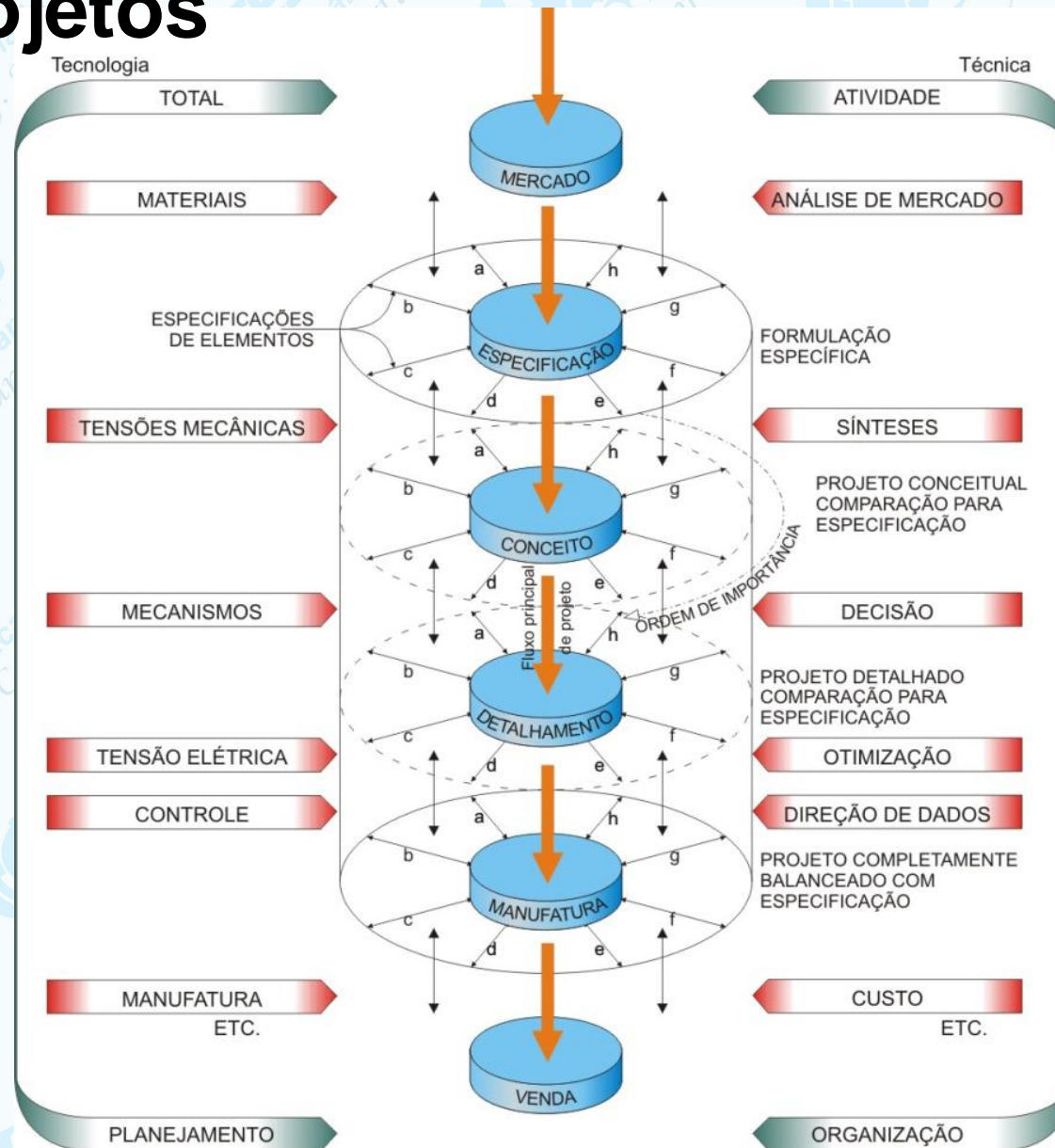
Fonte: SHIGLEY JE, Projeto de engenharia mecânica, Ed. Bookman, 7ed, 2005

Desenvolvimento dos projetos

Modelo

“Total Design”

