

# ELEMENTOS DE MÁQUINAS (SEM 0241)

Notas de Aulas v.2020

## Aula 01 – Introdução, Noções de Projetos Mecânicos

Professores: Carlos Alberto Fortulan  
Ernesto Massaroppi Junior  
Jonas de Carvalho

## Elementos de Máquinas no SEM:

<p><b>ELEMAQ I</b> <b>(SEM 0241)</b></p>	<p>Projeto – introdução            Materiais e propriedades mecânicas            Resistência dos materiais aplicada à elementos de máquinas            Fadiga            Eixos            União eixo-cubo            União eixo-eixo            Mancais (rolamentos e hidrodinâmicos)</p>
<p><b>ELEMAQ II</b> <b>(SEM 0326)</b></p>	<p>União por parafusos            União por rebites            União por solda            Molas elásticas            Elementos simples</p> <p style="margin-left: 400px;">           { Anel elástico            Retentores            Anéis o´ring,...</p>
<p><b>ELEMAQ III</b> <b>(SEM 0327)</b></p>	<p>Transmissões</p> <p style="margin-left: 400px;">           { por Correia            por corrente            por engrenagens            por atrito</p> <p>Pares de rolamento            Projeto de um redutor de engrenagem</p>



# 1. 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 .

# 1.1- Importância do Projeto

Criar  
Inovar  
Normatizar  
Difundir

**Projeto**

Nação  
3º Mundo

Extração  
Fabricação  
Manutenção

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”.

Projeto como Tecnologia

Projeto como Ciência

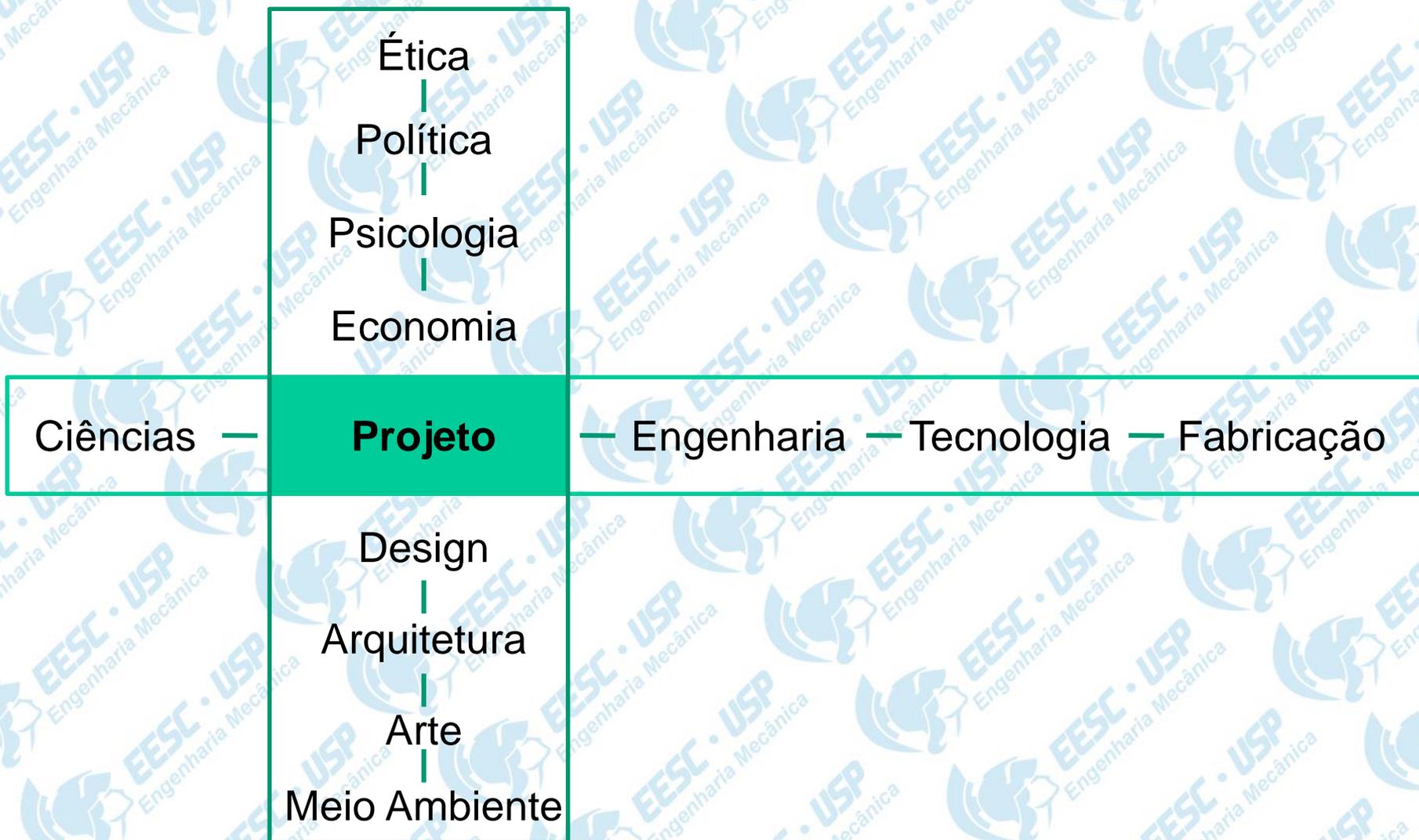
# Juvinall RC

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

# Niemann G

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

# 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

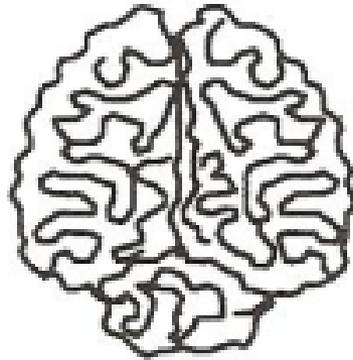
Algumas decisões de projeto são legislativas:

Coeficiente de segurança;

Pro-álcool;

....

