

Capítulo 11

Automação de Projetos Sistemas de apoio a projetos (CAID/CAD/CAE/CAM)


PRO3252
EPUSP-PRO


Escola Politécnica da Universidade de São Paulo | Departamento de Engenharia de Produção



1


A pergunta de hoje:

 Quais são as principais atividades de projetos de engenharia apoiadas por computador?

 Quais são as características fundamentais dos sistemas de apoio à engenharia?

PRO3252 Mauro Spinola - Marcelo Pessoa - EPUSP-PRO

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo | Departamento de Engenharia de Produção



2

agenda

- Visão geral dos sistemas de apoio a projetos de engenharia

PRO3252 Mauro Spinola - Marcelo Pessôa - EPUSP-PRO 3

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo | Departamento de Engenharia de Produção

PRO
USP
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
EPUSP

3

Visão geral: atividades relacionadas a desenvolvimento e fabricação

PRO3252 Mauro Spinola - Marcelo Pessôa - EPUSP-PRO 4

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo | Departamento de Engenharia de Produção

PRO
USP
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
EPUSP

4

CAD

Definição

Dimensionalidade

Geometria e topologia

PRO3252 Mauro Spinola - Marcelo Pessoa - EPUSP-PRO
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo | Departamento de Engenharia de Produção

5

5

Sistema CAD - definição

- ❑ Os sistemas CAD - Computer-aided Design (Projeto Auxiliado por Computador) auxiliam as atividades de criação, modificação, análise ou otimização de um projeto (design).

PRO3252 Mauro Spinola - Marcelo Pessoa - EPUSP-PRO
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo | Departamento de Engenharia de Produção

6

6

Sistema CAD - definição

- ❑ **Software desses sistemas baseado em interface gráfica orientada ao usuário.**

Tipos de projeto que usam CAD:

- Mecânicos
- Elétricos
- Eletrônicos
- Engenharia civil
- Engenharia aeronáutica
- Engenharia naval
- Engenharia química etc.


PRO3252 Mauro Spinola - Marcelo Pessoa - EPUSP-PRO 7

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo | Departamento de Engenharia de Produção

7

CAD - dimensionalidade

- ❑ **Dimensionalidade:** tipo de geometria processada e armazenada num sistema CAD
 - Sistemas de 2 dimensões [2D]
 - Sistemas de 2 dimensões e meia [2½D] (pseudo-3D)
 - Sistemas de 3 dimensões [3D]
 - wire frame
 - superfícies
 - sólidos







Mauro Spinola - Marcelo Pessoa - EPUSP-PRO 8

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo | Departamento de Engenharia de Produção


8

CAD – 2D




UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

EPUSP



Os primeiros sistemas CAD baseavam-se em representação 2D.




Equivalente ao desenho em papel.



Cada ponto é representado por dois números

Exemplo:

- distância horizontal em relação à borda esquerda
- distância vertical da borda inferior



Há representação também para segmentos, círculos, arcos e outras curvas planares.




PRO3252 Mauro Spinola - Marcelo Pessoa - EPUSP-PRO


Escola Politécnica da Universidade de São Paulo | Departamento de Engenharia de Produção

9


9

CAD – 2D



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

EPUSP



Ainda hoje a representação em 2D é a melhor para realizar as atividades de documentação e detalhamento final de um projeto.



Há limitações, sobretudo na visualização dos objetos.

PRO3252 Mauro Spinola - Marcelo Pessoa - EPUSP-PRO

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo | Departamento de Engenharia de Produção

10

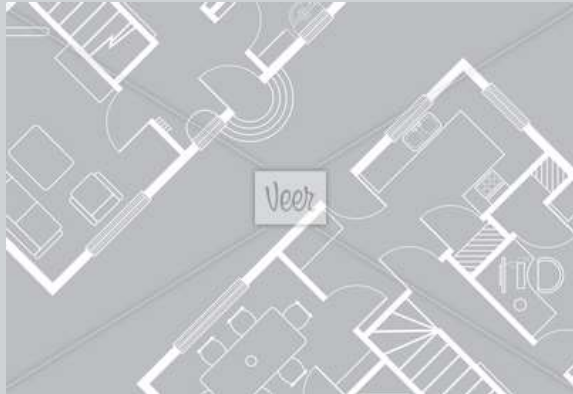
10

CAD – 2D

PRO3252

Mauro Spinola - Marcelo Pessoa - EPUSP-PRO

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo | Departamento de Engenharia de Produção