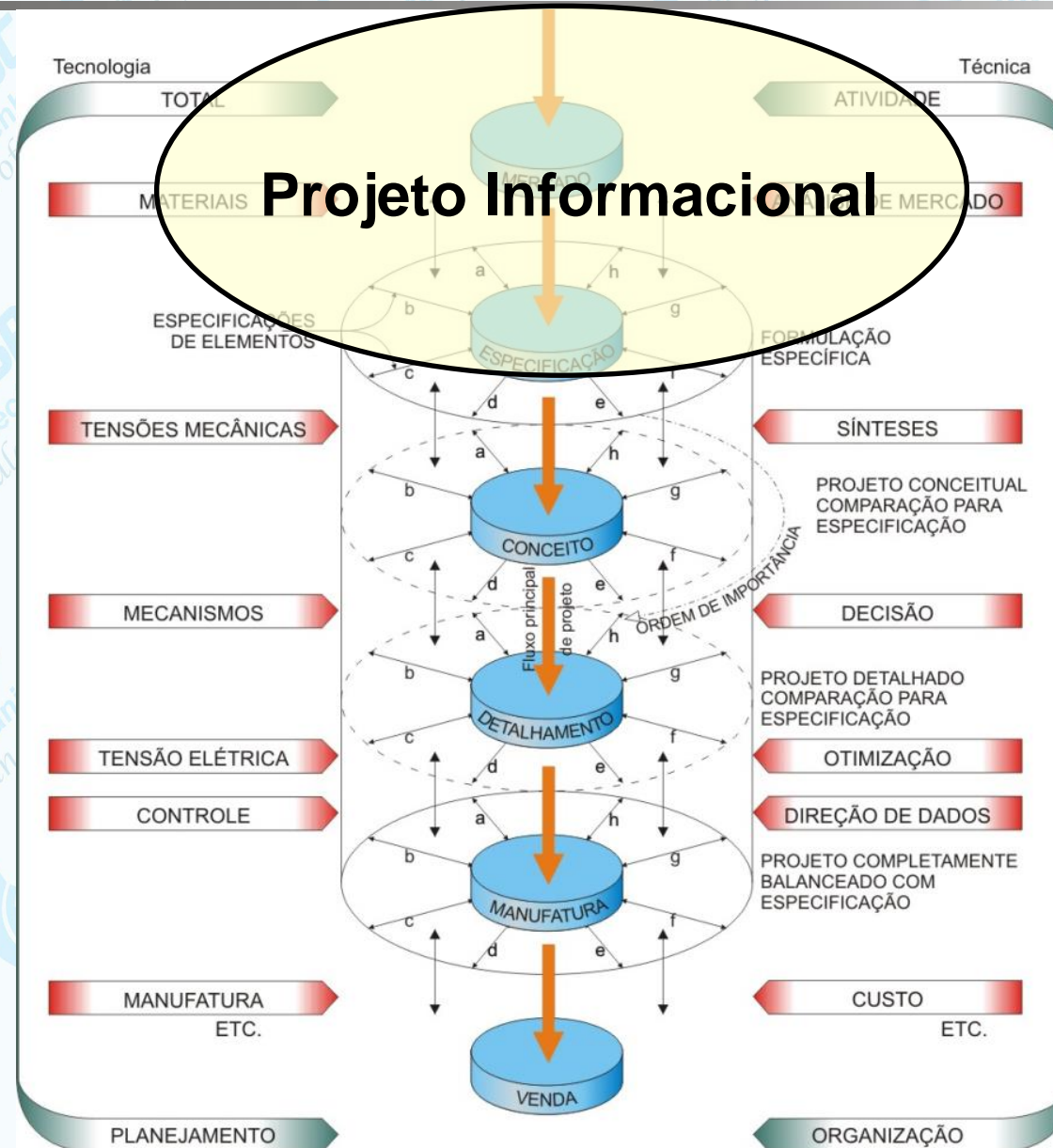
(PUGH, 1995)



