

PVE5301-4

Projeto Integrado do produto automotivo



Escola Politécnica
da Universidade
de São Paulo



Prof. Dr. Guilherme Canuto da Silva
guilhermecanuto@usp.br

Conteúdo (aula 1)

Conteúdo da aula

- ✓ PDP-Automotivo
- ✓ Protótipos virtuais e físicos
- ✓ Diretrizes para seleção de protótipos
- ✓ Exercício proposto

PVE5301-4

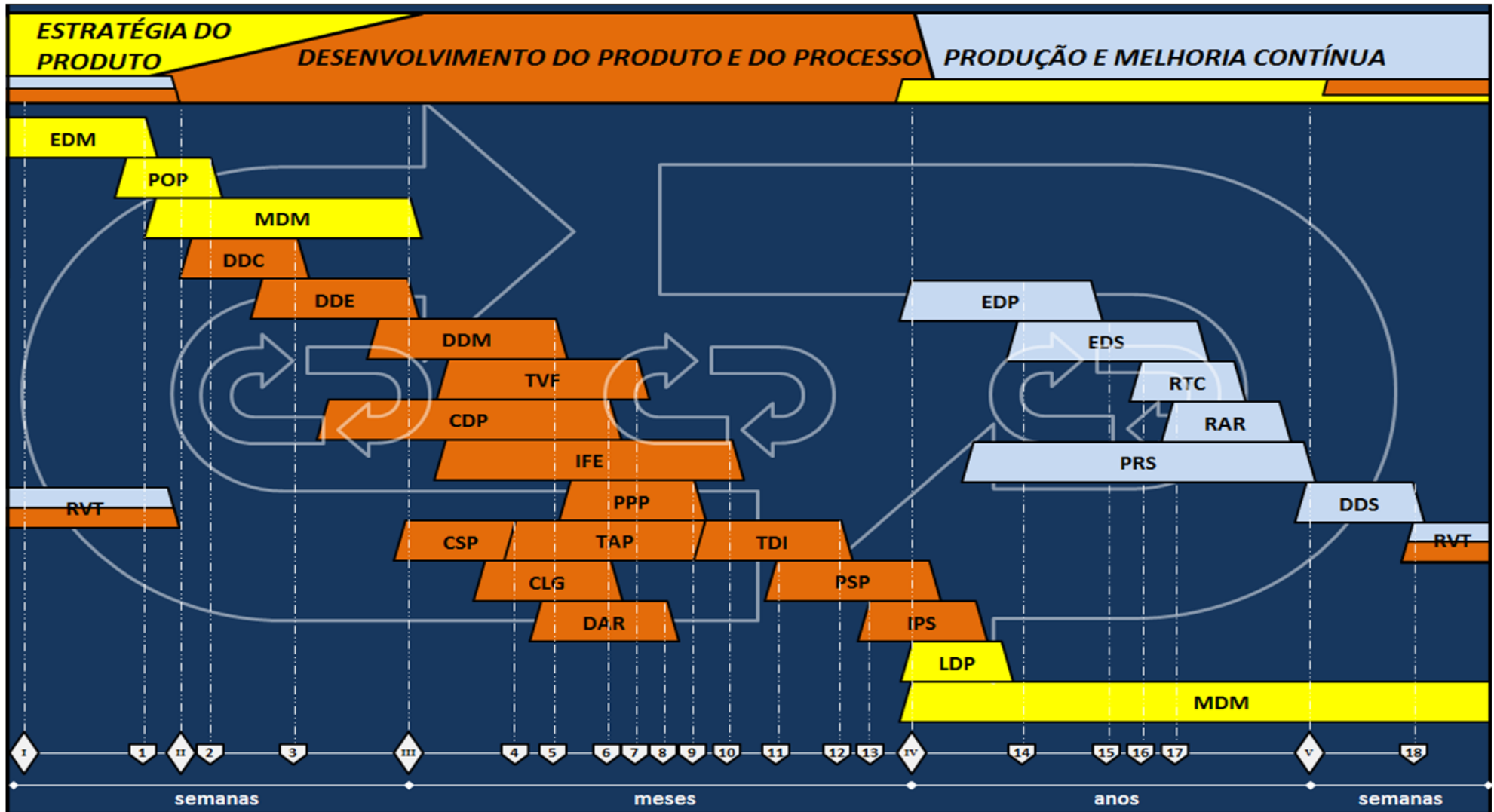
Projeto Integrado do produto automotivo





Escola Politécnica
da Universidade
de São Paulo



PDP-Automotivo



Legenda

| | | | | | | | |
|---------------------------|------------|-----------------------------|------------|--|------------|--|---|
| estudo de mercado | EDM | desenvolvimento do conceito | DDC | conceito do processo | CDP | estabilidade do processo | EDP |
| posicionamento do produto | POP | desenvolvimento do estilo | DDE | infraestrutura | IFE | estabilidade da série | EDS |
| monitoramento do mercado | MDM | desenvolvimento dos módulos | DDM | planejamento e preparação da produção | PPP | redução dos tempos de ciclo | RTC |
| lançamento do produto | LDP | testes e validação final | TVF | conceito do sistema de produção | CSP | redimensionamento e alocação de recursos | RAR |
| | | | | tecnologia e automação do processo | TAP | produção seriada | PRS |
| | | | | testes das instalações | TDI | descontinuidade da série | DDS |
| | | | | conceito logístico | CLG | revisão técnica | RVT |
| | | | | dimensionamento e alocação de recursos | DAR | |  |
| | | | | pré-série de produção | PSP | marco gerencial | |
| | | | | início da produção seriada | IPS | marco técnico |  |

PVE5301-4

Projeto Integrado do produto automotivo



Escola Politécnica
da Universidade
de São Paulo



Definição

Protótipos virtuais e físicos

Definição

Primeiro tipo ou exemplar, modelo [1].

| protótipo | aplicação |
|------------|--|
| conceitual | Avaliação do conceito do produto e/ou da fabricação. |
| geométrico | Avaliação da geometria do produto e/ou da fabricação. |
| funcional | Avaliação de funções do produto e/ou da fabricação. |
| técnico | Teste piloto do produto/componente e/ou da fabricação/dispositivo. |
| final | Pequenos lotes*. |

* Apenas para protótipos físicos.

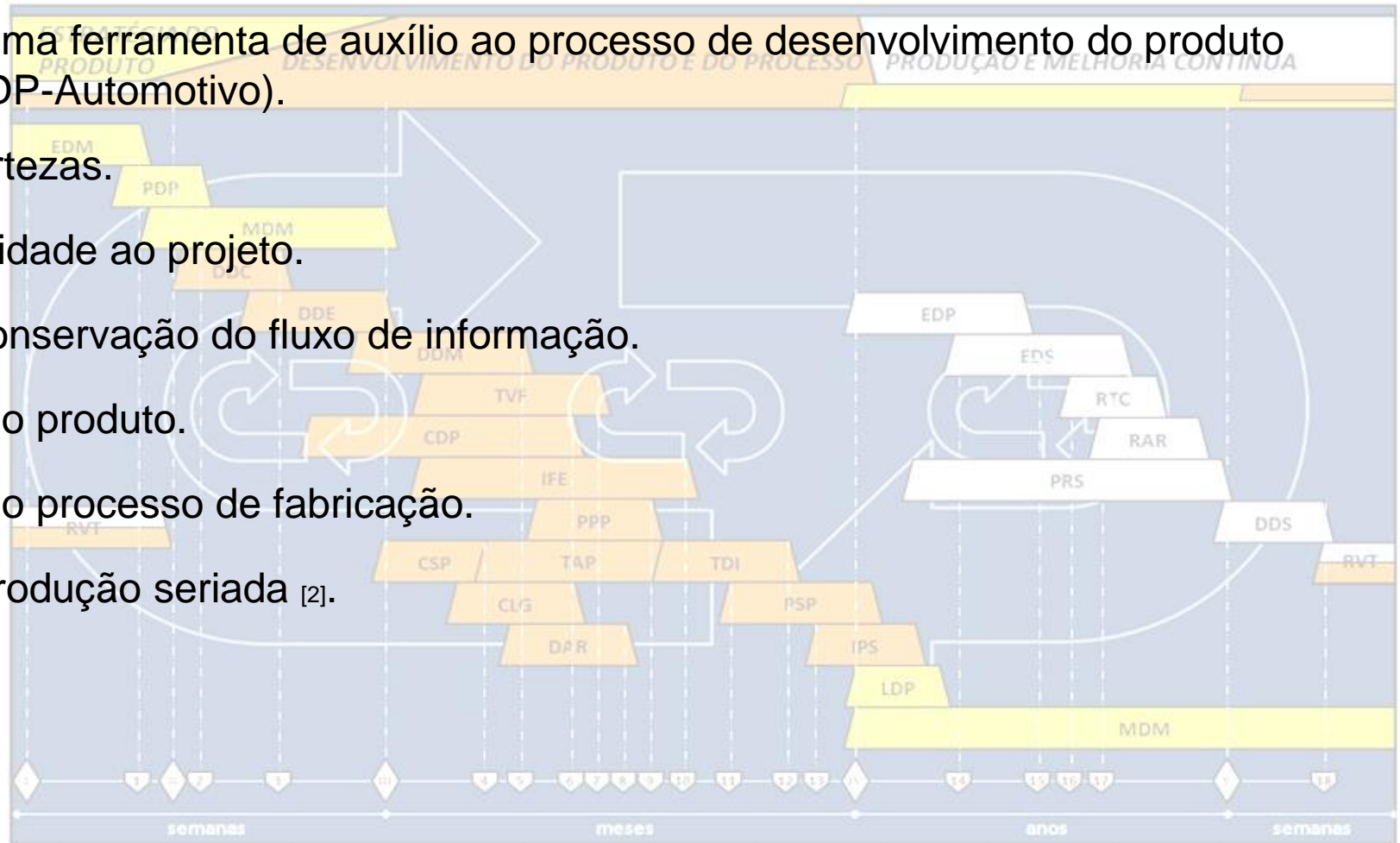
[2]

Protótipos virtuais e físicos

Finalidade do protótipo

O protótipo é uma ferramenta de auxílio ao processo de desenvolvimento do produto automotivo (PDP-Automotivo).

- Reduzir incertezas.
- Trazer maturidade ao projeto.
- Auxiliar na conservação do fluxo de informação.
- Desenvolver o produto.
- Desenvolver o processo de fabricação.
- Melhorar a produção seriada [2].