# Psicologia



ESQUERDO - Masculino

Lógico e Racional

Digital

Inteligência

Tese, Antítese

Abstrato e Simbólico

Conceitual

Seqüencial-Linear

**CENTRAL**

Política

Hereditariedade

Instintivo

Realista

Executivo

Pragmático

Raciocínio de Guerra

Feminino - DIREITO

Intuitivo

Analógico

Criatividade-arte

Inspiração

Concreto

Holístico

Espacial (Geométrico)

# Design

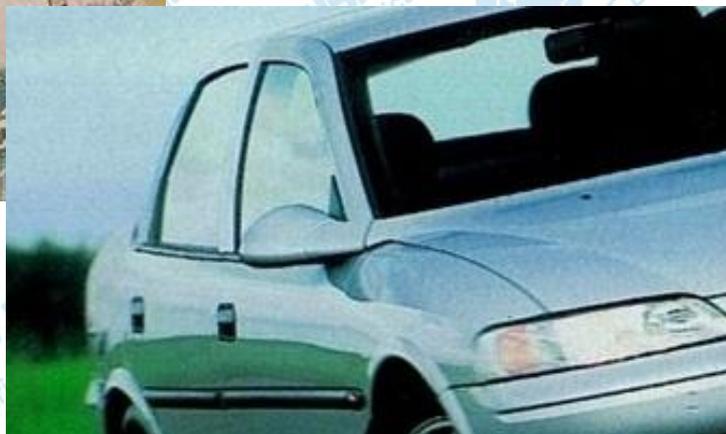
*“A forma segue a função”*

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

Henry Petyroski, 2006  
Duke University



1993

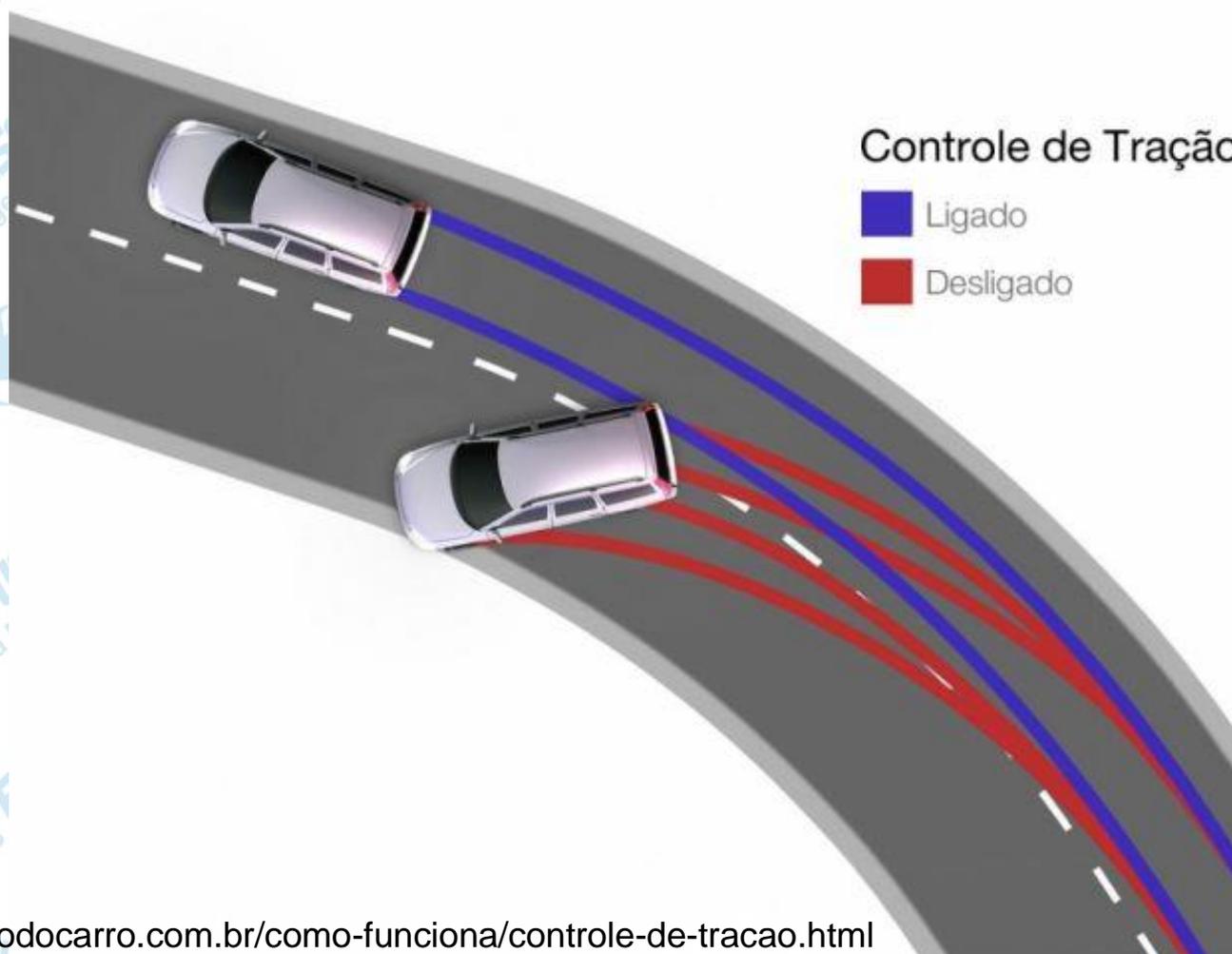


2001



2006

# Ciência → tecnologia



<http://salaodocarro.com.br/como-funciona/control-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.