Técnicas de projetos

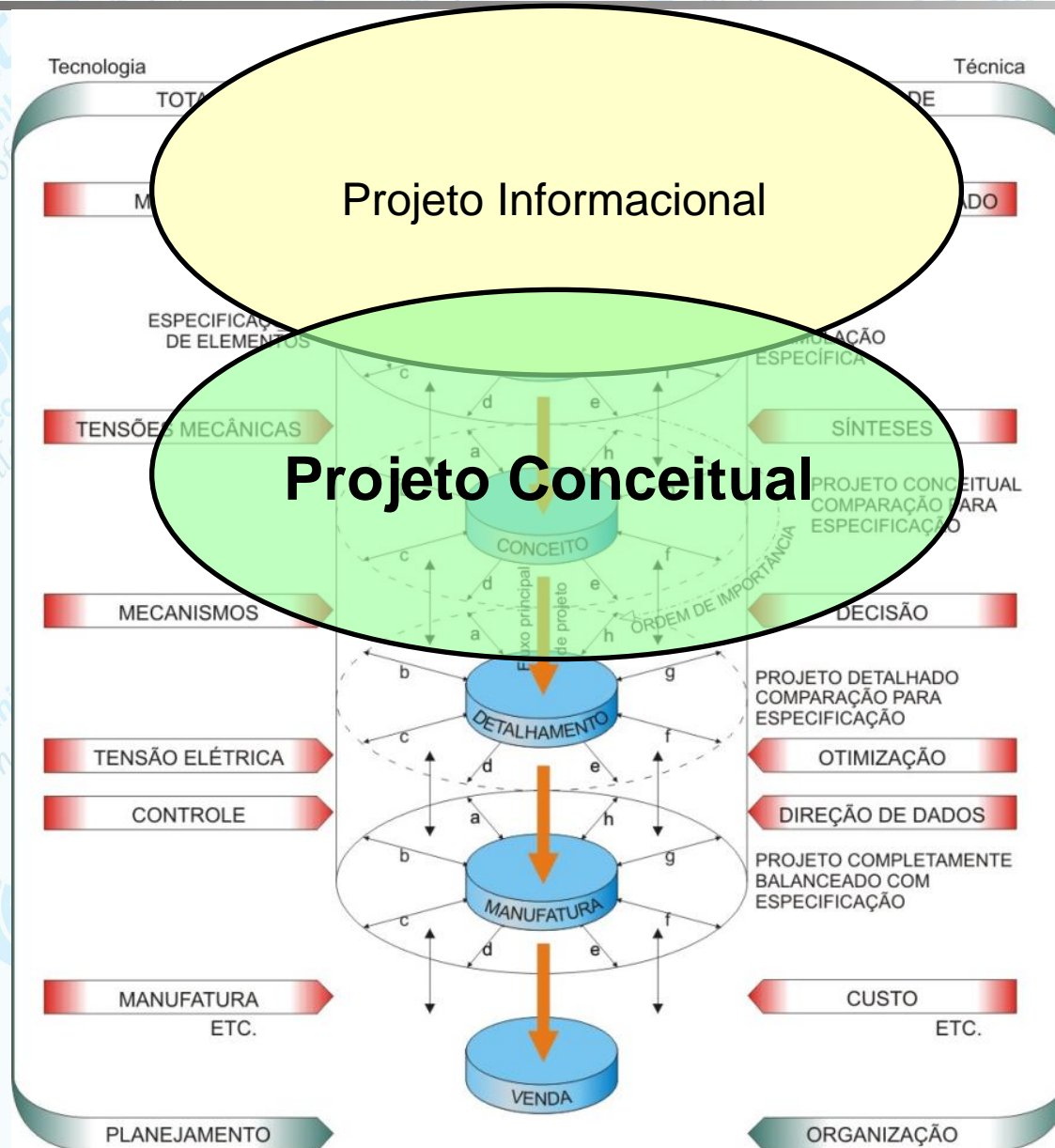
Consensual

O usuário como parceiro no projeto



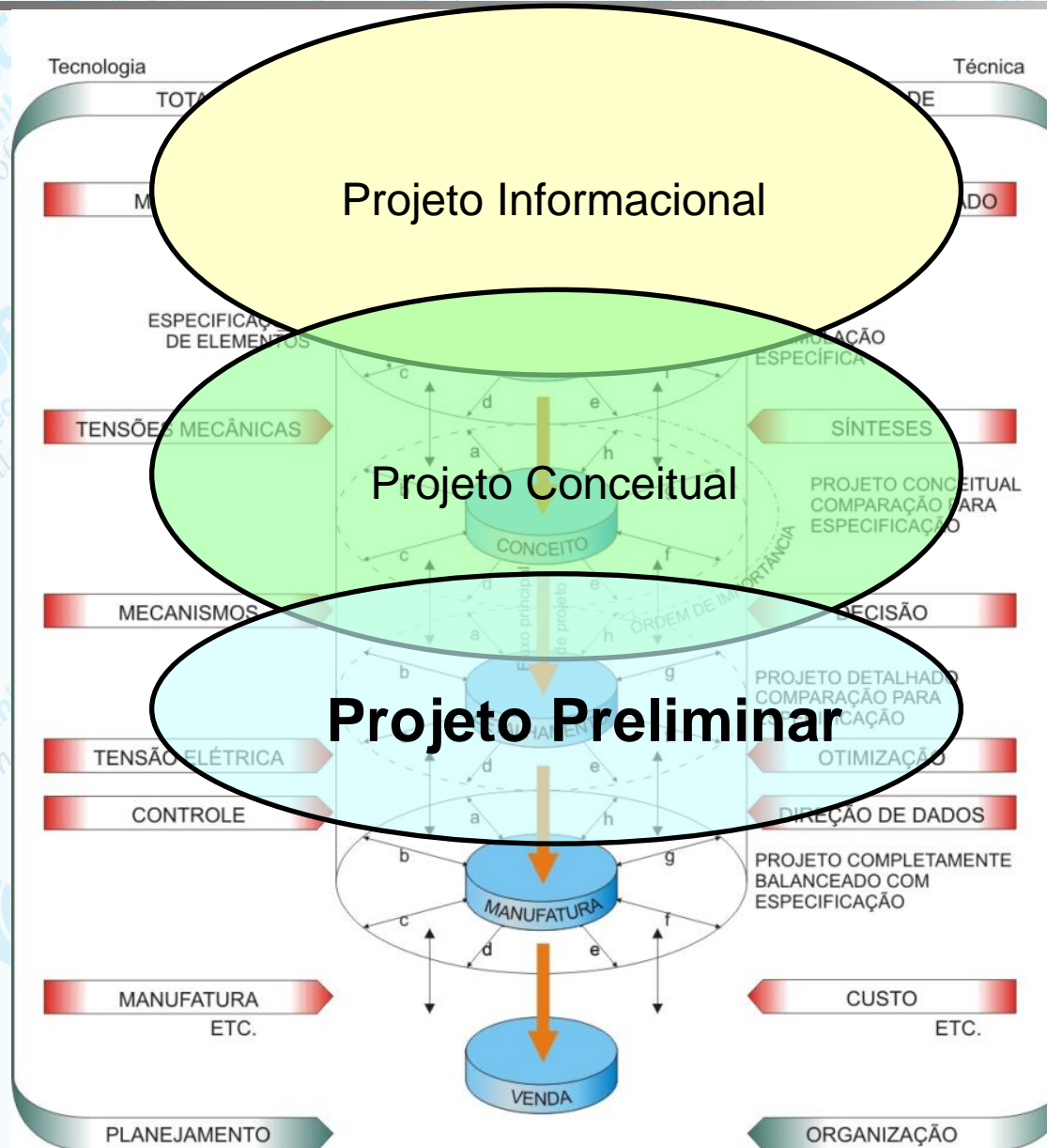
Consensual

Criatividade
Ambigüidade
Contradição



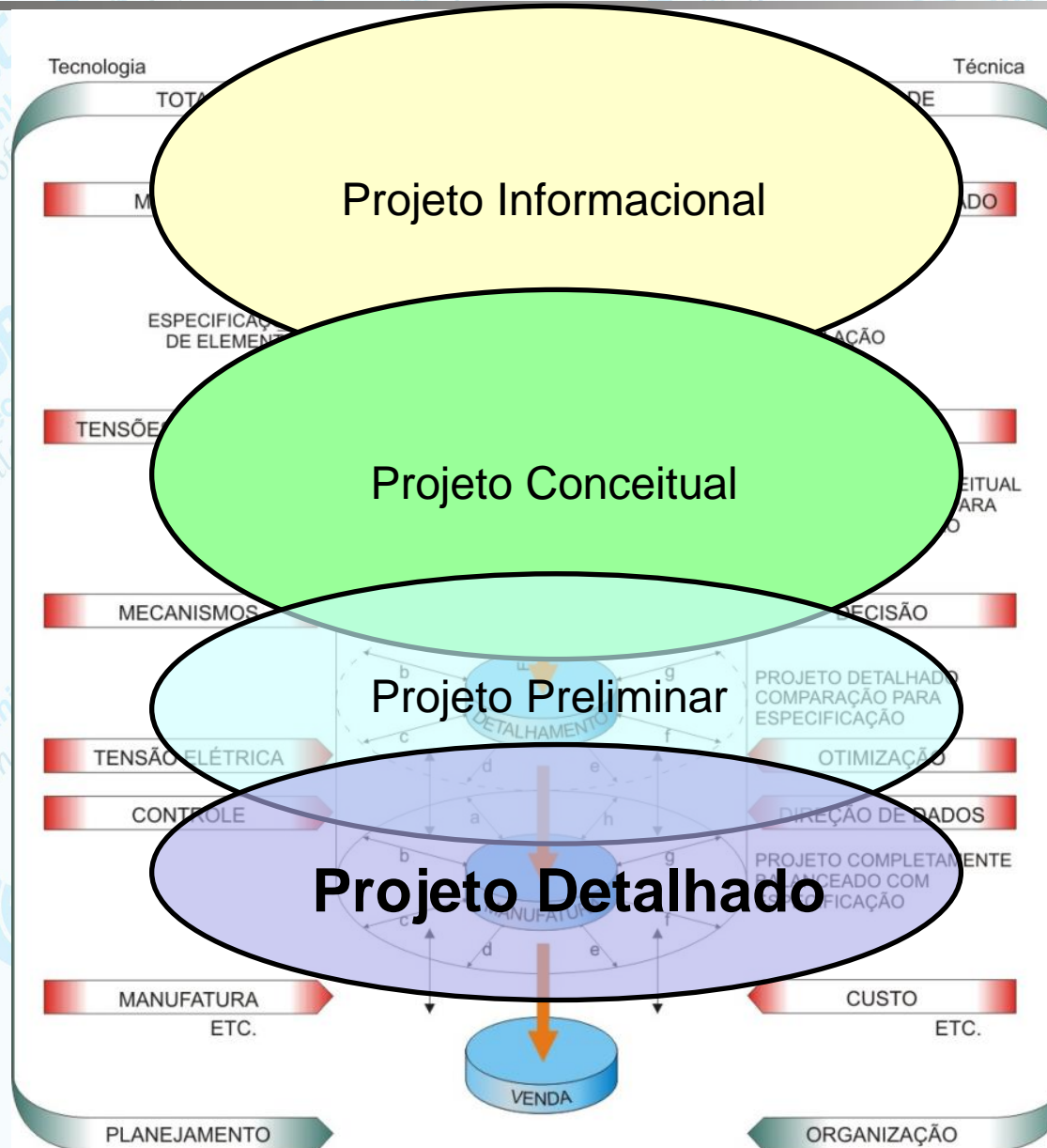
Consensual

Anteprojetado

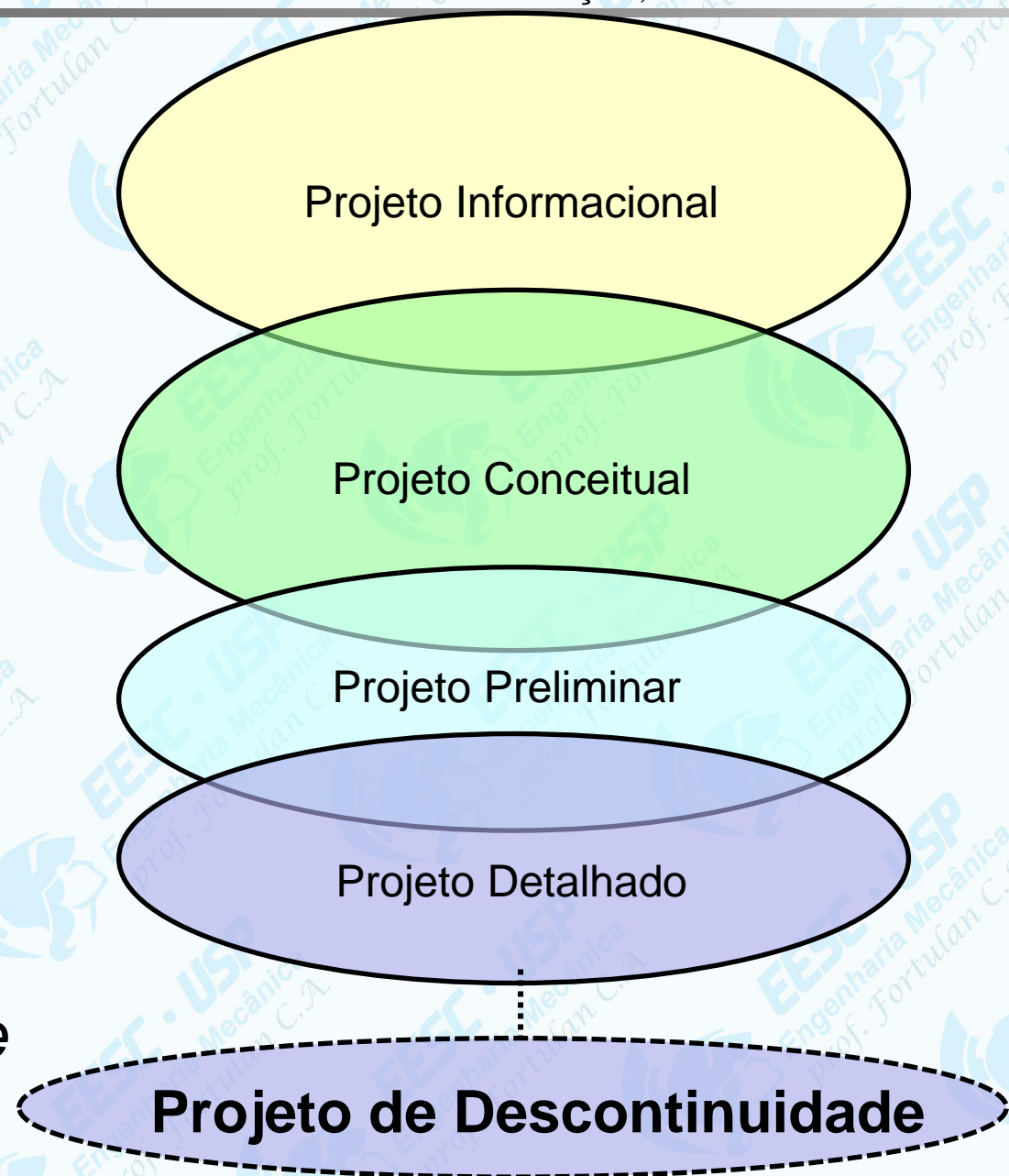


Consensual

Documentação



Consensual



Responsabilidade Ambiental

OGLIARI, 1999

Meio Ambiente

Anos 70

~ 2 milhões de pneus
usados no fundo do mar

Fort Lauderdale, EUA



NÃO É TÃO DOCE MORRER NO MAR

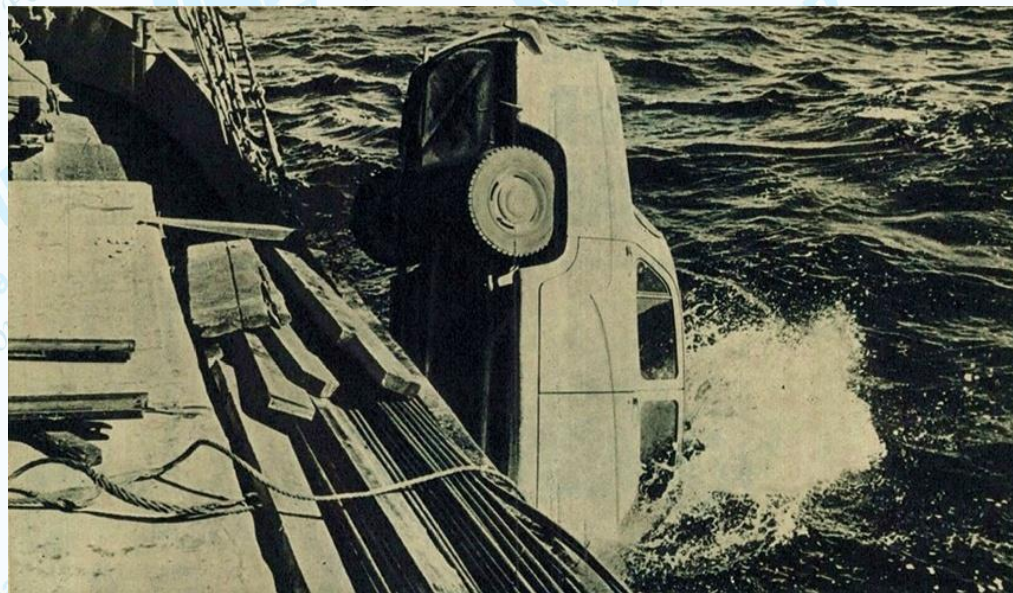


ANO V - N.º 54 - Janeiro de 1965

Suécia – 1965

Opções p/ Descarte:

- ✓ ~ US 260,00;
- ✓ Abandono em rodovia ou
- ✓ andar na prancha!!!



Projetar, dimensionar, verificar



Critérios usuais:

- **Tensão** admissível
- **Flecha** (deformação) admissível

Outros Critérios:

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

Solução dos problemas de projeto

Bom projeto



Produto bem especificado



Resolver contradições: (ex: qualidade  e custo )



PROBLEMAS DE PROJETO



a) Localizar bem os problemas → o que é importante para que o produto funcione bem!

Superfícies/partes funcionais

x

Superfícies/partes acessórias

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:

- projeto
- fabricação
- especificação
- etc.

c) Fazer perguntas adequadas:

- Como os concorrentes solucionam?
- Quais objetivos não foram alcançados?
- Qual a solução mais :

- Fácil?
- Econômica?
- Correta?

d) Analisar várias alternativas

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

e) FMEA

- Aplica-se também *Failure Mode and Effects Analysis*. Esta técnica e a de QFD são ferramentas de Engenharia de Produção aplicados ao projeto de produtos

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.
- Fusíveis
 - Pinos de segurança
- c) Se existirem choques, forças alternativas, reversão de movimentos.
- Eliminar folgas
 - Usar pré-carga

d) Se existirem rotações elevadas.