PVE5301-4

Projeto Integrado do produto automotivo



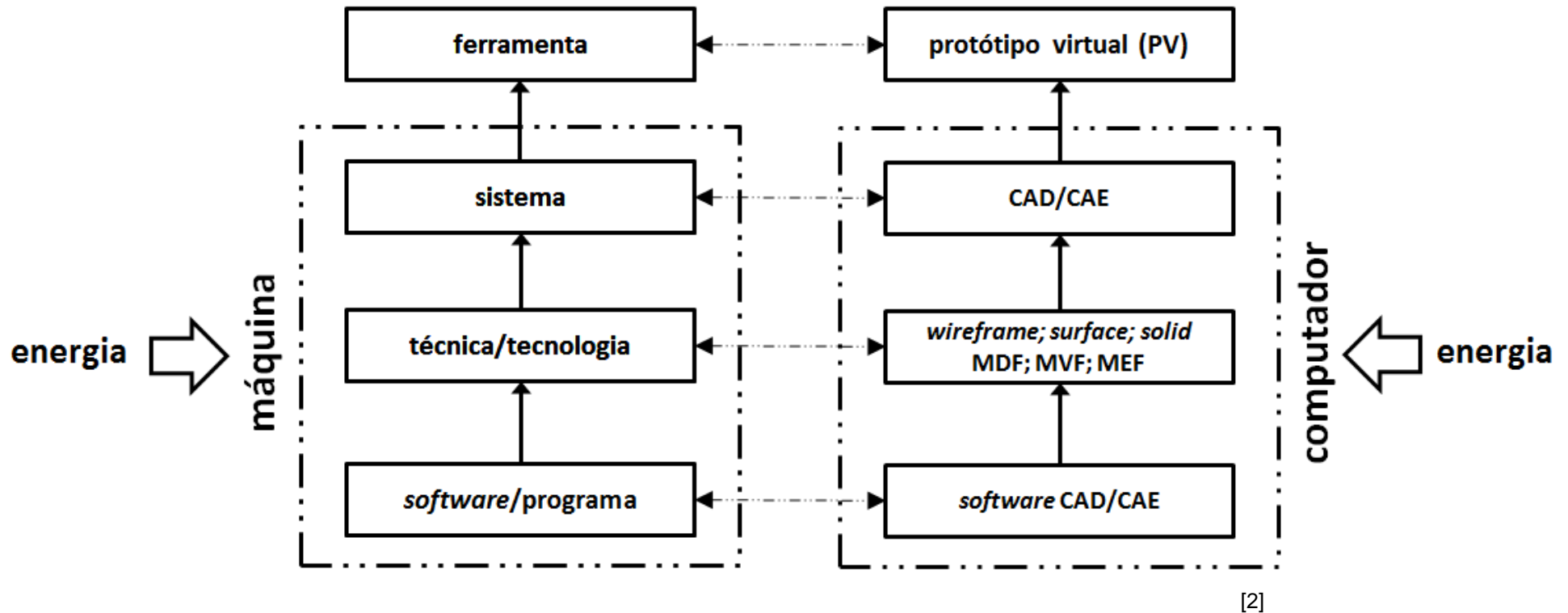
Escola Politécnica
da Universidade
de São Paulo



Protótipo virtual

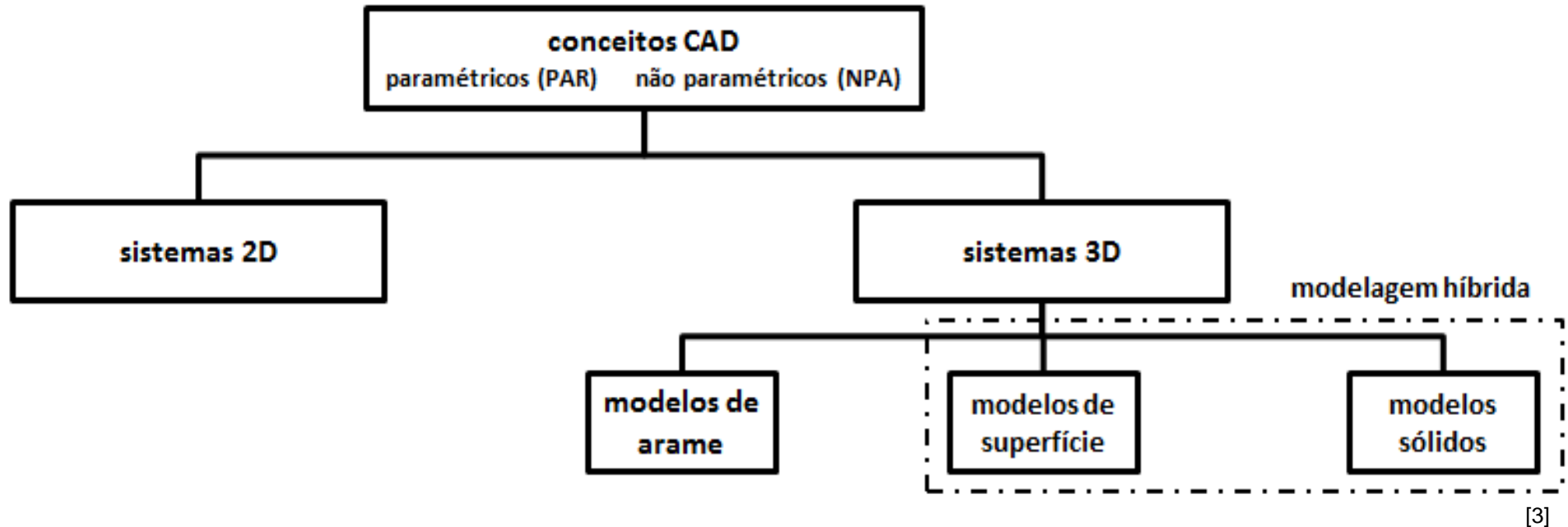
Protótipos virtuais e físicos

Sistemas de criação do protótipo virtual



Protótipos virtuais e físicos

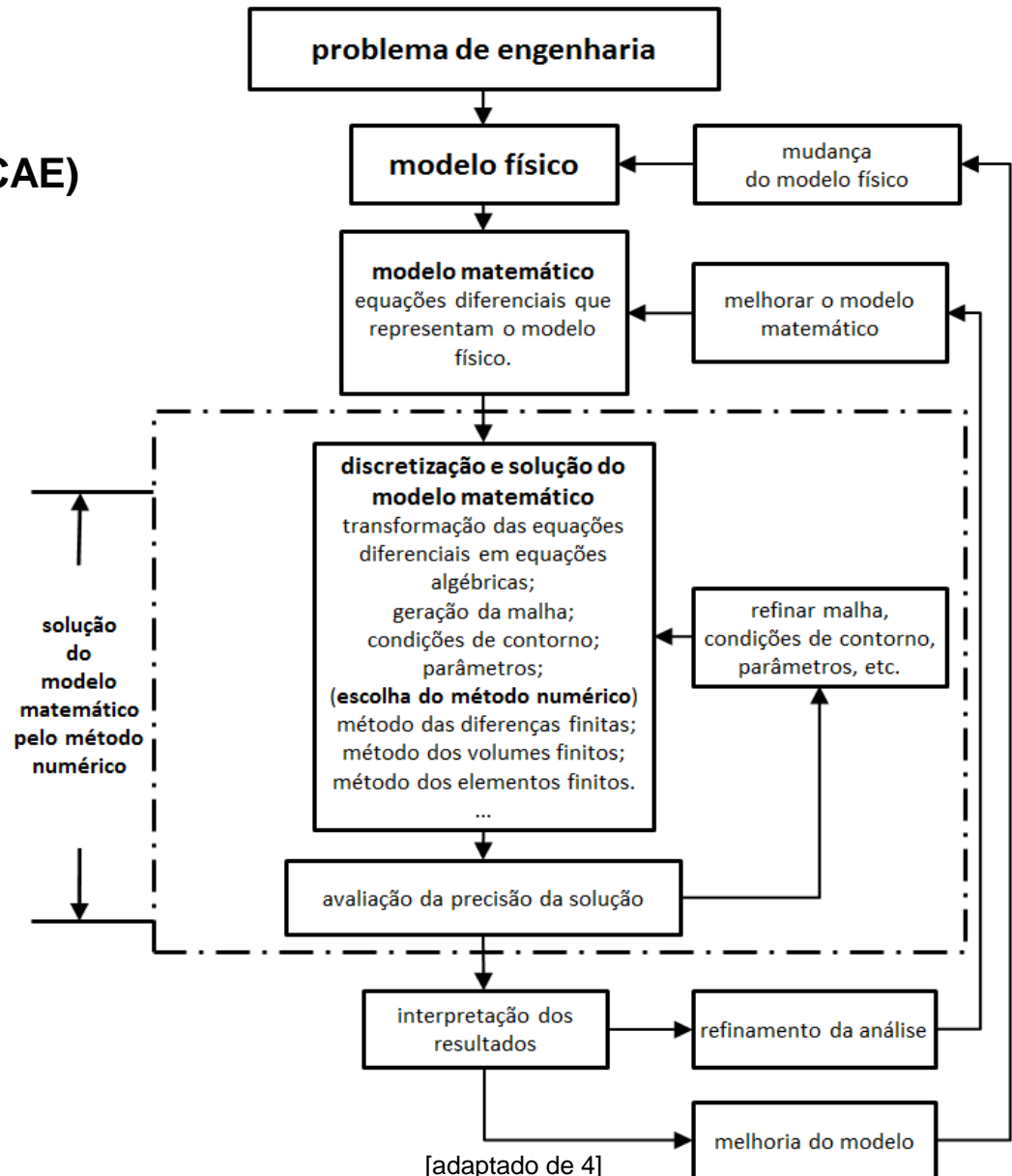
Sistemas de criação do protótipo virtual



Protótipos virtuais e físicos

Sistemas de criação do protótipo virtual (CAE)

- Tratativa do problema real de engenharia.
- Conhecimento do problema.
- Modelagem do problema.
- Testes do modelo.
- Solução do modelo.
- Capacidade de interpretar os resultados.
- Refinamento do modelo se necessário.
- Solução final.



Protótipos virtuais e físicos

Principais softwares/programas disponíveis no mercado (2013-2014).

| | sistemas | CAD | CAE | | |
|----------|--------------------------------------|------------------|----------------------|-------------------------------|---------------------|
| | | | técnicas/tecnologias | | |
| | | | MDF | MVF | MEF |
| empresas | Autodesk | AutoCAD | | | Inventor Simulation |
| | | Navisworks | Moldflow | Moldflow | Moldflow |
| | | Sketchbook Pro | | | Simulation CFD |
| | | Inventor | | | |
| | Dassault Systèmes | CATIA | | SolidWorks Flow Simulation | SIMULIA Abaqus/CAE |
| | | Circuitworks | | SIMULIA Abaqus/CFD | SIMULIA Isight |
| | | SolidWorks | | | DELMIA |
| | | Delmia | | | |
| | Parametric Technology Corporation | Pro/ENGINEER | | | PTC Creo Simulate |
| | | InterCamm Expert | | | |
| | Siemens | Unigraphics | | Femap TMG Flow | NX I-DEAS |
| | | Solid Edge | | NX Thermal | NX CAE |
| | | Tecnomatix | | NX Flow | NX Flow |
| | | NX PCB Exchange | | | |