USP
UNIVERSIDADE DE
SÃO PAULO

EPUSP

11

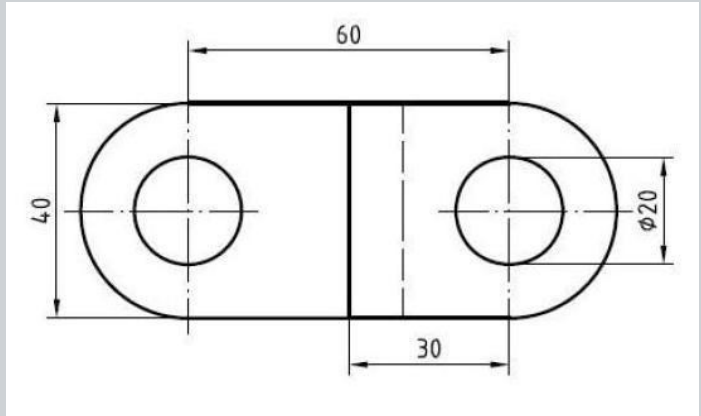
11

CAD – 2D

PRO3252

Mauro Spinola - Marcelo Pessoa - EPUSP-PRO

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo | Departamento de Engenharia de Produção



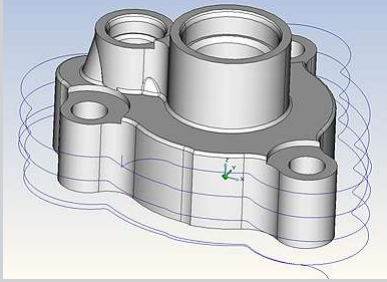
USP
UNIVERSIDADE DE
SÃO PAULO

EPUSP




12

12

CAD – 2½ D



- Acrescentam, às representações 2D, a representação de objetos tridimensionais tais como uma seção de corte arbitrária.
- Podem ser calculadas propriedades de objetos sólidos, tais como volume.

PRO3252

Mauro Spinola - Marcelo Pessôa - EPUSP-PRO

13

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo




Departamento de Engenharia de Produção

13

CAD – 3D

Sistemas 3D:

- wire frame
- superfícies
- sólidos

PRO3252

Mauro Spinola - Marcelo Pessôa - EPUSP-PRO

14

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Departamento de Engenharia de Produção

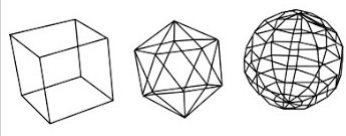
14

CAD – 3D wireframe

Utilizam:

- segmentos de reta,
- círculos,
- arcos e outras curvas –
- em três dimensões – que trabalham com múltiplas visões (de qualquer direção arbitrária) e perspectiva.

A representação de um paralelepípedo, por exemplo, é feita através de suas 12 bordas.

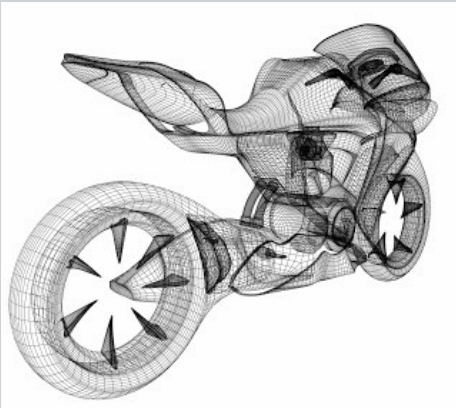


PRO3252 Mauro Spinola - Marcelo Pessoa - EPUSP-PRO 15
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo | Departamento de Engenharia de Produção

15

CAD – 3D wireframe


Exemplo 1:




PRO3252 Mauro Spinola - Marcelo Pessoa - EPUSP-PRO 16
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo | Departamento de Engenharia de Produção


16

CAD – 3D wireframe





❑ **Exemplo 2:**





PRO3252
Mauro Spinola - Marcelo Pessoa - EPUSP-PRO
17

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Produção


17

CAD – 3D superfícies





UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO



EPUSP

❑ **Cada sólido é representado por seus limites, que consistem de superfícies:**

- planares
- cilíndricas
- cônicas
- esféricas

❑ **É a representação mais utilizada no projeto de automóveis, sobretudo parte externa e painel**