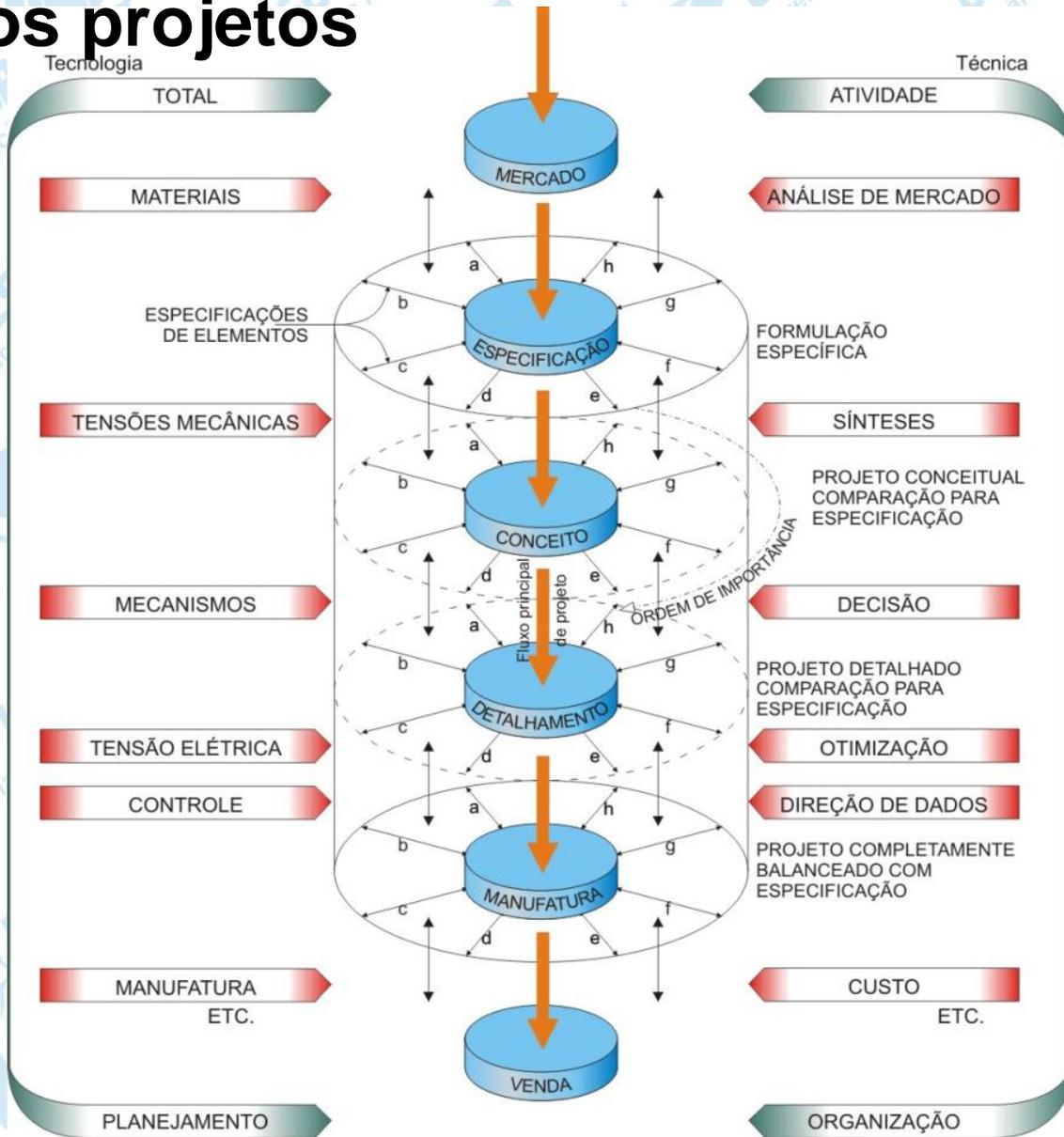
# Resultado do projeto: Produto

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

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

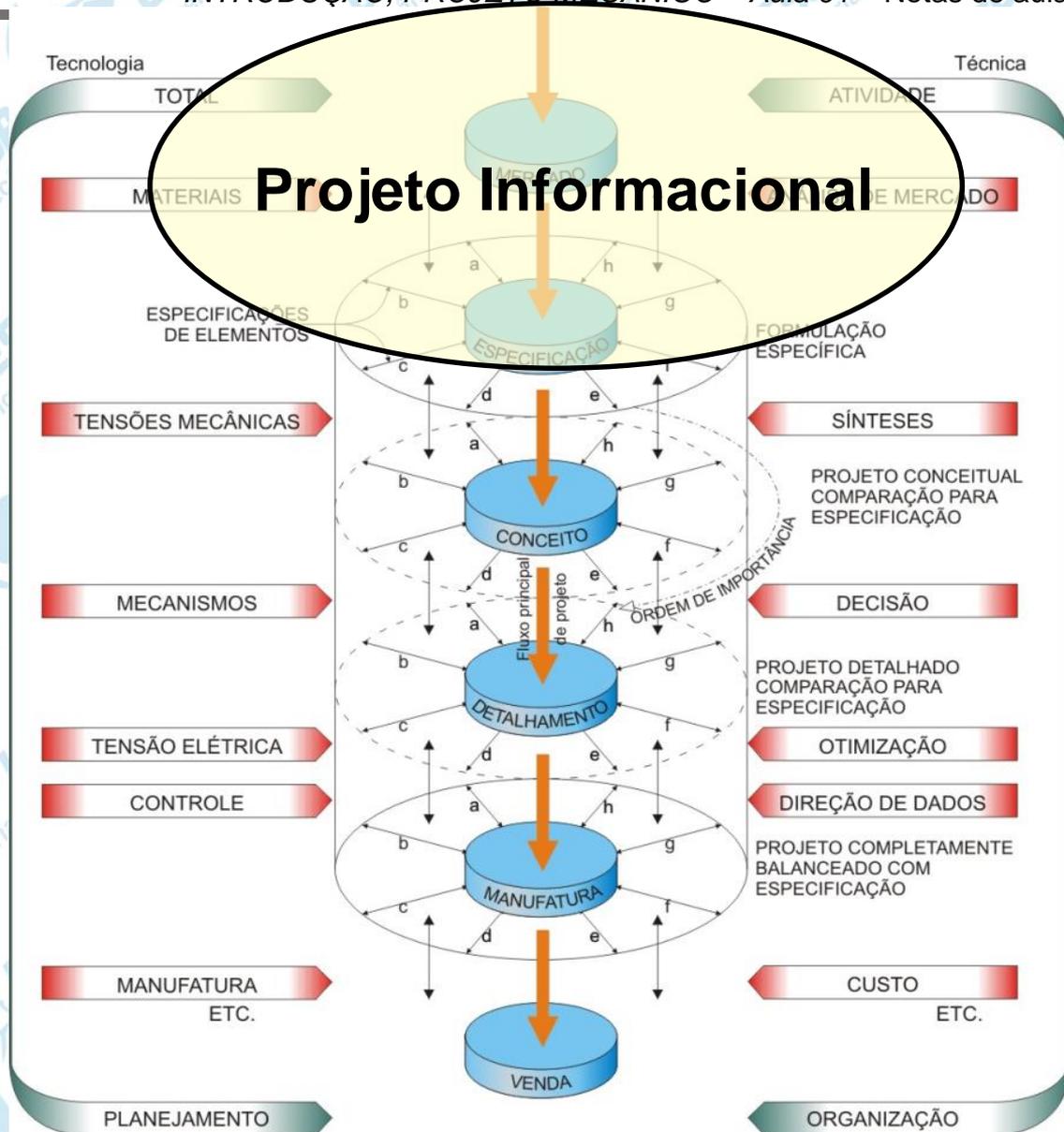
# Desenvolvimento dos projetos

Modelo  
 “Total Design”  
 (PUGH, 1995)