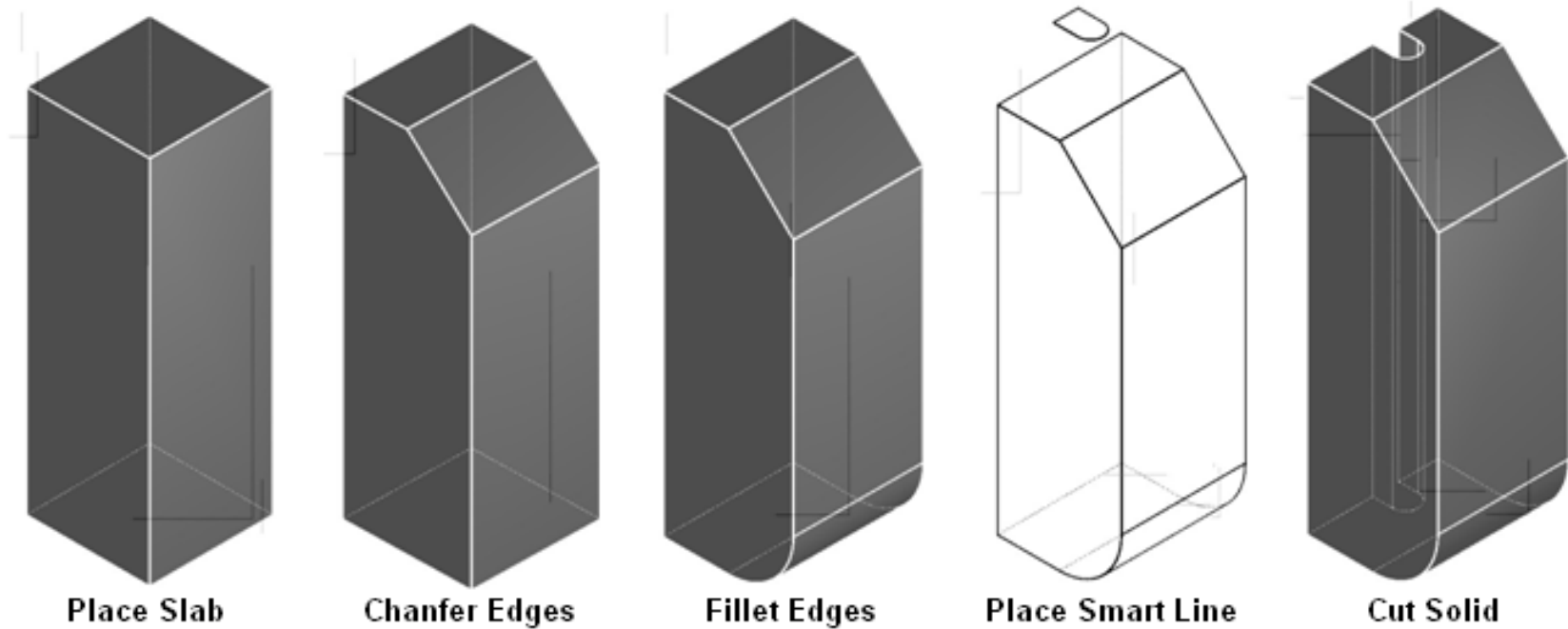
Legenda: (CAD) projeto auxiliado por computador (CAE) engenharia auxiliada por computador (MDF) método das diferenças finitas (MVF) método dos volumes finitos (MEF) método dos elementos finitos

[2]

Protótipos virtuais e físicos

Exemplo de aplicação (produto)

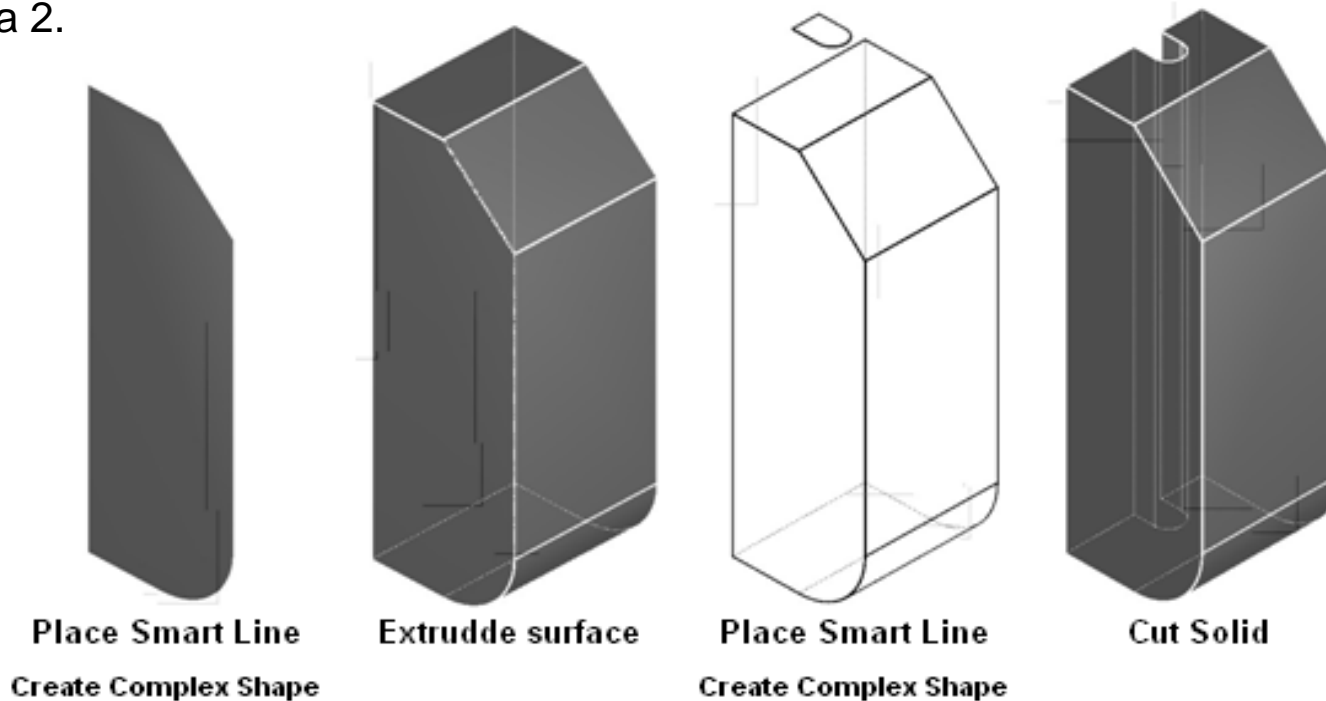
- Construção de um produto por meio de diferentes sequências de comandos (CAD).
- Sequência 1.



Protótipos virtuais e físicos

Exemplo de aplicação (produto)

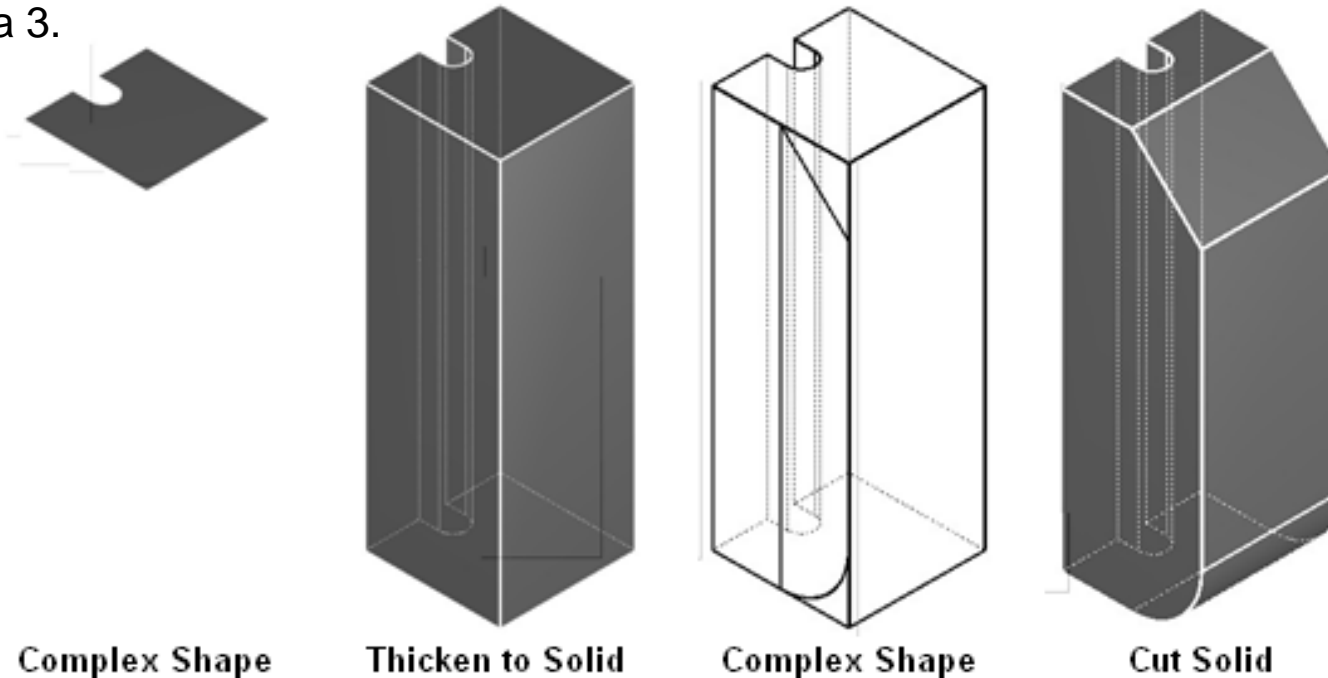
- Construção de um produto por meio de diferentes sequências de comandos (CAD).
- Sequência 2.



Protótipos virtuais e físicos

Exemplo de aplicação (produto)

- Construção de um produto por meio de diferentes sequências de comandos (CAD).
- Sequência 3.

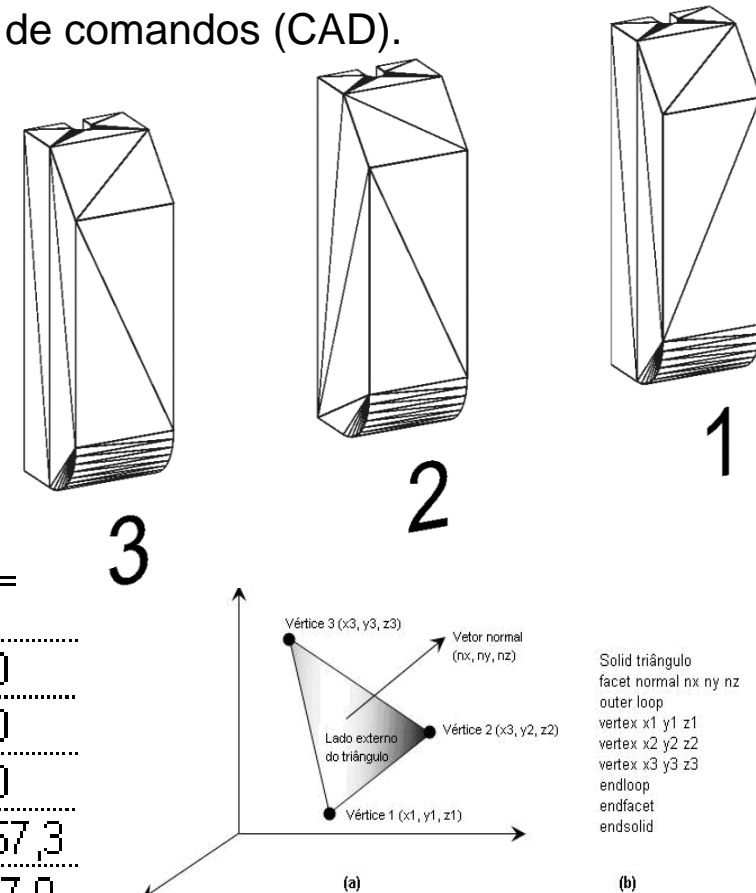


Protótipos virtuais e físicos

Exemplo de aplicação (comparativo)

- Construção de um produto por meio de diferentes sequências de comandos (CAD).
- Influências:
 - no tempo de projeto;
 - na qualidade do desenho de conjunto;
 - na importação e exportação de arquivos;
 - tamanho do arquivo.;
 - informações ou códigos utilizados em outras aplicações.

| | sequência | | |
|---------------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| | 1 | 2 | 3 |
| quantidade de vértices | 70 | 70 | 72 |
| quantidade de facetas triangulares | 136 | 136 | 140 |
| quantidade de arestas | 204 | 204 | 210 |
| quantidade de arestas interiores | 204 | 204 | 210 |
| volume [mm ³] | 335.433,7 | 335.433,6 | 335.457,3 |
| área de superfície [mm ²] | 35.705,6 | 35.705,6 | 35.707,0 |