PRO3252
Mauro Spinola - Marcelo Pessoa - EPUSP-PRO
18

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Produção

18

CAD – 3D superfícies

□ Exemplo 1:



dreamstime.com

PRO3252 Mauro Spinola - Marcelo Pessoa - EPUSP-PRO 19

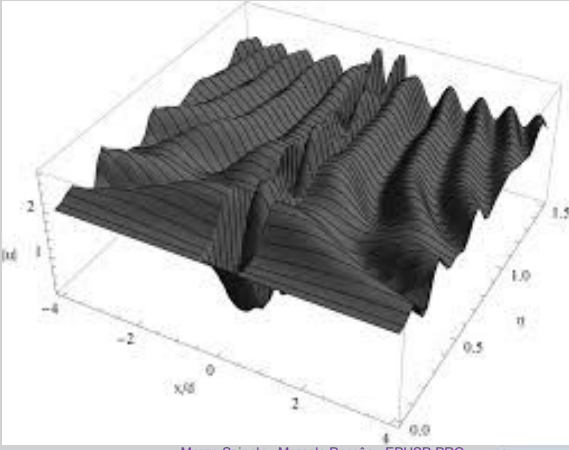
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo | Departamento de Engenharia de Produção

USP UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO EPUSP

19

CAD – 3D superfícies

□ Exemplo 2:



PRO3252 Mauro Spinola - Marcelo Pessoa - EPUSP-PRO 20




Escola Politécnica da Universidade de São Paulo | Departamento de Engenharia de Produção

USP UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO EPUSP

20

CAD – 3D sólidos

- ❑ **Trabalham de forma similar com a utilização de blocos para construir um sistema sólido real.**
- ❑ **Possuem um conjunto de objetos primitivos**

PRO3252

Mauro Spinola - Marcelo Pessoa - EPUSP-PRO

21



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Departamento de Engenharia de Produção

21

CAD – 3D sólidos

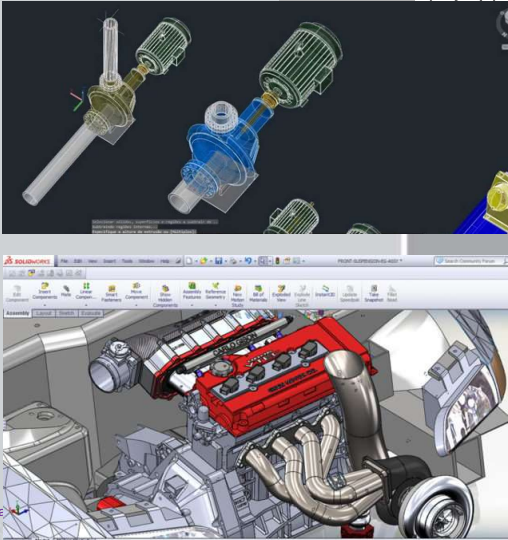
- ❑ **Possuem funções de movimentos:**
 - Translação
 - Rotação
- ❑ **Possuem operações com objetos:**
 - União
 - Intersecção
 - Diferença
- ❑ **Estes sistemas permitem a melhor visualização.**

PRO3252

Mauro Spinola - Me

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo



22

CAD – 3D sólidos

PRO3252

Mauro Spinola - Marcelo Pessôa - EPUSP-PRO

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo | Departamento de Engenharia de Produção

23



USP
UNIVERSIDADE DE
SÃO PAULO

EPUSP

PRO

Exemplo 1:

23

CAD – 3D sólidos

PRO3252

Mauro Spinola - Marcelo Pessôa - EPUSP-PRO

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo | Departamento de Engenharia de Produção

24



USP
UNIVERSIDADE DE
SÃO PAULO

EPUSP

PRO

Exemplo 2:

24

CAD

Dimensionalidade	Mérito
2D	Documentação Detalhamento Controle numérico 2D
2½D	Partes torneadas Partes esculpidas
3D wire frame	Extensão simples do 2D
3D superfícies	Remoção de linhas escondidas Controle numérico multieixo Especificações de superfícies
3D sólidos	Visualização Análise de elementos finitos Análise dinâmica

PRO3252
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Mauro Spinola - Marcelo Pessôa - EPUSP-PRO
Departamento de Engenharia de Produção