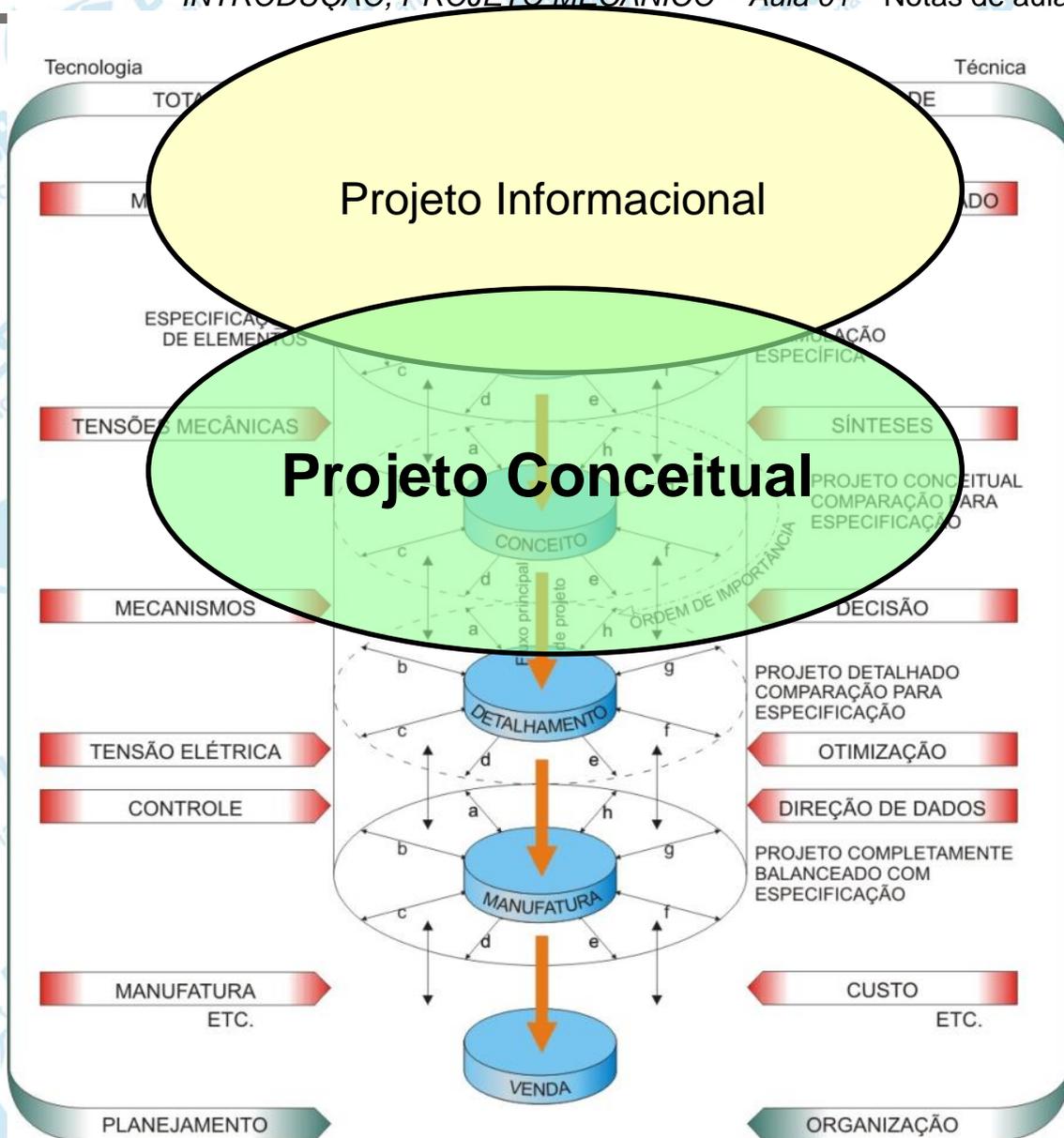
# Técnicas de projetos Consensual

O usuário como parceiro no projeto



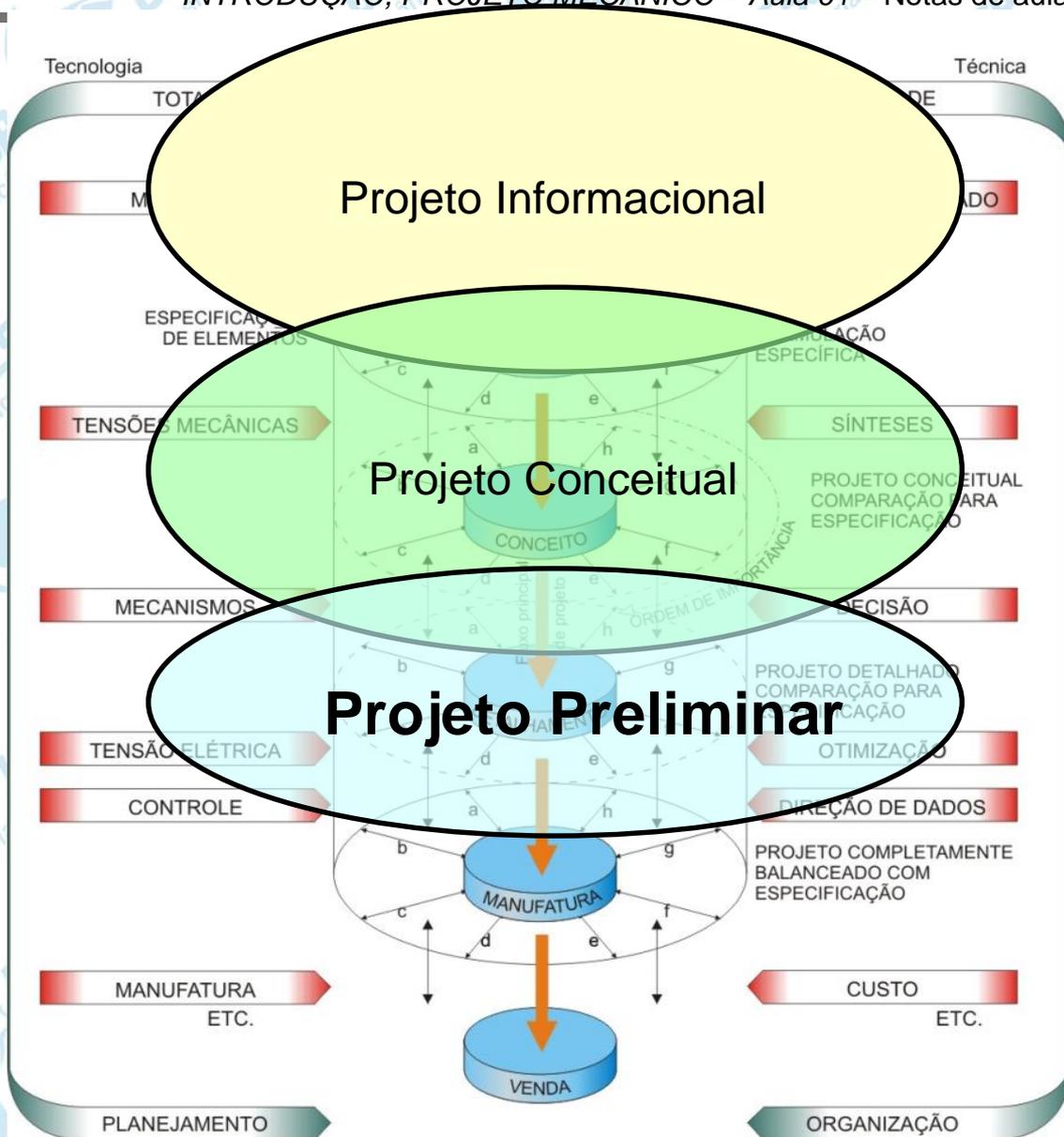
# Consensual

*Criatividade  
Ambigüidade  
Contradição*



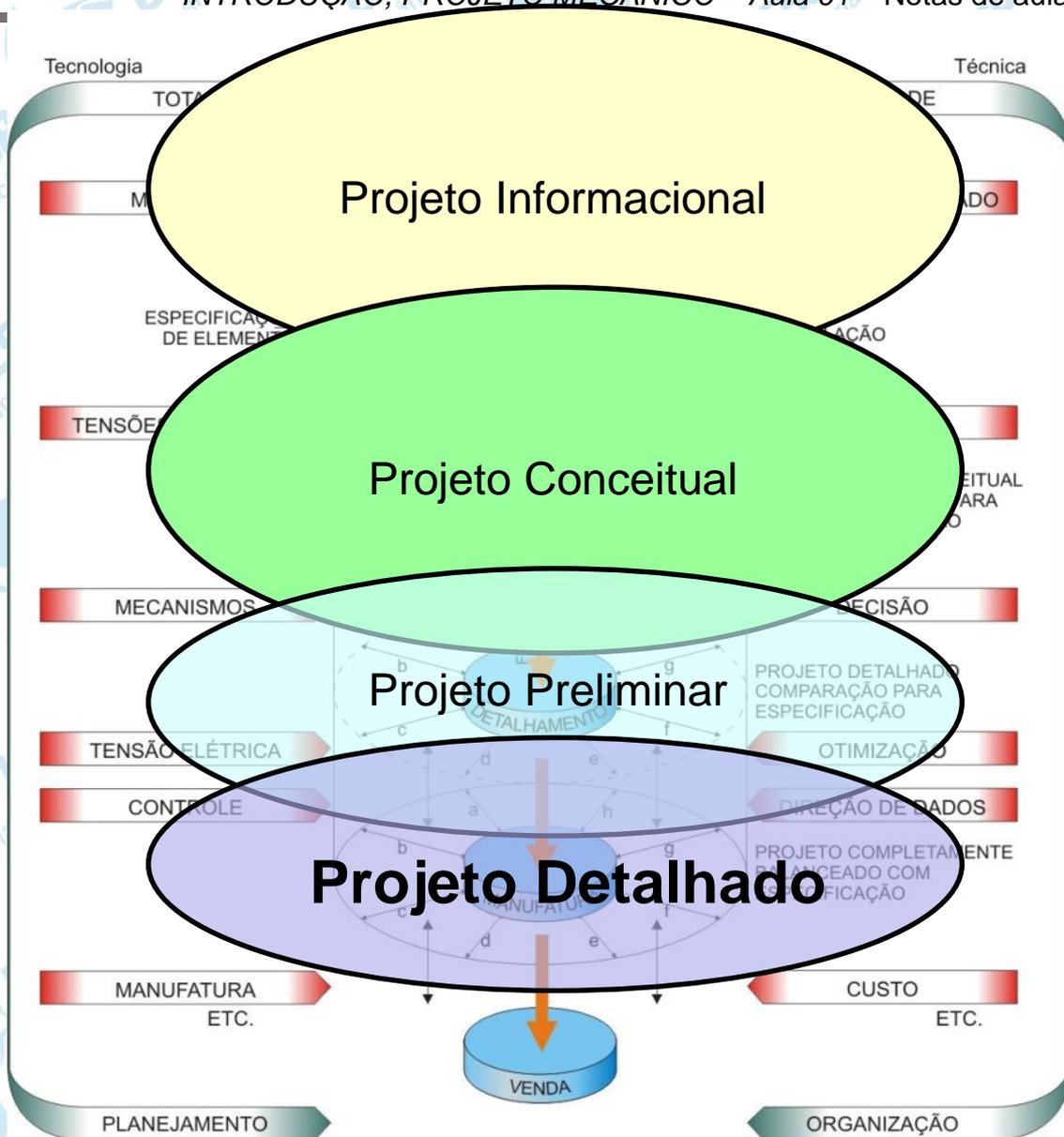
# Consensual

# Anteprojeto



# Consensual

## Documentação



# Consensual

Projeto Informacional