PVE5301-4

Projeto Integrado do produto automotivo



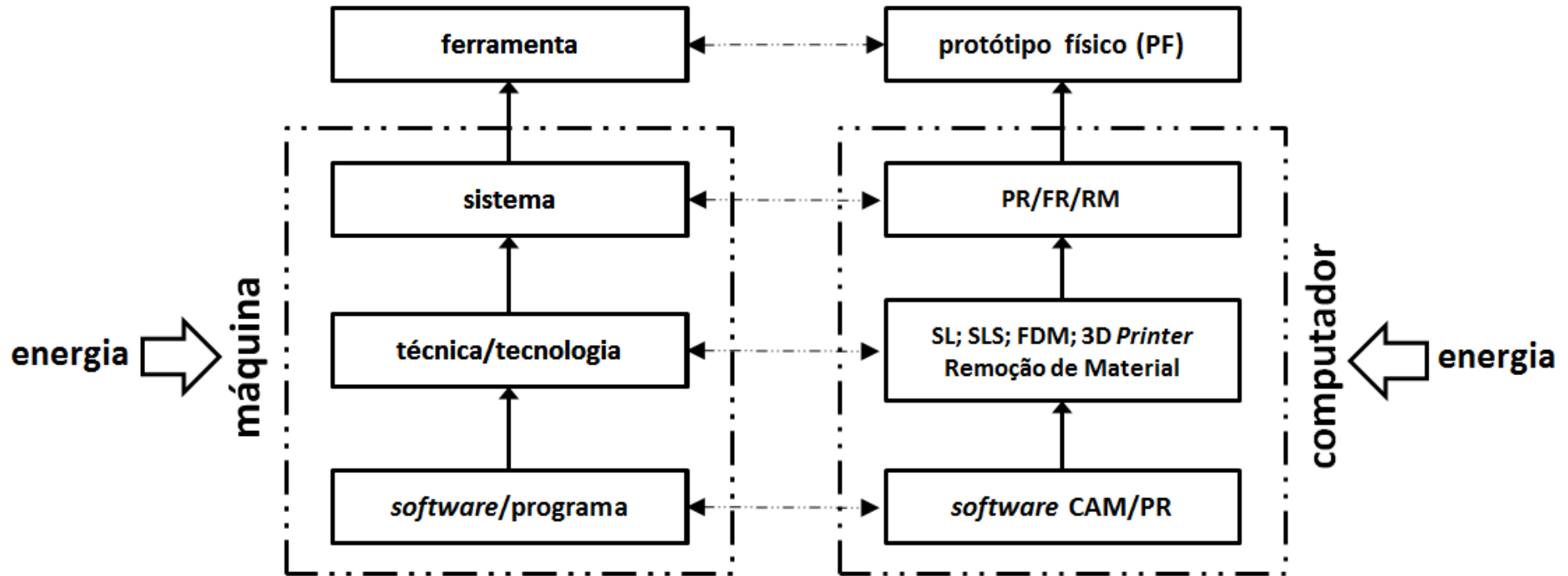
Escola Politécnica
da Universidade
de São Paulo



Protótipo físico

Protótipos virtuais e físicos

Sistemas de fabricação do protótipo físico

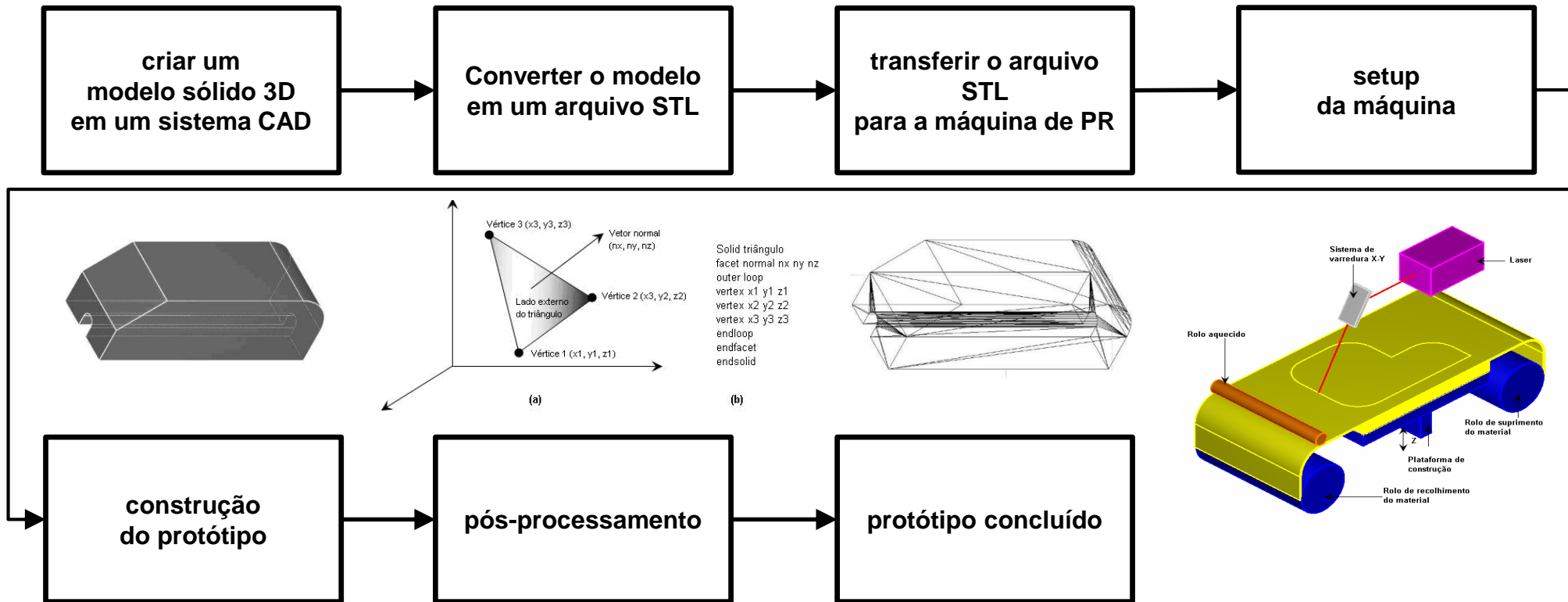


[2]

Protótipos virtuais e físicos

Etapas para fabricação do protótipo físico

▪ Prototipagem rápida e ferramental rápido (PR, FR)

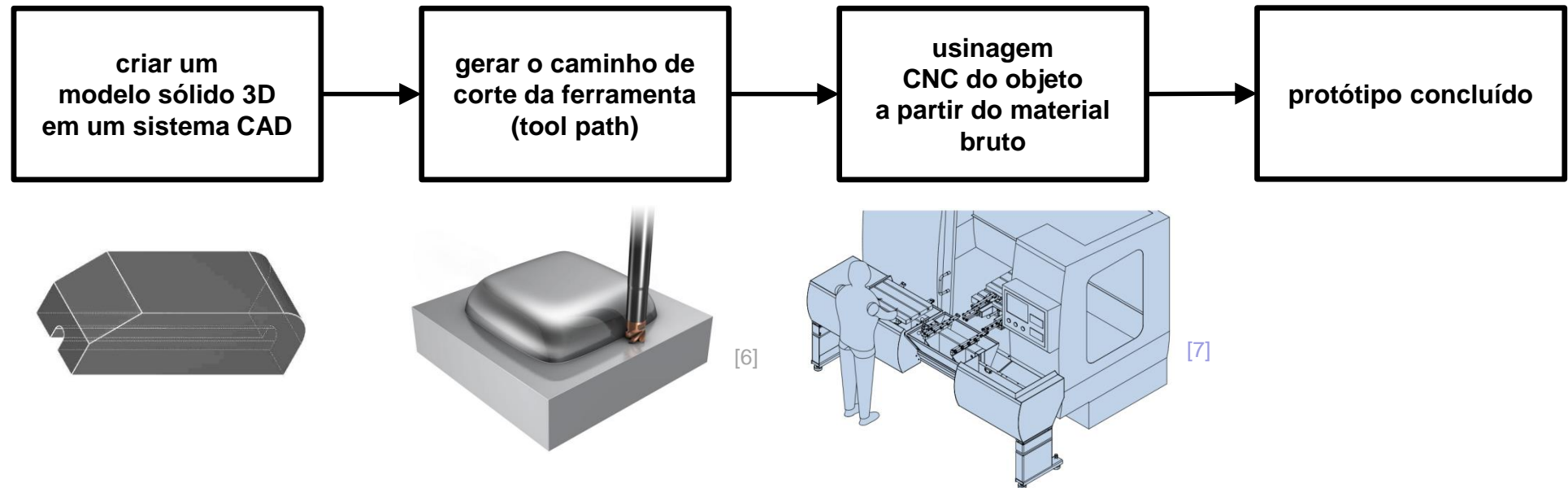


[2]