25

25

Exemplo: automação de projeto aeronáutico - Embraer

- ❑ **Embraer**
 - Desenvolvimento (design) de aeronaves (produtos)
 - Integradora de sistemas aeronáuticos (parceiros e fornecedores)
 - Fabricação e suporte à operação
- ❑ **CATIA (Dassault Systèmes)**
- ❑ **Desenvolvimento Digital do Produto**
- ❑ **PEE – Programa de Especialização em Engenharia**



PRO3252
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Mauro Spinola - Marcelo Pessôa - EPUSP-PRO
Departamento de Engenharia de Produção

26

26

Exemplo: automação de projeto aeronáutico - Embraer

- Fases do desenvolvimento de uma aeronave:
 - Concepção
 - Projeto (design)
 - Fabricação (protótipos)
 - Roll-out
 - Ensaios
 - Produção seriada

PRO3252

Mauro Spinola - Marcelo Pessoa - EPUSP-PRO

27

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo | Departamento de Engenharia de Produção

27

Exemplo: automação de projeto aeronáutico - Embraer

- DMU: Digital Mock-Up (3D)
- Desenvolvimento simultâneo multidisciplinar



PRO3252

Mauro Spinola - Marcelo Pessoa - EPUSP-PRO

28

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo | Departamento de Engenharia de Produção

28

Exemplo: automação de projeto aeronáutico - Embraer

- ❑ CRV: Centro de Realidade Virtual
- ❑ Design Review – integração de sistemas



PRO3252 Mauro Spinola - Marcelo Pessoa - EPUSP-PRO 29

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo | Departamento de Engenharia de Produção

PRO USP UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO EPUSP

29

Exemplo: automação de projeto aeronáutico - Embraer

- ❑ PLM: Product Lifecycle Manager
- ❑ Integração com ERP (exemplo: lista de peças para fabricação)



PRO3252 Mauro Spinola - Marcelo Pessoa - EPUSP-PRO 30

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo | Departamento de Engenharia de Produção

PRO USP UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO EPUSP

30

Exemplo: Odontologia digital

- **Etapa 1 – Captura das informações**
 - Câmeras de foto e vídeo, scanners intraorais 3D ou de bancada e tomografias computadorizadas.
- **Etapa 2 – Planejamento em software**
 - Projetar/desenhar os aparatos necessários para o tratamento (restaurações, lâminas e coroas, guias cirúrgicos e alinhadores ortodônticos).

PRO3252 Mauro Spinola - Marcelo Pessoa - EPUSP-PRO 33
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo | Departamento de Engenharia de Produção

33

Exemplo: Odontologia digital


- **Etapa 3 – Fresagem ou impressão 3D**
 - **“Retornar ao mundo físico”**: transformar o projeto digital em um produto real
 - **Fresagem**: o profissional escolhe um bloco maciço de material (ex.: cerâmica, resina, zircônia etc.) que será colocado na fresadora e reduzido até que reste só o elemento projetado.
 - **Impressão 3D**: uma forma aditiva, em que o produto é criado sobre um modelo de polímero.





marcelo Pessoa - EPUSP-PRO
Departamento de Engenharia de Produção

34

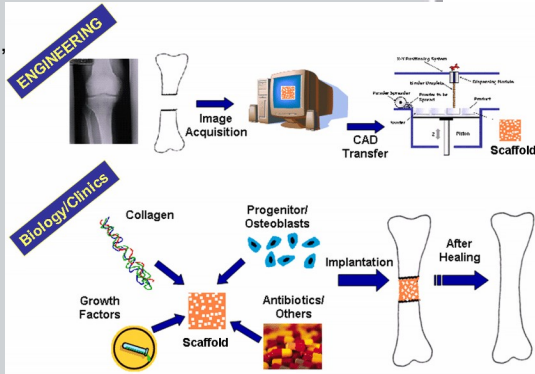
Exemplo: Computer Aided Tissue Engineering - C.A.T.E.