Projeto Conceitual

Projeto Preliminar

Projeto Detalhado

Projeto de Descontinuidade

*Responsabilidade  
Ambiental*

OGLIARI, 1999

# Meio Ambiente

Anos 70

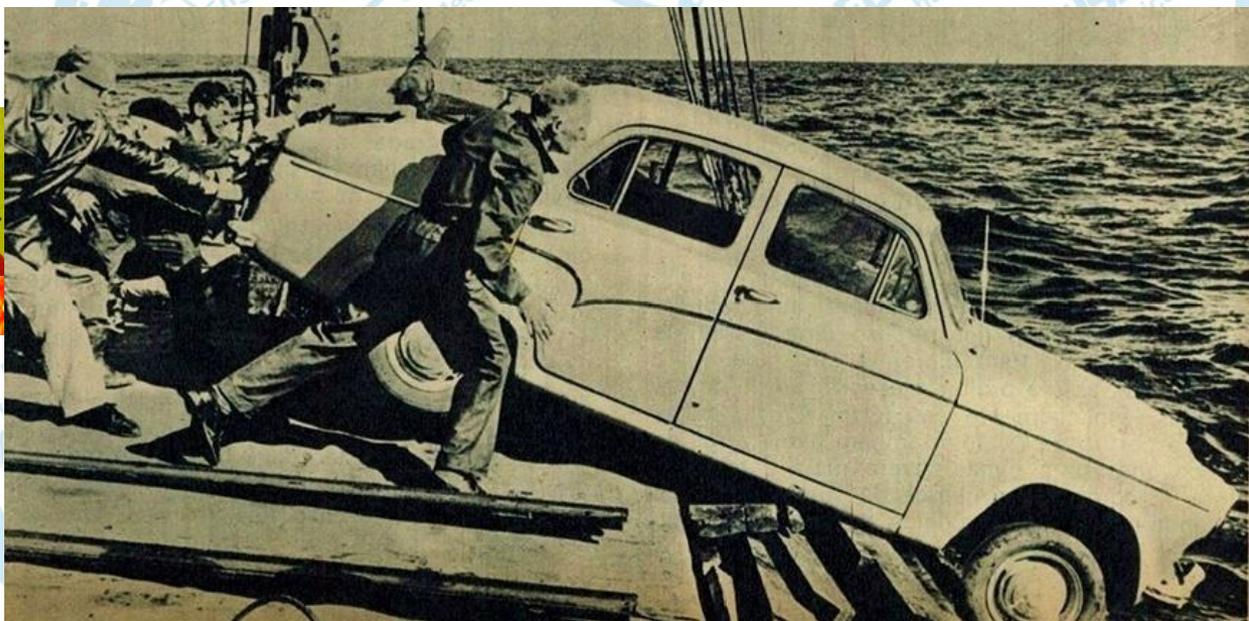
~ 2 milhões de  
pneus usados no  
fundo do mar

Fort Lauderdale,  
EUA



Climatologia Geográfica · 30 de agosto de 2013 - Juliana Milioli Zaniboni.