- Balanceamento
- Velocidades críticas e ressonâncias

e) Baixo ruído de funcionamento.

- Mancais de deslizamento
- Materiais e lubrificação adequados
- Amortecimento interno

f) Atrito e desgaste.

- Usar materiais adequados
- Dureza adequada
- Peças postiças / ajustáveis

g) Vedações

Influência da Operação, Manutenção e Segurança

a) Facilitar a operação

- Ergonomia;

b) Prever falta de cuidado

- Soluções *foolproof*;

c) Segurança de funcionamento

- Freios de segurança;

d) Facilitar manutenção

- Lubrificação acessível.

Influência do material e tipo de processo de fabricação

a) Uso de materiais avançados.

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

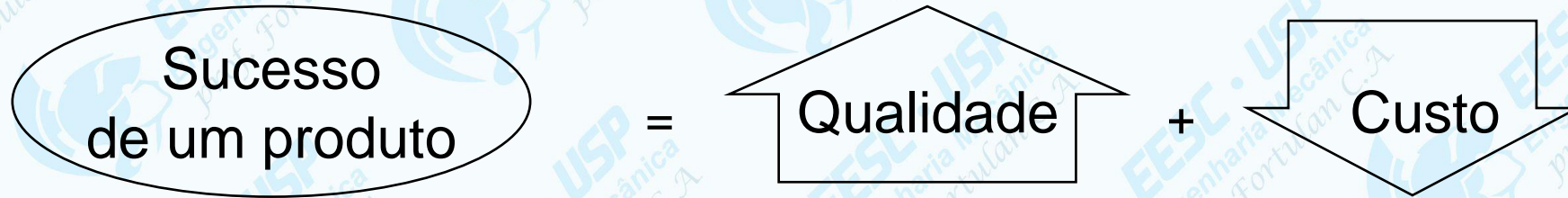
b) Influência do número de peças.

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

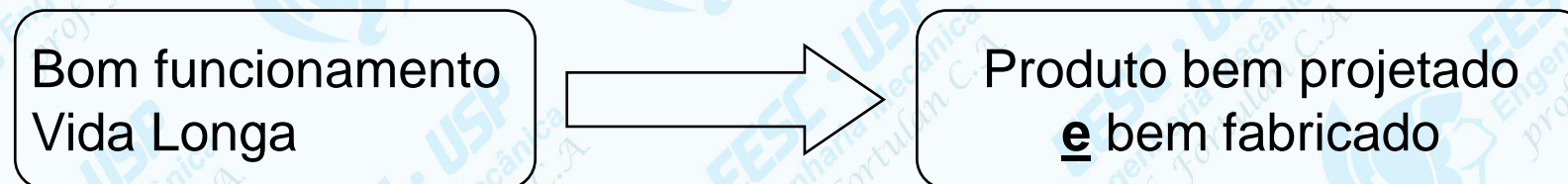
c) Projetar formas de acordo com material + processo.

- Peças: fundidas; forjadas; soldadas; usinadas; injetadas; extrudadas; adevivos; sinterizadas.

Qualidades e custos

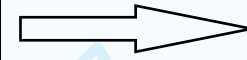


- Qualidade de projeto:
“*Produto obedece especificações de projeto*”
- Qualidade de fabricação:
“*Peças obedecem especificações de desenho*”



Custos

Custo de projeto\Custo de fabricação



Preço de venda

Custo de operação\Custo de manutenção



Custo operacional

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

Custos anuais de aparelhos de elevação e transporte

Custos (%)	Guindaste	Transp. correia	Transp. rosca	Monovia manual
Depreciação, juros	53	65	27	13
Manutenção	19	5	4	5
Energia	<u>4</u>	30	69	<u>82</u>
Operação	21	-	-	-
Outros	3	-	-	-

Responsabilidade pelo 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.

A melhor prática de prevenção é:

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

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

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;