Protótipos virtuais e físicos

Etapas para fabricação do protótipo físico

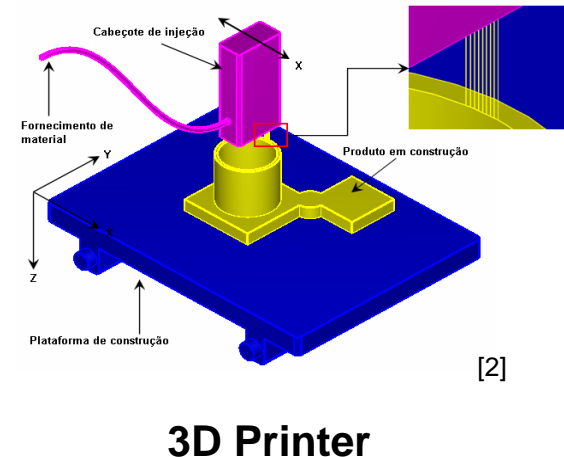
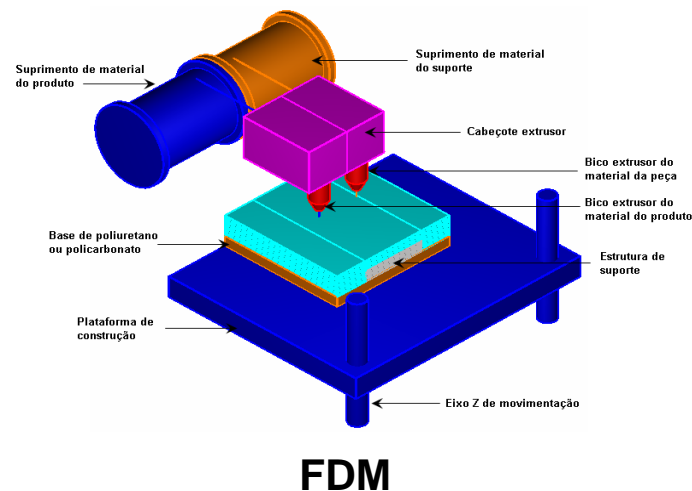
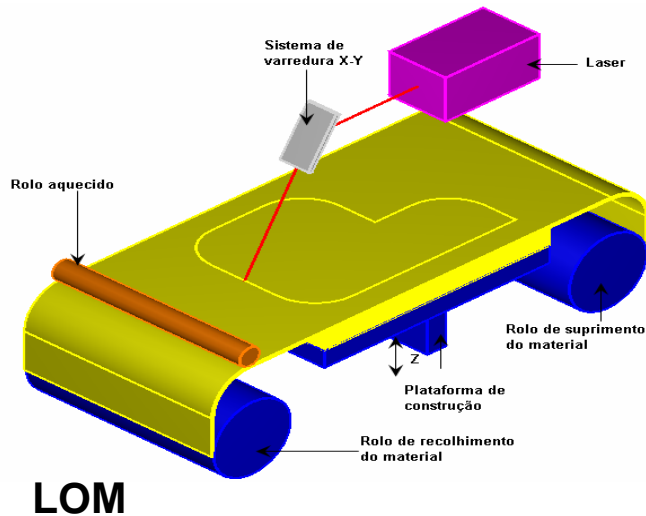
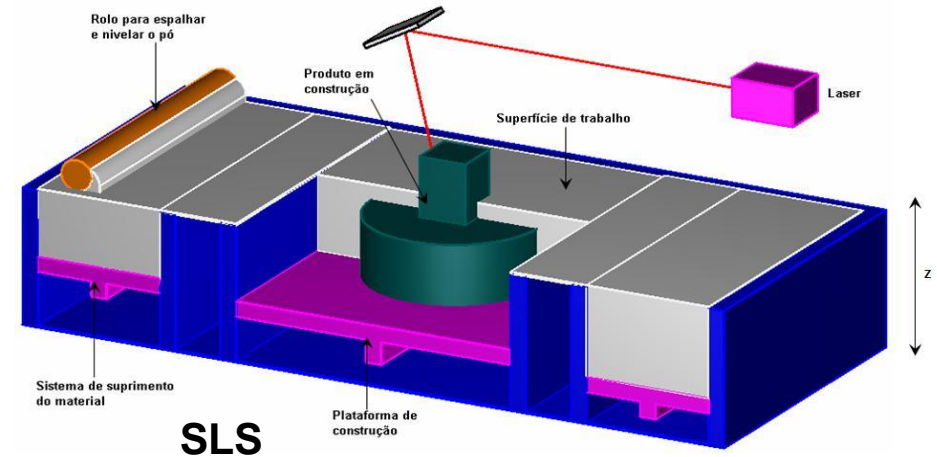
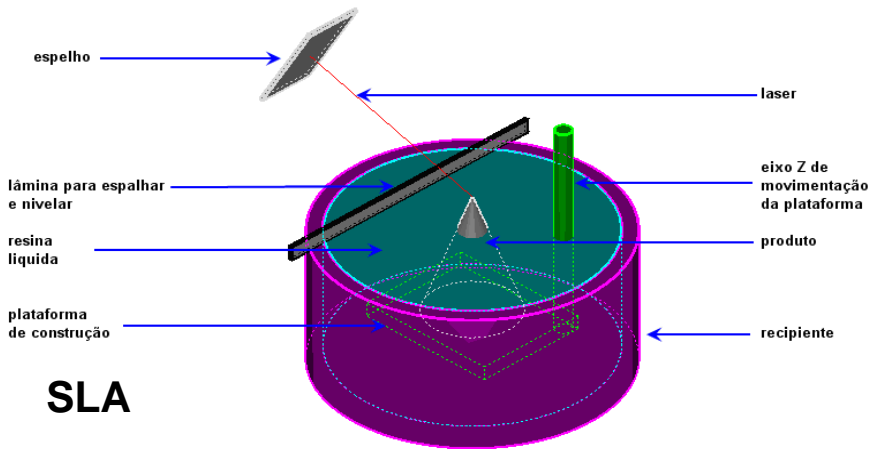
▪ Remoção de material (RM)



[2]

Protótipos virtuais e físicos

Principais técnicas/tecnologias disponíveis no mercado (Prototipagem Rápida)

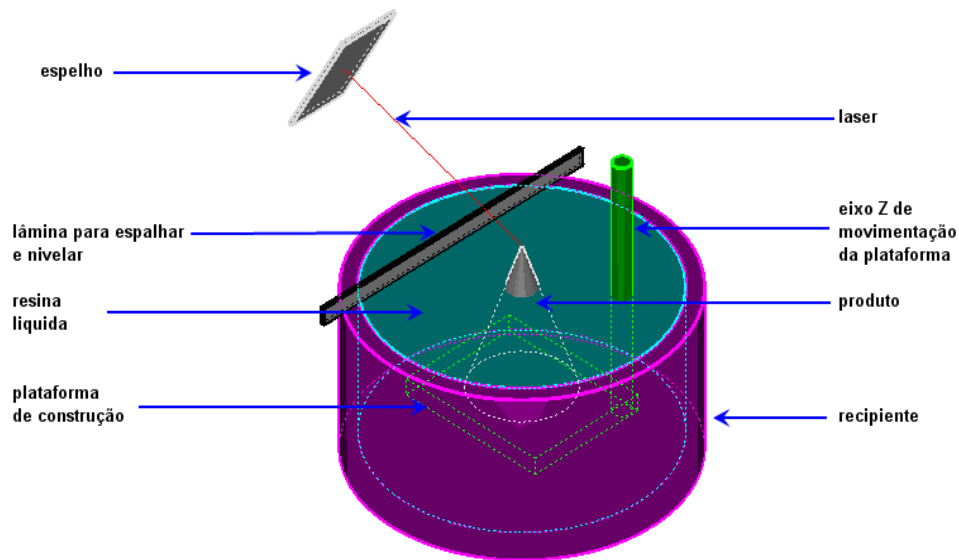


[2]

Protótipos virtuais e físicos

Principais técnicas/tecnologias disponíveis no mercado (Prototipagem Rápida)

- Estereolitografia (SLA)

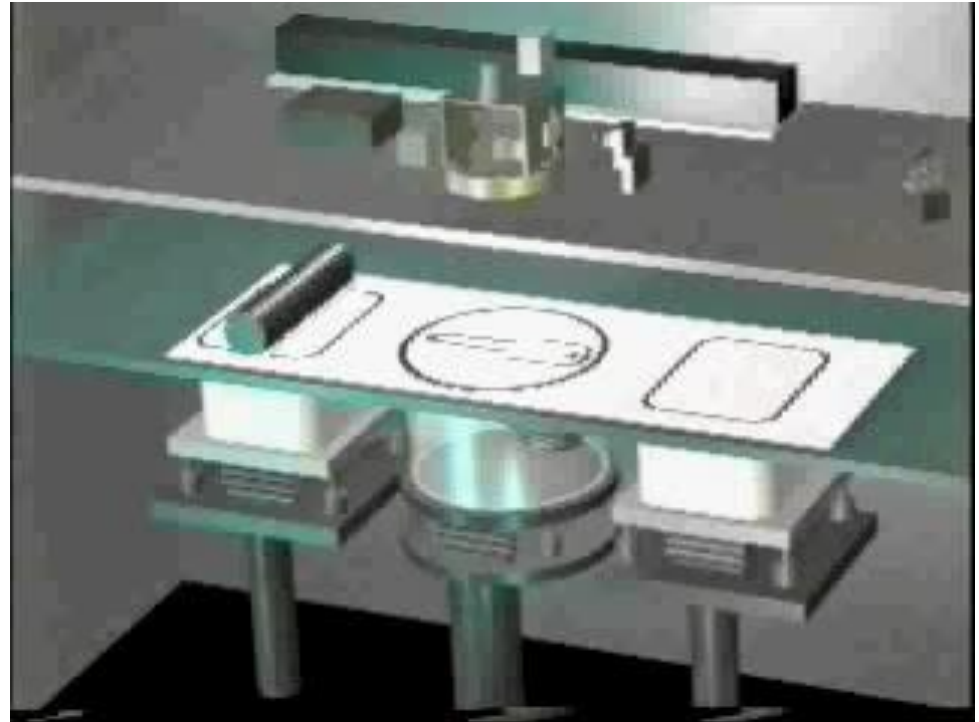
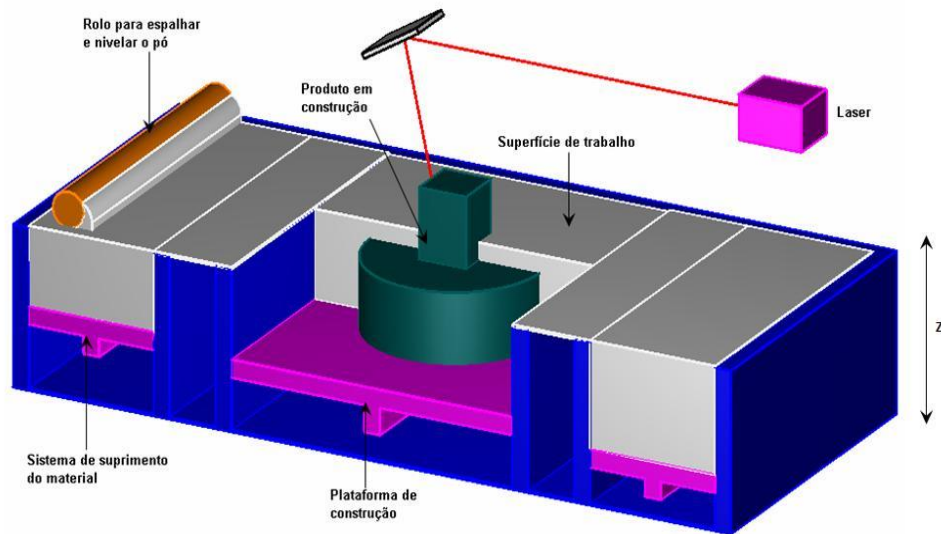


[2]

Protótipos virtuais e físicos

Principais técnicas/tecnologias disponíveis no mercado (Prototipagem Rápida)

- Sinterização seletiva a laser (SLS)

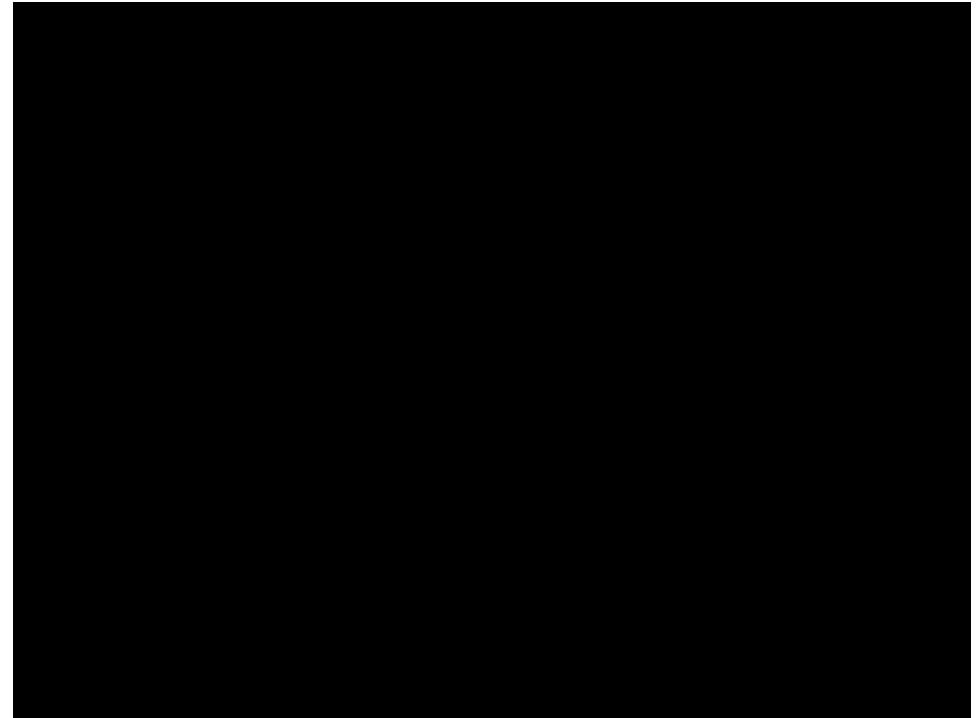
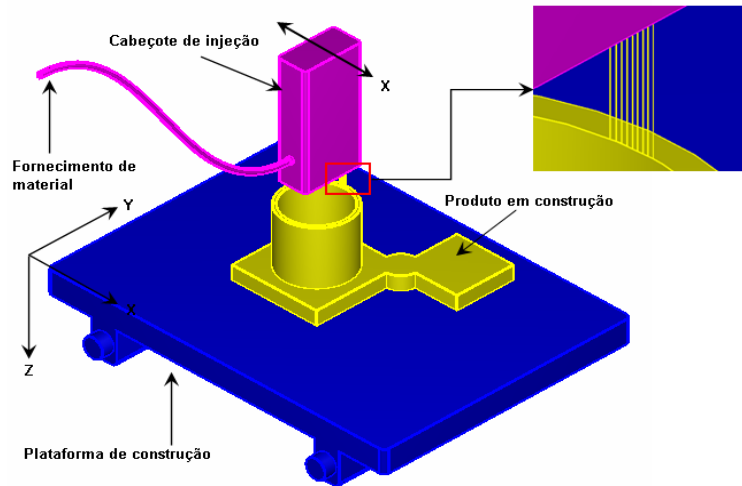