- **Engenharia de tecidos**
 - Ramo da **Engenharia Biomédica**, é a ciência aplicada que utiliza conhecimentos de biologia, química e física para desenvolver **tecidos artificiais**. Pode ser aplicada à produção de pele artificial, cartilagens e tecidos ósseos
- **Sacaffold – “andaimas”**
- bit.ly/Tissue-Eng





PRO3252
Mauro Spinola - Marcelo Pessoa - EPUSP-PRO
35


Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Produção

35

Geometria e Topologia







- **geometria**: a posição, orientação, e o tamanho de cada elemento geométrico no projeto de um objeto
- **topologia**: conectividade entre esses elementos geométricos


PRO3252
Mauro Spinola - Marcelo Pessoa - EPUSP-PRO
36

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Produção

36

Geometria e Topologia

- ❑ **Sistemas CAD clássicos**
- ❑ ***Orientados apenas a geometria e armazenam apenas a geometria final.***




PRO3252 Mauro Spinola - Marcelo Pessoa - EPUSP-PRO 37

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo | Departamento de Engenharia de Produção

37

Geometria e Topologia

- ❑ **Sistemas paramétricos**
 - **Trabalham com topologia, armazenando os comandos usados pelo usuário para definir a geometria.**



PRO3252 Mauro Spinola - Marcelo Pessoa - EPUSP-PRO 38

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo | Departamento de Engenharia de Produção

38

Geometria e Topologia

- ❑ **Sistemas paramétricos. Exemplo:**
 - Quando um usuário especifica que um arco pode ser criado com um dado raio, tangente ao final de um segmento previamente definido e com um dado ângulo incluso, pode ser armazenada a sequência de operações executada para construção da geometria.
 - Se o segmento for modificado, o sistema paramétrico pode recuperar a construção do arco apesar de ter sido alterada a geometria, que fará com que o ângulo interno seja diferente.

PRO3252 Mauro Spinola - Marcelo Pessoa - EPUSP-PRO 39
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo | Departamento de Engenharia de Produção

39

Geometria e Topologia

- ❑ **Sistemas variacionais**
 - São ainda mais avançados, pois armazenam a topologia tanto quanto a geometria.

PRO3252 Mauro Spinola - Marcelo Pessoa - EPUSP-PRO 40
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo | Departamento de Engenharia de Produção


40

Geometria e Topologia

- **Sistemas variacionais.** Por exemplo
 - Quando um usuário entra com um arco, especifica que possui um dado raio, tangente ao final de um segmento previamente definido, e com um dado ângulo, o sistema variacional guarda não somente a localização dos pontos e do arco, mas também as regras para o arco.

PRO3252 Mauro Spinola - Marcelo Pessoa - EPUSP-PRO 41

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo | Departamento de Engenharia de Produção




41

Geometria e Topologia

- **Sistemas variacionais.** Por exemplo
 - Se, mais tarde, o usuário decide trocar a regra do ângulo interno por uma de tangência com outro segmento, ele deve apenas selecionar a regra do ângulo incluso e trocá-la por uma regra de tangência apropriada.
 - O sistema recupera as outras regras sobre o arco e automaticamente recalcula a geometria.

PRO3252 Mauro Spinola - Marcelo Pessoa - EPUSP-PRO 42

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo | Departamento de Engenharia de Produção



42

CAID – Computer-aided Industrial Design

- ❑ CAID - *Computer-Aided Industrial Design (Desenho Industrial Auxiliado por Computador).*
- ❑ Apoio às atividades de concepção inicial de modelos, antes do projeto propriamente dito
- ❑ Alguns autores identificam esses sistemas por CAS - *Computer-aided Styling*









43

CAID



Os recursos gráficos
(recursos sofisticados)

Ex. Tratamento de cores e sombras, para estudos da aparência do futuro produto.



O que diferencia CAID de CAD é que o primeiro é bem mais conceitual e menos técnico que o segundo. CAID busca auxiliar os profissionais de design a expressar suas ideias para discuti-las com seus pares:




Setores de engenharia
Marketing
Vendas
etc.

PRO3252

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo | Departamento de Engenharia de Produção




44

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo | Departamento de Engenharia de Produção

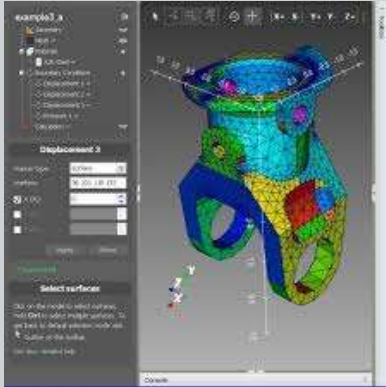




44

CAE – Computer-aided Engineering

- **CAE - Computer-Aided Engineering (Engenharia Auxiliada por Computador)**
 - Com o projeto em CAD é possível realizar vários estudos baseados na geometria estabelecida, acrescida com informações adicionais relevantes para a análise a ser realizada
p. ex. tipo e densidade do material, capacidade térmica etc.