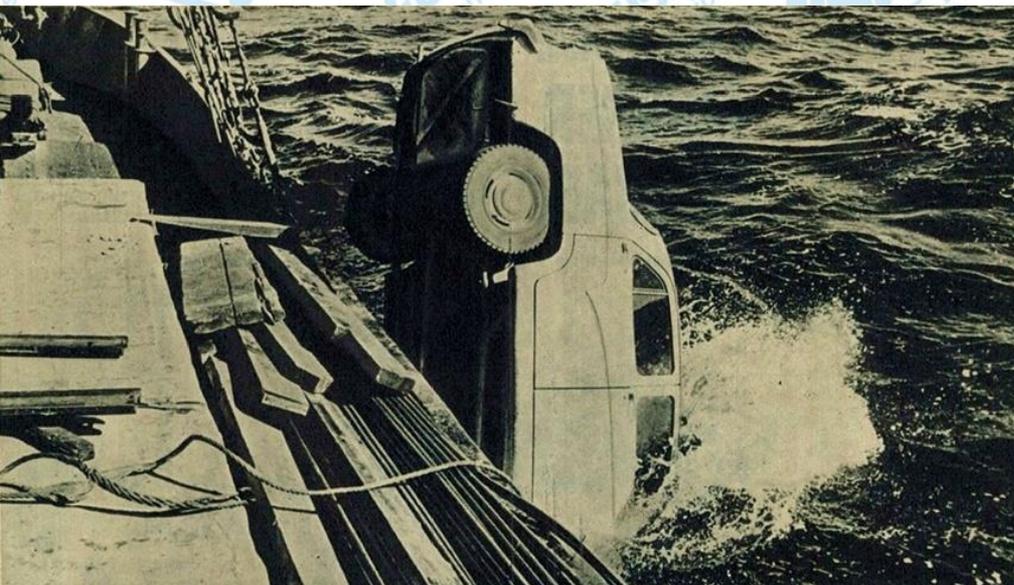
[http://www.tcm.rj.gov.br/WEB/Site/Noticia\\_Detalhe.aspx?noticia=2786&detalhada=2&downloads=0](http://www.tcm.rj.gov.br/WEB/Site/Noticia_Detalhe.aspx?noticia=2786&detalhada=2&downloads=0)



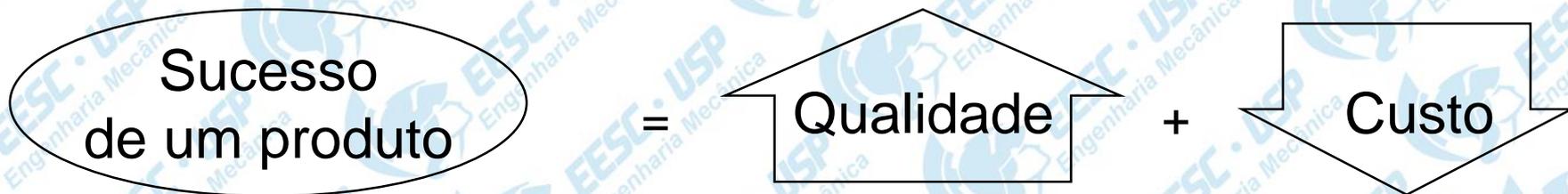
Suécia – 1965

Opções p/ Descarte:

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



## 1.3. Qualidades e custos



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

Bom funcionamento  
Vida Longa



Produto bem projetado  
e bem fabricado

# 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	-	-	-

# 1.4. 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 transmitam 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

**TABELA 1.2-Exemplo de uma avaliação por pontos de quatro sistemas de transmissão para automóveis, segundo Kessel-ring [1/3]. (Os sistemas de transmissão elétrico e hidráulico constituem-se de gerador, motor e regulador).**

N.º	Característica	Sistema de transmissão				
		engrenagens	rodas de atrito	elétrico	hidráulico	ideal
1	Rendimento	4	3	2	2	4
2	Ausência de ruído	3	4	3	4	4
3	Facilidade de acoplamento	2	3	4	4	4
4	Funcionamento sem escalonamentos	2	4	4	4	4
5	Segurança de funcionamento	4	1	4	4	4
6	Durabilidade	3	1	4	4	4
7	Resistência a sobrecargas	4	1	3	3	4
8	Sensibilidade ao congelamento	2	3	4	2	4
9	Espaço necessário	4	2	1	2	4
10	Pêso	4	3	1	2	4
11	Marcha à Ré	3	3	4	2	4
12	Restrições relativas à instalação	3	2	4	2	4
13	Intervalo de variação da relação de transmissão	3	2	4	4	4
14	Necessidade de cuidados de manutenção	3	3	3	4	4
<b>Soma</b>		<b>44</b>	<b>35</b>	<b>45</b>	<b>43</b>	<b>56</b>
<b>Valor técnico <math>x = z/z_i \leq 1</math></b>		<b>0,79</b>	<b>0,63</b>	<b>0,80</b>	<b>0,77</b>	<b>1</b>
<b>Valor estimativo <math>y = K/K_i \geq 1</math></b>		<b>1,3</b>	<b>1,9</b>	<b>6,35</b>	<b>4,65</b>	<b>1</b>
<b>Valor geral de comparação <math>s = x/y</math></b>		<b>0,608</b>	<b>0,332</b>	<b>0,126</b>	<b>0,166</b>	<b>1</b>

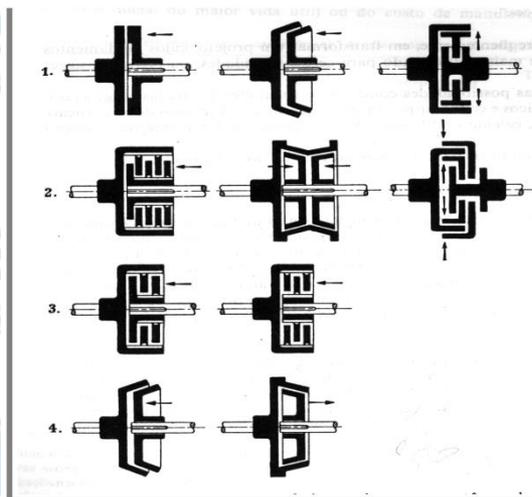
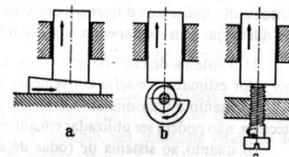
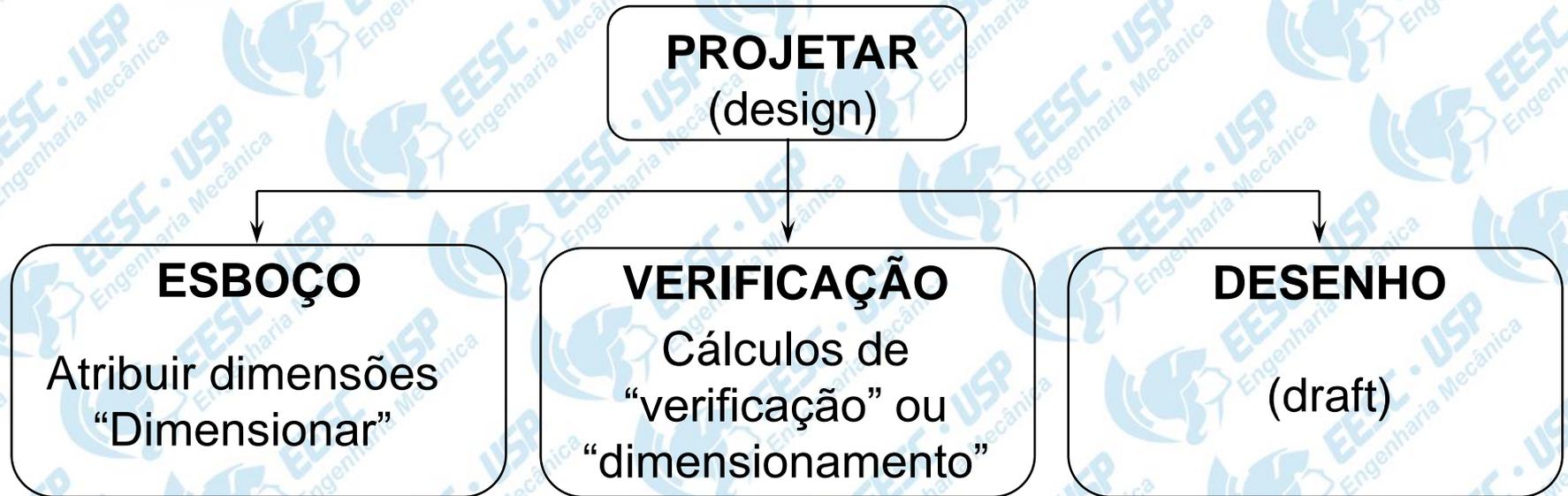