[2]

Protótipos virtuais e físicos

Principais técnicas/tecnologias disponíveis no mercado (Prototipagem Rápida)

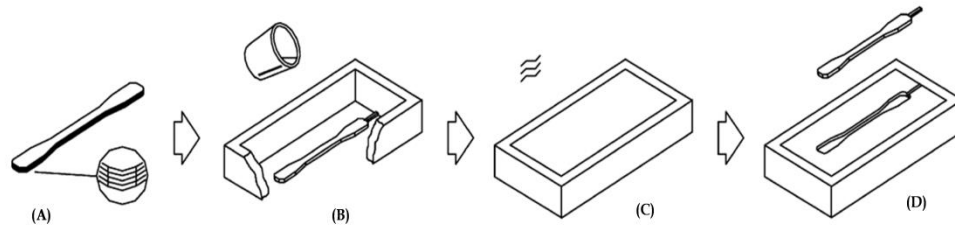
- 3D Printer



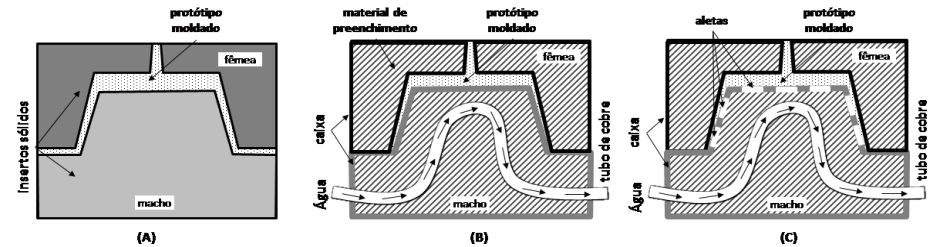
[2]

Protótipos virtuais e físicos

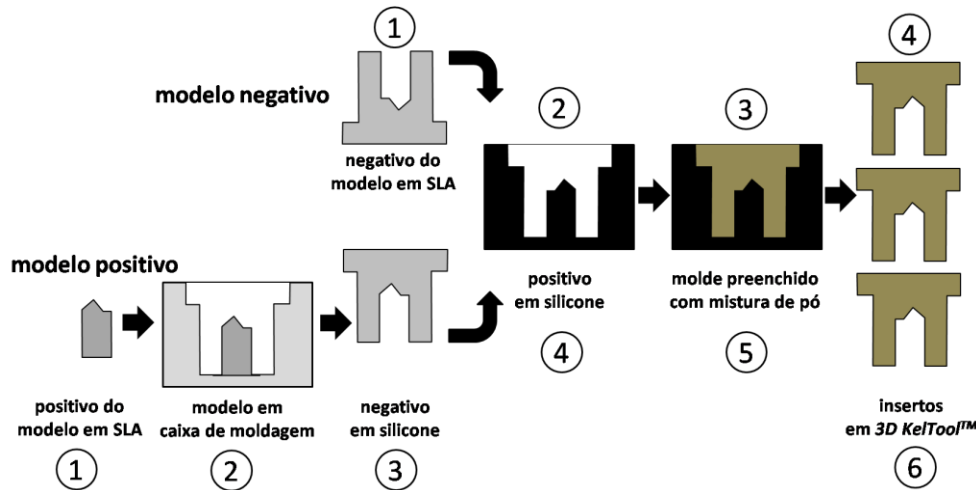
Principais técnicas/tecnologias disponíveis no mercado (Ferramental Rápido)



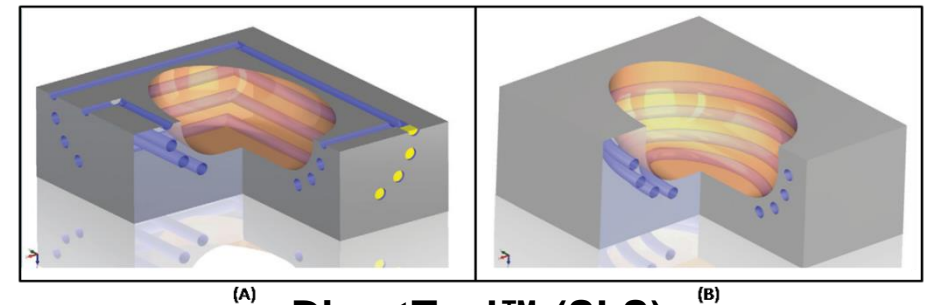
RTV (SLA)



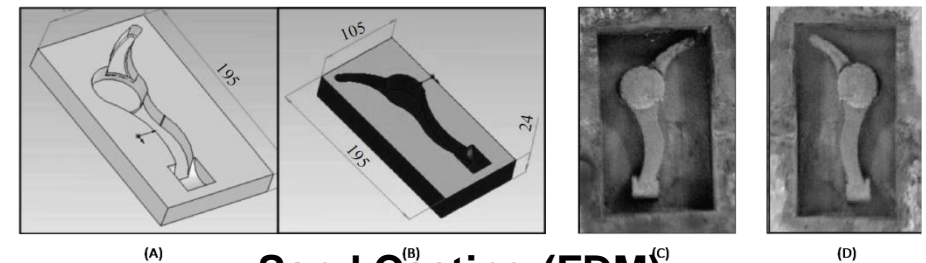
DirectAIM™ (SLA)



3D KelTool™ (SLA)



DirectTool™ (SLS)

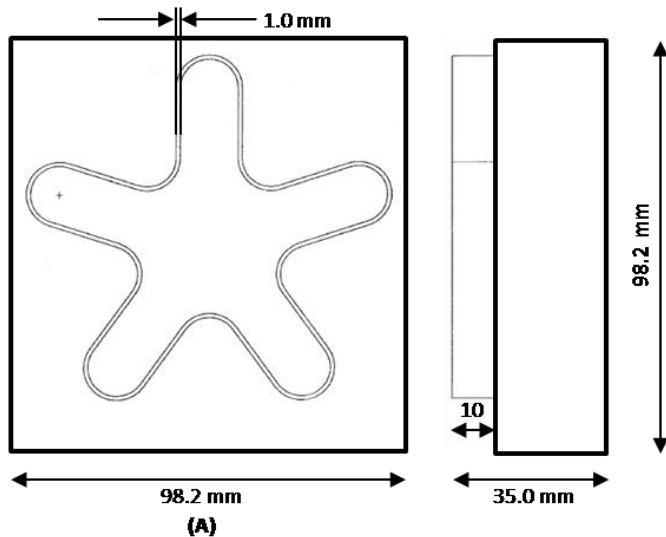


Sand Casting (FDM)

[2]

Protótipos virtuais e físicos

Principais técnicas/tecnologias disponíveis no mercado (Remoção de Material)



(A)

(B)

(C)

(D)

[5]

Vacuum Bagging (molde)

Protótipos virtuais e físicos

Características das técnicas/tecnologias de prototipagem rápida (PR)

- Custo.
- Tamanho do protótipo.
- Quantidade de peças obtidas por molde.
- Materiais de fabricação do protótipo.
- Vantagens e desvantagens da tecnologia.

[2]

Protótipos virtuais e físicos

Características das técnicas/tecnologias de prototipagem rápida (PR)

| técnica/ tecnologia | Estereolitografia (SLA) | Manufatura Laminar de Objetos (LOM) | Sinterização Seletiva a Laser (SLS) | Modelagem por Fusão e Deposição (FDM) | Impressão Tridimensional (3DP) |
|--|--|--|---|---|---|
| custo (4) | alto | baixo | alto | médio-alto | baixo |
| resistência mecânica (4) | média | média | alta | média | baixa |
| tamanho do protótipo (mm) (4) | 508 x 508 x 584 | 813 x 559 x 508 | 381 x 330 x 457 | 600 x 500 x 600 | 508 x 609 x 406 |
| vantagens (1; 2; 3; 4; 5) | acabamento superficial | os materiais não necessitam de pós-cura | grande quantidade de materiais não tóxicos que podem ser utilizados | propriedades mecânicas dos materiais permitem a fabricação de protótipos que podem ser montados, testados e produzidos como produtos finais | técnica/tecnologia de alta velocidade de fabricação |
| | produção de protótipos de geometria complexa | não é necessário a criação e suportes em regiões desconectadas | uma única máquina pode processar vários tipos de materiais (polímeros, cerâmicas e metais) | | não necessita de suportes, o material não processado ao redor do protótipo funciona de suporte natural durante a fabricação |
| | precisão geométrica | alta velocidade da técnica/tecnologia | utilização de protótipos para visualização ou para testes funcionais, podendo se aproximar bastante das propriedades do produto final | não requer infra-estrutura especialmente modificada, refrigeração ou ventilação | não existe desperdício de material. O pó não processado pode ser reutilizado |
| | velocidade de construção | possibilidade de se fabricar protótipos de grandes dimensões | a técnica/tecnologia exige pouco pós-processamento, (tipo de material) não havendo necessidade de retirada dos suportes | não necessita de pós-cura do material | |
| | versatilidade do sistema | possibilidade de se perfurar e laminar os protótipos | com excessão de materiais metálicos com polímeros, o material sinterizado não necessita de pós-cura | material de suporte é solúvel em água | |

[2]

Protótipos virtuais e físicos

Características das técnicas/tecnologias de prototipagem rápida (PR)

| técnica/ tecnologia | Esterolitografia (SLA) | Manufatura Laminar de Objetos (LOM) | Sinterização Seletiva a Laser (SLS) | Modelagem por Fusão e Deposição (FDM) | Impressão Tridimensional (3DP) |
|------------------------------|---|---|--|--|---|
| | custos do material | pouca quantidade de materiais para obtenção de protótipos | a técnica/tecnologia tende a ter um acabamento superficial não muito bom, devido ao tamanho de partículas utilizadas | os protótipos possuem baixa resistência na direção vertical | funcionalidade limitada dos protótipos |
| desvantagens (1; 2; 4; 5) | odor tóxico e nocivo ao operador | pós-processamento demorado e trabalhoso | | a precisão da técnica/tecnologia não é muito alta | necessita de pós-processamento para limpeza e infiltração com resina para melhorar a resistência dos protótipos |
| | proteção contra a luz para evitar polimerização prematura | técnica/tecnologia não recomendada para protótipos de pequena espessura ou elevado nível de detalhamento (difícil retirada do material) | alto custo da máquina | necessidade de pós-processamento para remoção de suportes. Para o caso de remoção manual dos suportes, regiões pequenas e de difícil acesso podem dificultar ou até impedir a remoção completa do suporte. Para suportes solúveis este tipo de problema não existe | |
| | deformação dos protótipos, principalmente produzidos em resina acrílica | os picotado ao final da fabricação) | elevado consumo de energia para sinterizar as partículas do material utilizado | | |
| | necessidade de suportes em regiões não conectadas | deficuldade de utilização do protótipo em aplicações e testes de montagens (material pouco flexível) | | | |
| | necessidade de pós-processamento para remoção dos suportes | | | velocidade de processo lenta e limitada | |
| | requerimento de pós-cura para completar o processo de polimerização | | | | |

Referências consultadas

(1) Pham; Gault (1998) (2) Upcraft; Flecher (2003) (3) Robtec (2007) (4) Volpato et al. (2007) (5) Silva; Kaminski (2007).