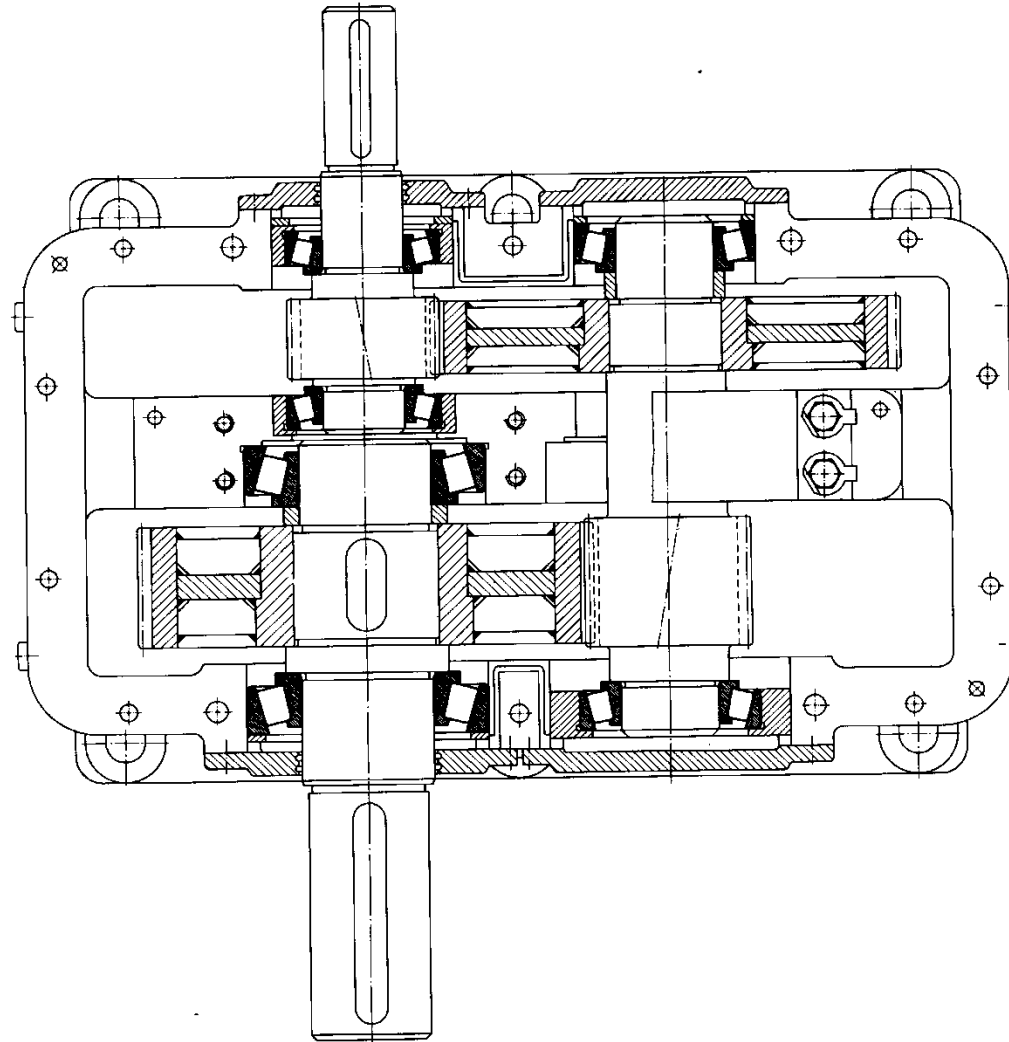
$F3 \rightarrow$ modelos analíticos de forças e tensões.

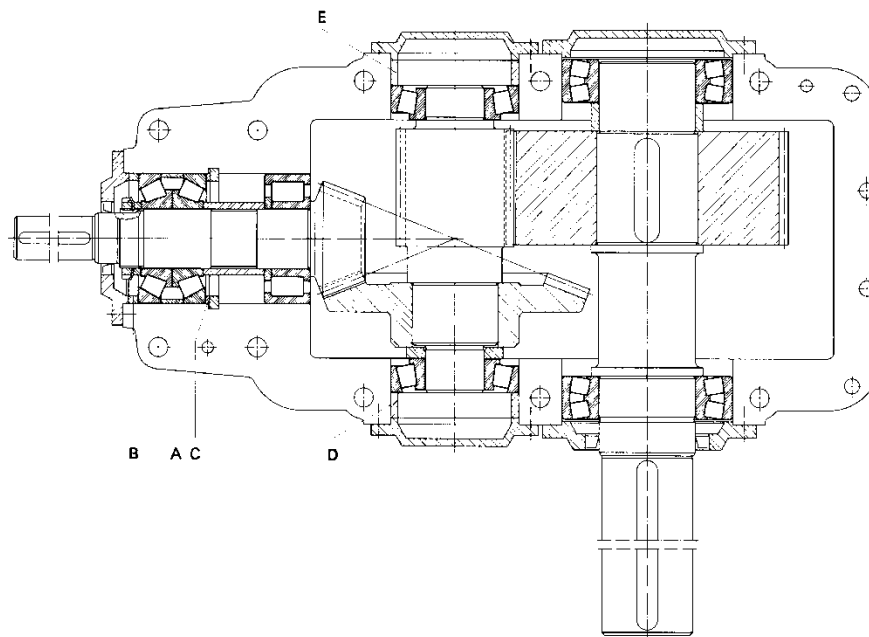
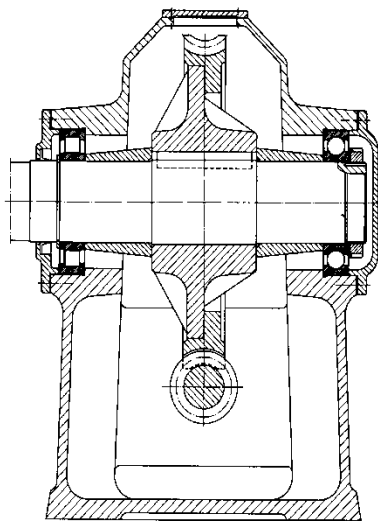
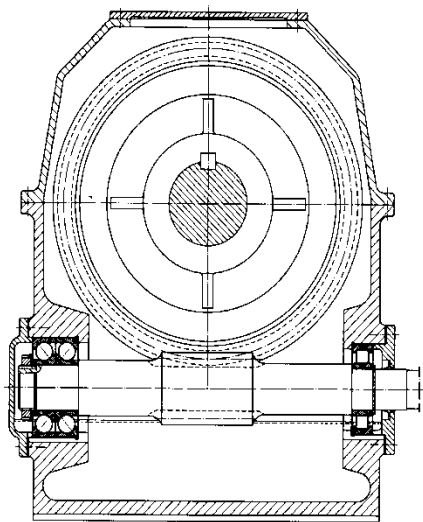
Exemplos:

- Aeronaves comerciais: $N \rightarrow 1,2-1,5$ (devido a necessidade de peso baixo, sofisticados ensaios analíticos);
- Aeronaves militares: $N < 1,1$ (tripulação usa paraquedas);
- Mísseis: $N=1$ (não tem tripulante);
- Escada rolante: $N=14$ (em um Estado americano);
- Suporte de elevadores $F^*=2$;
- Suporte de máquinas leve $F \geq 1,2$;
- Suporte de máquinas de movimento alternado $F \geq 1,5$.