PRO3252




Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
| Departamento de Engenharia de Produção


45

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo | Departamento de Engenharia de Produção

45

CAE – Computer-aided Engineering



- **Análises de engenharia**
 - cálculos de esforços,
 - cálculos de transferência de calor,
 - uso de equações diferenciais para descrever o comportamento dinâmico do sistema sendo projetado,
 - simulação de mecanismo,
 - prototipação rápida através da estereolitografia, técnica recente que permite gerar um modelo físico real

PRO3252


Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
| Departamento de Engenharia de Produção


46


Escola Politécnica da Universidade de São Paulo | Departamento de Engenharia de Produção

46

CAE








Exemplo 1
 Análise de propriedades de massa:


- podem ser fornecidas propriedades de objetos sólidos sendo analisados:
 - área de superfície
 - peso
 - volume
 - centro de gravidade
 - momento de inércia.
- para uma superfície plana (ou seção transversal de um objeto sólido) pode incluir perímetro, área, e propriedades de inércia.





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo | Departamento de Engenharia de Produção

47

CAE

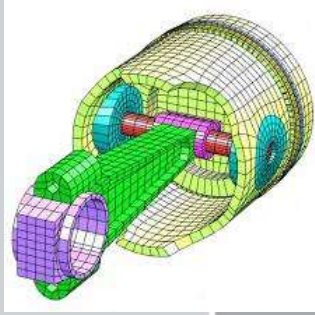






Exemplo 2

- Análise de elementos finitos:**
 - o objeto é dividido em um grande número de elementos finitos (usualmente de forma retangular ou triangular) que formam uma rede de interconexão de nós.
 - Usando computadores de grande capacidade computacional, o objeto completo pode ser analisado em relação a esforços, transferência de calor, e outras características, através do cálculo do comportamento de cada nó.



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo | Departamento de Engenharia de Produção

48

CAM – Computer-aided Manufacturing




- **Fabricação Auxiliada por Computador**
 - Uso de sistemas computacionais para planejar, gerenciar, e controlar as operações de uma planta de fabricação através de uma interface direta ou indireta com os recursos de produção da planta





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo | Departamento de Engenharia de Produção

49

CAM




Monitoramento e controle do processo de fabricação:

aplicações diretas em que o computador é conectado diretamente ao processo.


PRO3252 | Mauro Spinola - Marcelo Pessoa - EPUSP-PRO | Escola Politécnica da Universidade de São Paulo | Departamento de Engenharia de Produção

50

CAM



suporte à fabricação



aplicações indiretas em que o computador é usado para suporte às operações de produção da planta, sem que haja uma interface direta entre o computador e o processo.

PRO3252 Mauro Spinola - Marcelo Pessoa - EPUSP-PRO 51

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo | Departamento de Engenharia de Produção

51

Sistemas CAD livres

- ❑ *Art of Illusion* (<http://www.artofillusion.org/downloads>). Trabalha com modelagem 3D de superfície.
- ❑ *Blender* (<http://www.blender.org/download/get-blender/>). Software aberto, com recursos avançados profissionais.
- ❑ *FreeCAD* (<http://sourceforge.net/projects/free-cad/?source=directory>). Software aberto, possui recursos avançados de modelagem e simulação.
- ❑ *OpenSCAD* (<http://www.openscad.org/>). Voltado para programadores (que escrevem programas para gerar as formas desejadas). Usa intensamente o conceito de parametrização.
- ❑ *SketchUp* (<http://www.sketchup.com/intl/pt-BR/download/>). Possui recursos avançados para design e engenharia. Há uma comunidade no Brasil (<http://www.sketchupbrasil.com/>).
- ❑ *TinkerCAD* (<http://www.tinkercad.com>). De fácil utilização, roda diretamente no site.

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo | Departamento de Engenharia de Produção

52

Capítulo 11

**Automação de Projetos
Sistemas de apoio a
projetos
(CAID/CAD/CAE/CAM)**

**PRO3252
EPUSP-PRO**

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo | Departamento de Engenharia de Produção