Protótipos virtuais e físicos

Características das técnicas/tecnologias de ferramental rápido (FR)

| Técnica/tecnologia de base (PR) | | estereolitografia (SLA) ¹ | | manufatura laminar de objetos (LOM) ^{1, 2} | | sinterização seletiva a laser (SLS) ¹ | | modelagem por fusão e deposição (FDM) ^{2, 4} | 3D Printer (3D) ^{1, 3} |
|---|----------------|---|--|--|--|--|-----------------------------|--|---|
| Técnica/tecnologia de ferramental rápido (FR) | 3D KelTool™ | Direct AIM™ | Direct Investment Casting | Indirect Investment Casting | RapidTool | DirectTool | Sand Casting | ProMetal | |
| Tempo de fabricação | 1 a 6 semanas | 1 semana | algumas horas a 1 dia para fabricação do molde | algumas horas a 1 dia para fabricação do molde | 3 a 4 dias para insertos sem acabamento, 5 a 10 dias se for requerido acabamento; 2 a 5 semanas (prazo típico) | | 1 a 4 semanas | 2 dias ou menos | 1 semana |
| Quantidade de peças moldadas por molde | 50 a milhares | 10 a 50 | pequenas séries de peças em Al; Mg e FoFo | até 100 peças ou 1000 peças (utilizando molde em epóxi com infiltração de metal) | Centenas de peças fundidas de Zn, Al, Mg; centenas de milhares nos termoplásticos mais usuais | | Centenas a 1000 | algumas dezenas ou centenas (conforme o material utilizado e pós-processamento do molde para aumento da resistência) | Centenas de milhares nos termoplásticos mais usuais |
| Materiais usualmente moldados | Termoplásticos | Termoplásticos de baixa temperatura de moldagem Metais e não reforçados com carga | | Cera; metais | Termoplásticos, metais | Termoplásticos | Metal; ABS; plásticos; cera | Termoplásticos | |

[2]

Protótipos virtuais e físicos

Características das técnicas/tecnologias de ferramental rápido (FR)

| Técnica/tecnologia de base (PR) | estereolitografia (SLA) ¹ | | manufatura laminar de objetos (LOM) ^{1,2} | | sinterização seletiva a laser (SLS) ¹ | | modelagem por fusão e deposição (FDM) ^{2,4} | 3D Printer (3D) ^{1,3} |
|---|---|---|---|---|---|--|--|---|
| Técnica/tecnologia de ferramental rápido (FR) | 3D KelTool™ | Direct AIM™ | Direct Investment Casting | Indirect Investment Casting | RapidTool | DirectTool | Sand Casting | ProMetal |
| Vantagens do processo | Elevada precisão; Volume elevado de moldagens | Fabricação direta de moldes | Estabilidade; Precisão; Redução de custos para a produção de componentes independente do tamanho ou geometria | Estabilidade; Precisão; Redução de custos para a produção de componentes independente do tamanho ou geometria | Moldes por vazamento; Pode-se usar temperatura e pressões de injeção típicas | Permite o uso de conformal cooling | Tempo de fabricação | não requer pós-processamento; não necessita de suportes estruturais; grande área para construção de moldes e padrões; 60% aço e 40% bronze facilitam a transferência de calor; permite uso de conformal cooling |
| Desvantagens do processo | Dimensões das peças; Único fornecedor | Muitas limitações quanto aos materiais possíveis de moldar e processos de fabricação do molde | baixo volume de fabricação (pequenas séries de peças); necessidade de pós-processamento para remoção das cinzas provenientes do processo de queima; a estabilidade e a falta de expansão do padrão em LOM durante o ciclo de queima são críticos na prevenção de fendas no invólucro cerâmico; limitação de materiais utilizados na fabricação (metais) | limitação de materiais utilizados na fabricação (metais) | Necessita de etapas posteriores de extração do material aglutinante, sinterização e infiltração de material adicional; pode necessitar de usinagem de acabamento; limitações quanto ao uso de canais conformal cooling, devido à difícil remoção do pó não sinterizado pelo laser nos canais mais complexos | Limitada vida do molde, só para baixas pressões de moldagem; limitações quanto ao uso de canais conformal cooling, devido à difícil remoção do pó não sinterizado pelo laser nos canais mais complexos | aparência do objeto final (devido a rugosidade apresentada pela cavidade do molde em areia); | Requer grande espaço para instalação do sistema quando comparado as outras técnicas/tecnologias; Requer excessivas operações de acabamento |

Referências: (1) Volpato et al. (2007) (2) Wang; Stoll e Conley (2010) (3) Chhabra; Singh (2011) (4) Ingole et al. (2009)

Protótipos virtuais e físicos

Características das técnicas/tecnologias de remoção de material (RM)

| Técnica/tecnologia CNC | usinagem de alta velocidade (HSM) protótipo direto ^{3, 4, 5, 6, 7} | Vacuum Bagging fabricação de moldes ^{1, 2} |
|---|---|---|
| Tempo de fabricação | alguns minutos (para um objeto de dimensões aproximadas de 98,2 x 98,2 x 35,0 mm, e baixa complexidade geométrica) | algumas horas (para o molde de um objeto de dimensões aproximadas de 903 x 792 x 205 mm, e baixa complexidade geométrica) |
| Quantidade de peças moldadas por molde | pode variar entre 1 peça e dezenas, dependendo do tamanho, programação e capacidade da máquina | até 120 |
| Materiais usualmente moldados | alumínio; níquel; alumínio bronze; ligas de titânio; superligas de níquel; aço endurecido | fibra de vidro; fibra de carbono; resina epóxi |
| Vantagens do processo | construção de objetos unitários ou ferramentas do tipo <i>soft tooling</i> , <i>hard tooling</i> e <i>bridge tooling</i> ; utiliza o modelo (geometria) original direto do sistema CAD para programação e fabricação; precisão; menor tempo de processamento do arquivo; eliminação de rotinas de reparo do arquivo | capaz de gerar protótipos de alta qualidade dimensional; redução de peso do objeto contruído (quando comparado ao mesmo objeto fabricado em aço por exemplo); maior resistência mecânica (devido a fibra de vidro ter uma estrutura entrelaçada do material); não há limites parra o tamanho do objeto |
| Desvantagens do processo | dificuldade/impossibilidade de usinagem de objetos/ferramentas de alta complexidade geométrica; a remoção de material é limitada ao alcance da ferramenta; dificuldade/impossibilidade de obtenção de cantos retos internos; dificuldade de fixação de objetos com paredes delgadas | necessidade de mão de obra especializada para realizar a laminação do objeto na cavidade do molde; se o objeto for utilizado para fins de visualização, um pós- processamento se faz necessário (pintura) forte odor do material, mesmo no objeto final |

Referências

(1) Silva (2008) (2) Silva; Kaminski (2011) (3) Schmitz et al. (2001) (4) Cerit; Lazoglu (2011) (5) Wang; Stoll; Conley (2010) (6) Volpato et a. (2007)
(7) Karunakaran et al. (2012)

[2]

PVE5301-4

Projeto Integrado do produto automotivo



Escola Politécnica
da Universidade
de São Paulo



Exemplo

Protótipos virtuais e físicos

Exemplo de aplicação

Protótipo virtual e físico de um dispositivo de acondicionamento e para-lama.

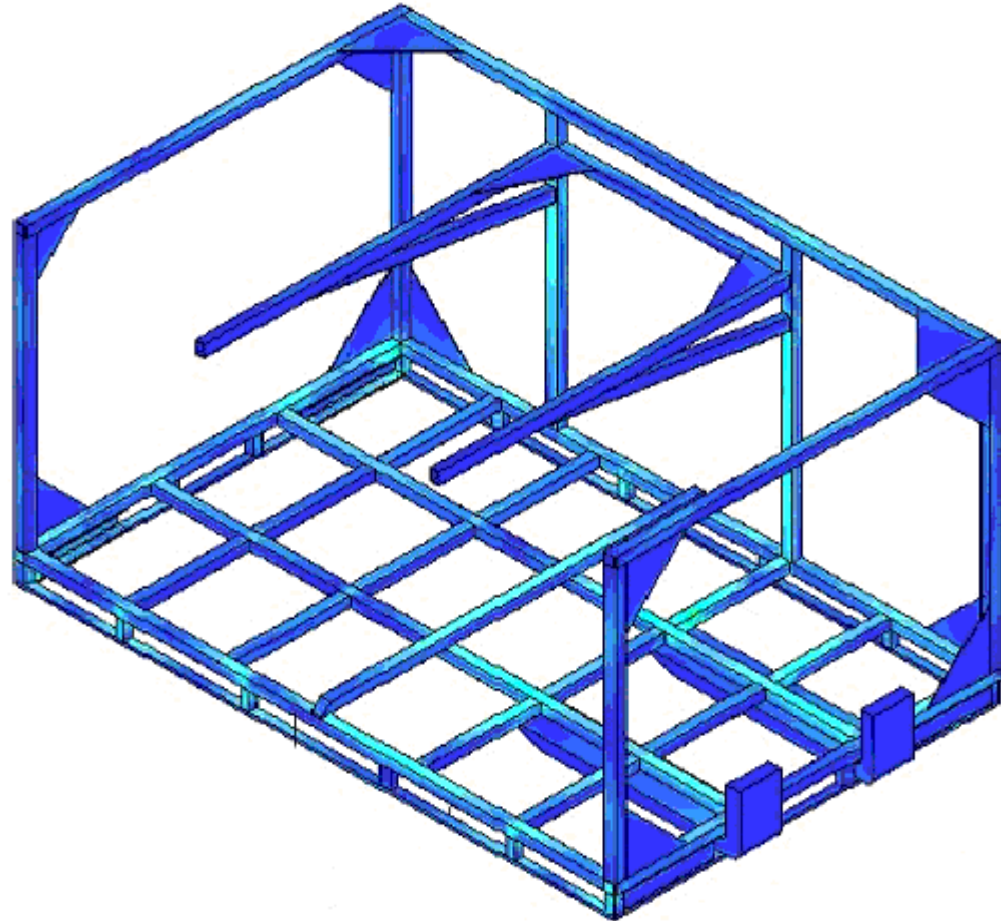
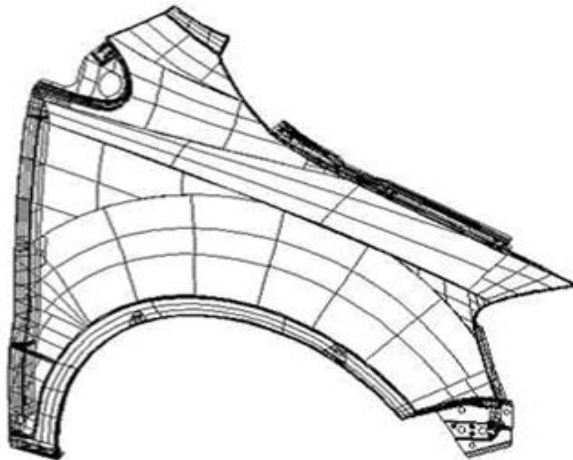
- Representação: virtual e física.
- Aplicação: geométrica e funcional.