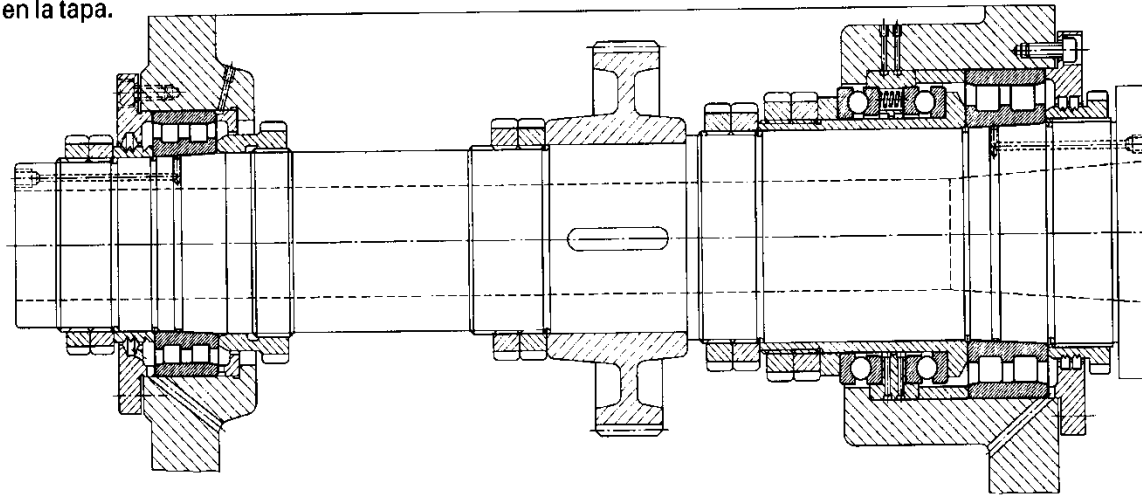
* F = fator de serviço

Fontes: NORTON, R.L. “Projeto de Máquinas”, 2.ed. Bookman, Porto Alegre, 2004.;
SHIGLEY, J.E., Projeto de engenharia mecânica, Ed. Bookman, 7ed, 2005

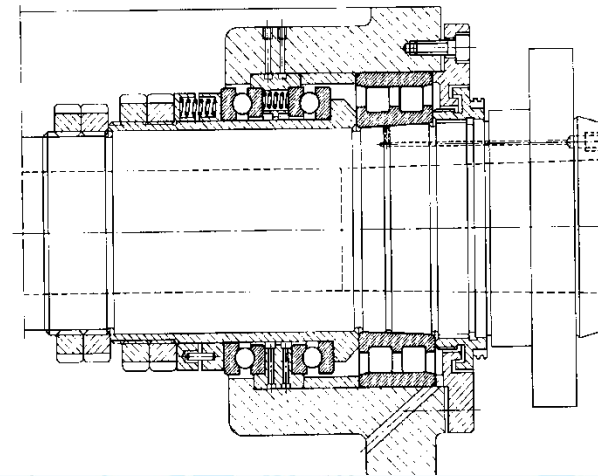
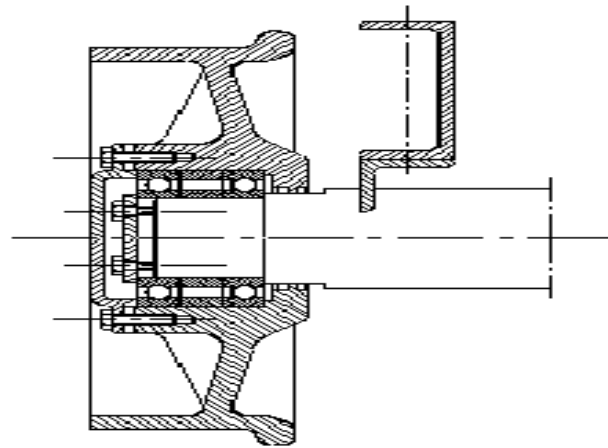




...
en la tapa.



6 Husillo de un torno



Referências

- Shigley, JE; Mitchell, LD. Projeto de Engenharia Mecânica, 7th ed., Bookman, Porto Alegre 2005.
- Juvinal RC. *Fundamentos do Projeto de Componentes de Máquinas*. LTC, 2008
- Niemann G. *Elementos de Máquinas*, vols. I, II e III, Editora Edgard Blucher, 1991.
- Pahl G; Beitz W; Feldhusen J; Grote K-H. *Projeto na Engenharia*, Ed. Edgard Blucher. 2005, 412p.
- Collins JA. *Projeto Mecânico de Elementos de Máquinas*. LTC, 2008
- Norton RL. *Projeto de Máquinas*, 2.ed. Bookman, Porto Alegre, 2004.
- Pugh S. *Total Design: Integrated method for successful product engineering*. Addison-Wesley, 1995.
- SKF - *Catálogo de Rolamentos*, 1989.