Figura 1.3 – Elementos para Ajustagem de Precisão  
a) cunha; b) cunha giratória (excêntrica); c) parafuso (cunha enrolada sobre um cilindro)



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

# 1.5. Projetar, dimensionar, verificar



## Critérios usuais:

- Tensão admissível
- Flecha (deformação) admissível

## • Outros Critérios:

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

# 1.6. Algumas regras de bem projetar

## 1.6.1. Redução de custos

a) Redução de custos na construção.

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

b) Redução de custos de material

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

c) Redução de custos de fabricação.

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

d) Redução de custos para o consumidor.

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

## 1.7. 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

## 1.8. 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.

## 1.9. 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; coladas; sinterizadas

## 1.10. 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

## 1.11. 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

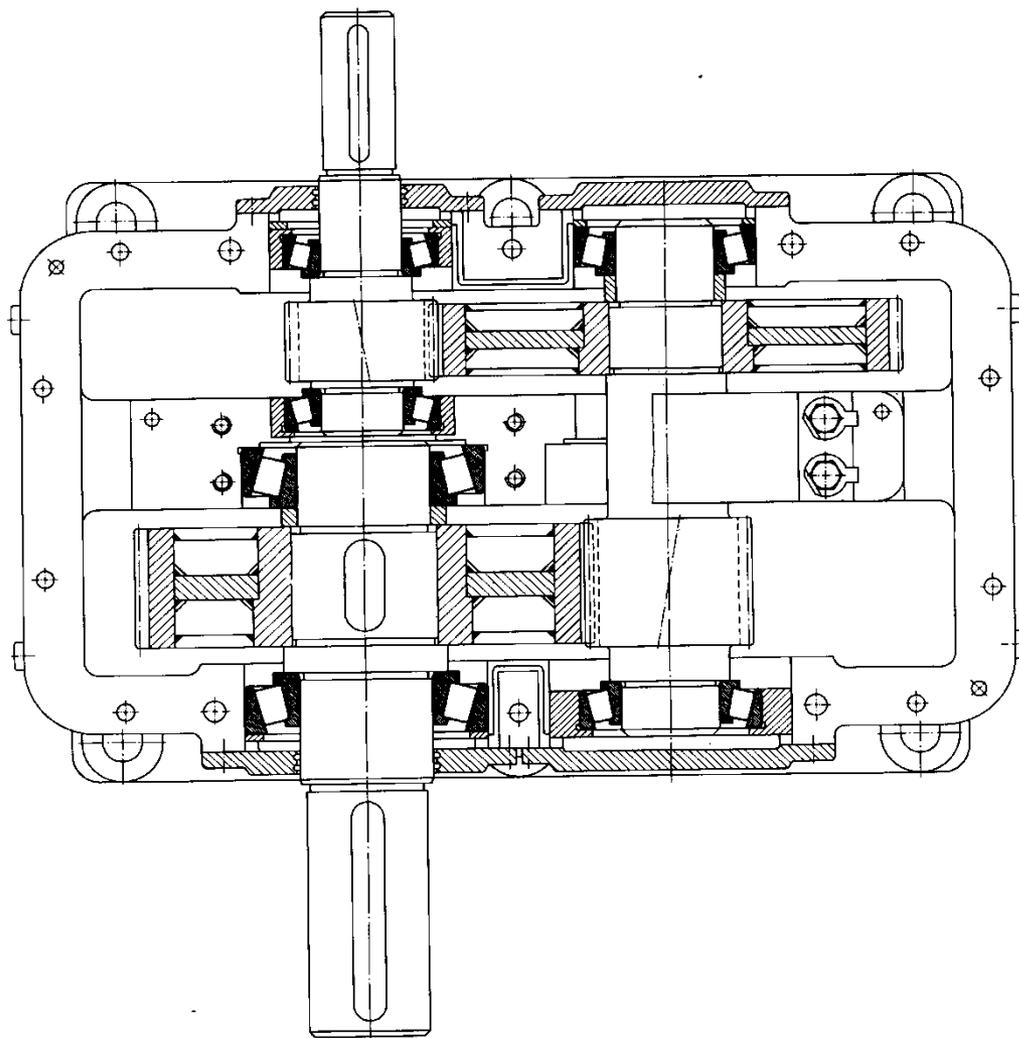
$F3 \rightarrow$  modelos analíticos de forças e tensões

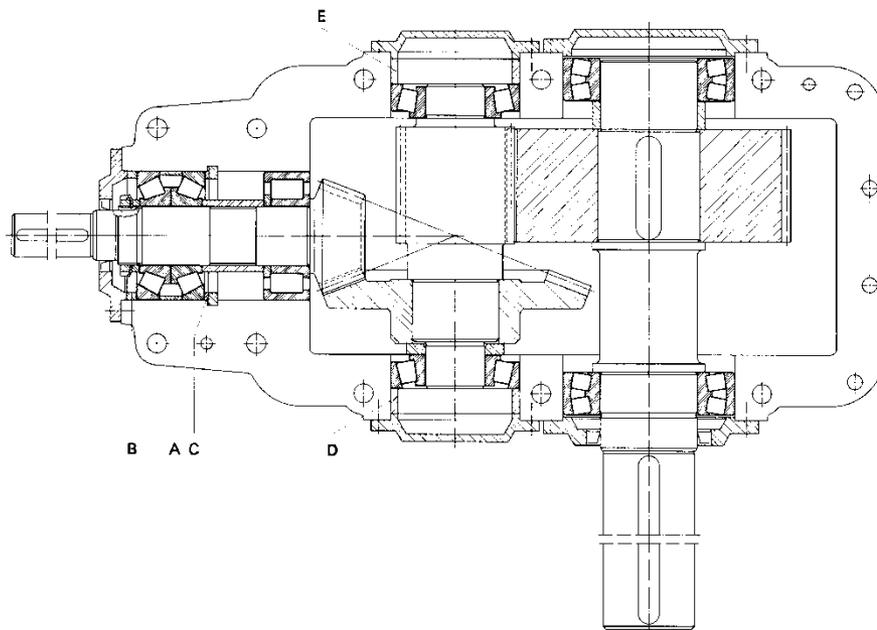
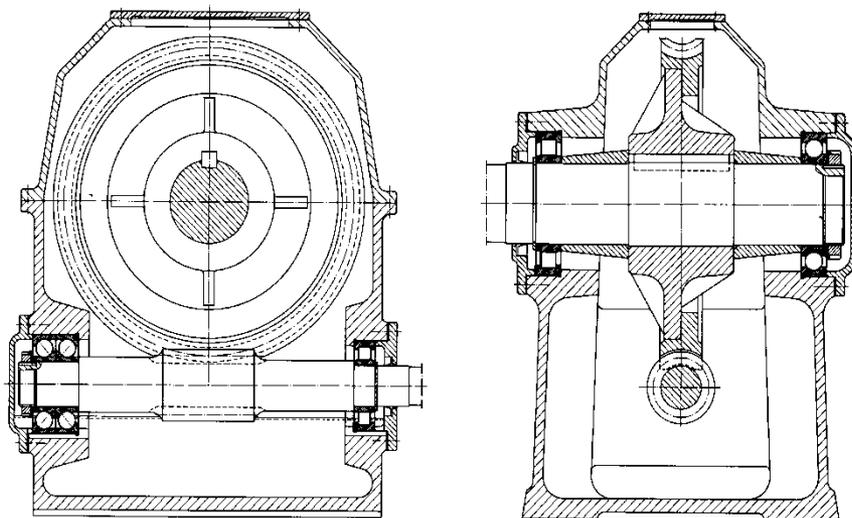
## Exemplos:

- 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 maquinas leve  $F \geq 1,2$ ;
- Suporte de maquinas de movimento alternado  $F \geq 1,5$ .

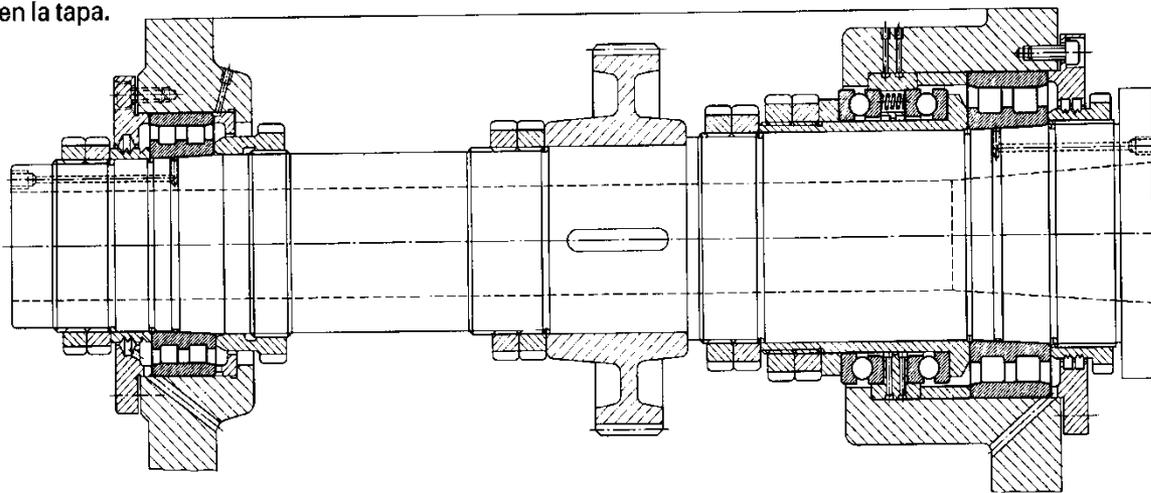
\*  $F$  = fator de serviço

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

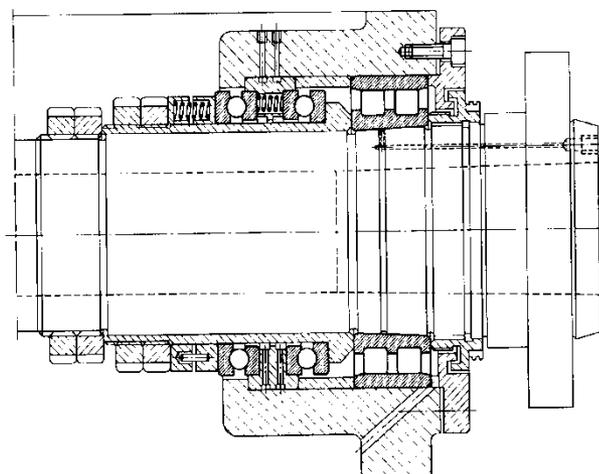
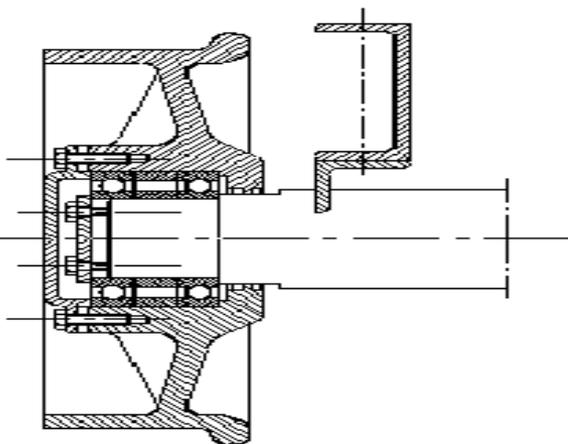




...  
en la tapa.



6 Husillo de un torno



## 1.12. Referências

- Collins JA. *Projeto Mecânico de Elementos de Máquinas*. LTC, 2008
- JuvinalL RC. *Fundamentos do Projeto de Componentes de Máquinas*. LTC, 2008
- Niemann G. *Elementos de Máquinas*, vols. I, II e III, Editora Edgard Blucher, 1991.
- Norton RL. *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,JE; Mitchell, LD. *Projeto de Engenharia Mecânica*, 7th ed., Bookman, Porto Alegre 2005.
- SKF - *Catálogo de Rolamentos*, 1989.