[8]

Protótipos virtuais e físicos

Exemplo de aplicação

Protótipos virtuais.

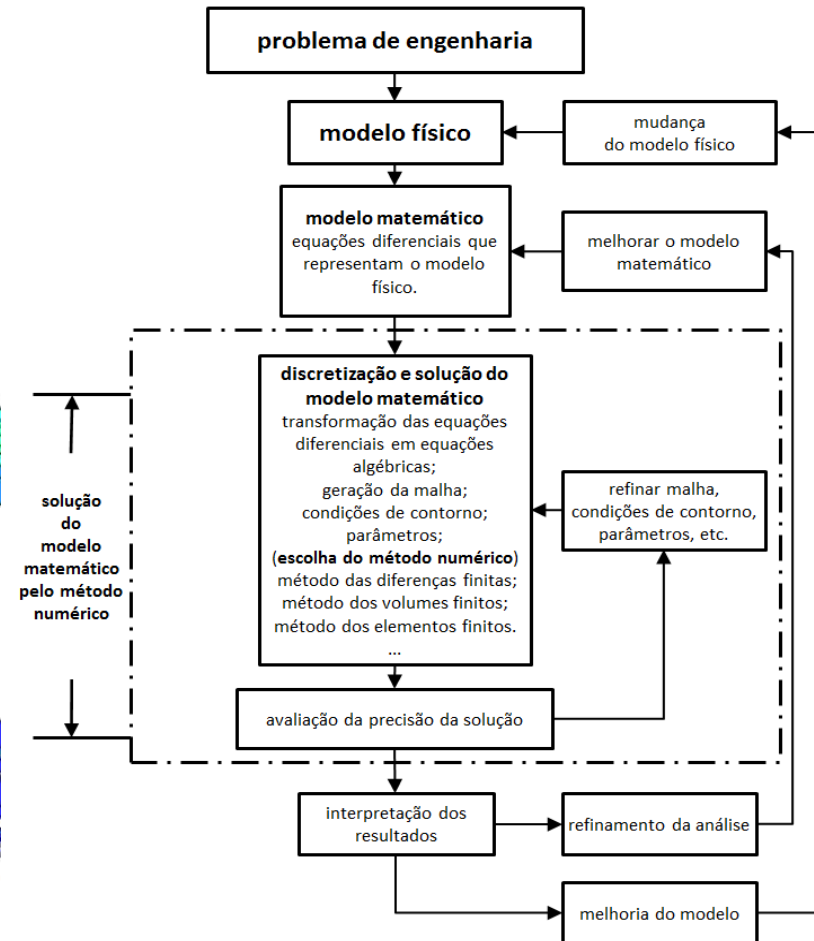
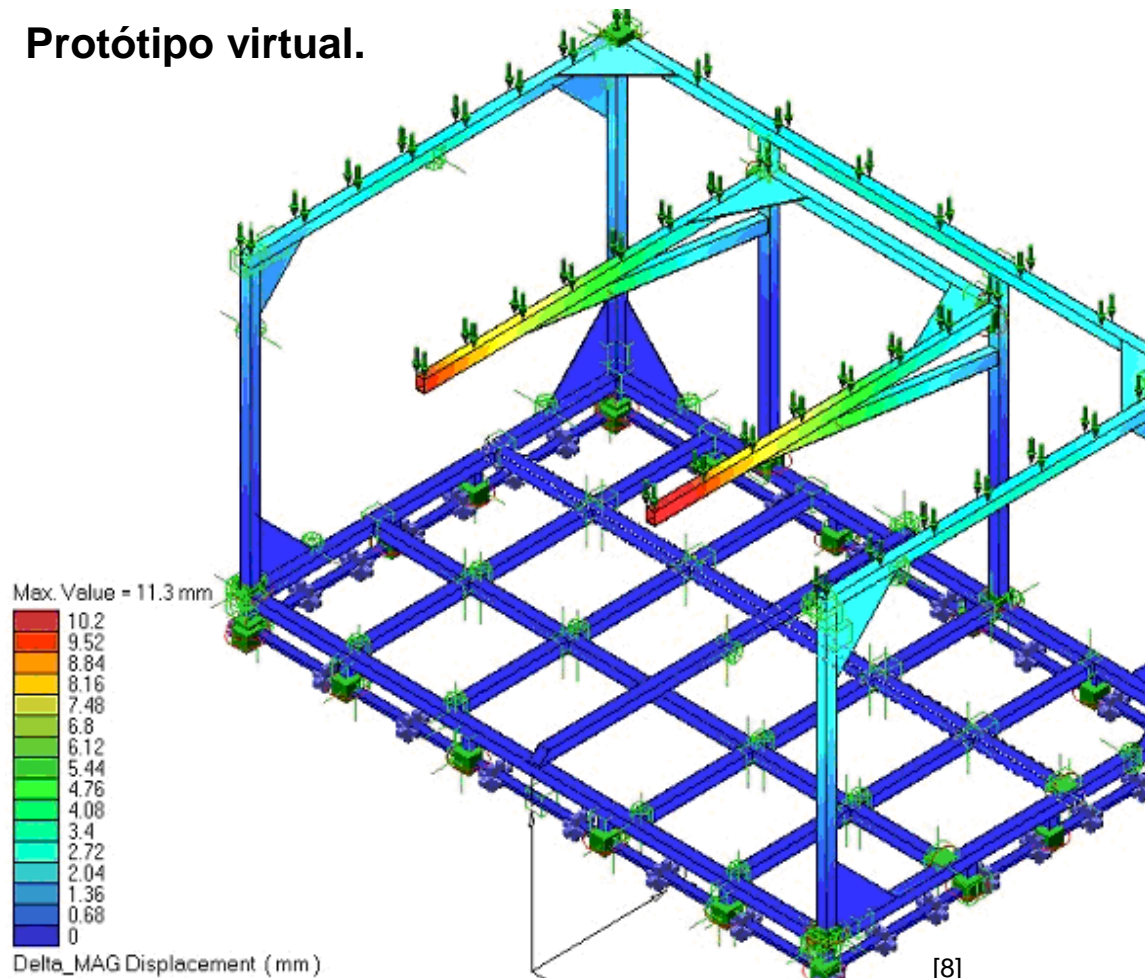


[8]

Protótipos virtuais e físicos

Exemplo de aplicação

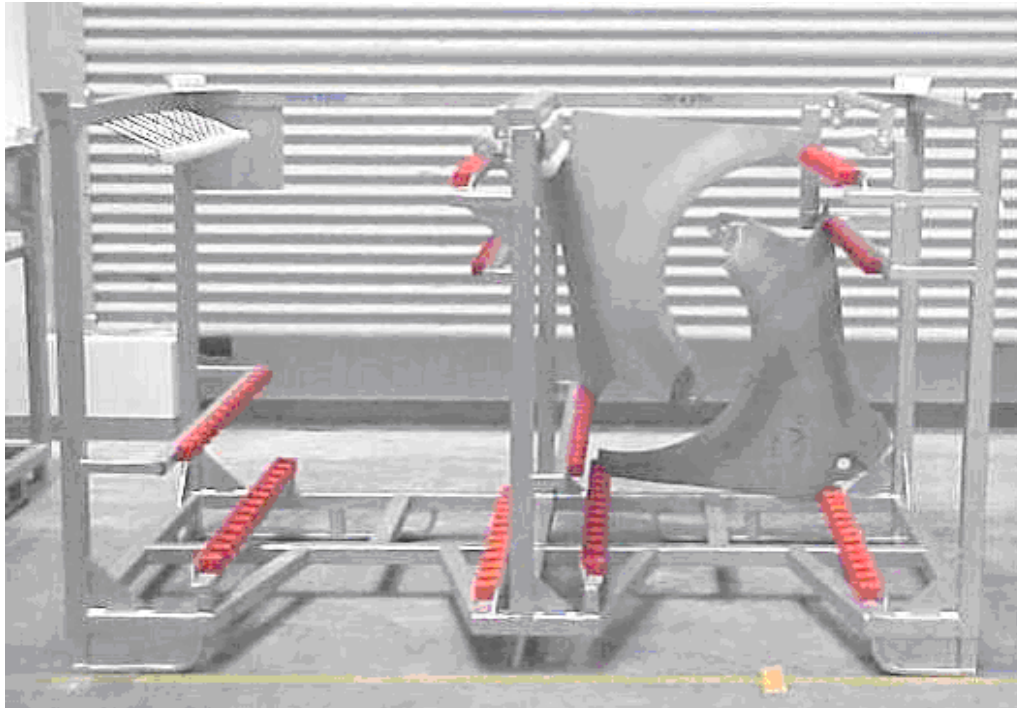
Protótipo virtual.



Protótipos virtuais e físicos

Exemplo de aplicação

Protótipo físico do dispositivo de acondicionamento.



[8]

Protótipos virtuais e físicos

Exemplo de aplicação

Protótipo físico do para-lama.



Molde por remoção de material.



Protótipo em vacuum bagging.



Protótipo concluído.

Protótipos virtuais e físicos

Exemplo de aplicação

Aplicação: geométrica e funcional.



[8]

PVE5301-4

Projeto Integrado do produto automotivo



Escola Politécnica
da Universidade
de São Paulo



Exercício proposto

Protótipos virtuais e físicos

Exercício proposto

- Por que utilizar protótipos virtuais (PV) no PDP-Automotivo?
- Como identificar a necessidade de uso do protótipo virtual?
- Identifique quais são sistemas de criação de PV utilizados na empresa em que você trabalha.
- Identifique quais são os softwares de criação de PV utilizados na empresa em que você trabalha.
- Em quais instantes do PDP-Automotivo você utilizaria protótipos virtuais?

Protótipos virtuais e físicos

Exercício proposto

- Por que utilizar protótipos virtuais (PV) no PDP-Automotivo?
 - *Para reduzir incertezas, trazer maturidade ao projeto, auxiliar na conservação do fluxo de informações; desenvolver o produto, processo e melhorar a produção seriada.*
- Como identificar a necessidade de uso do protótipo virtual?
 - *A partir das características da atividade em desenvolvimento.*
- Identifique quais são sistemas de criação de PV utilizados na empresa em que você trabalha.
 - *Sistemas de auxílio ao projeto (CAD) e sistemas de auxílio a engenharia (CAE).*
- Identifique quais são os softwares de criação de PV utilizados na empresa em que você trabalha.
 - *AutoCAD; CATIA; Pro Engineer; Tecnomatix; Inventor, Abaqus, NX-Ideas.*
- Em quais instantes do PDP-Automotivo você utilizaria protótipos virtuais?
 - *Estratégia do produto; desenvolvimento do produto e do processo; produção e melhoria contínua.*

PVE5301-4

Projeto Integrado do produto automotivo



Escola Politécnica
da Universidade
de São Paulo



Diretrizes

Protótipos virtuais e físicos

Diretrizes para seleção de protótipos virtuais

- 1. Quais são os instantes no PDP em que há a necessidade de se utilizar protótipos?
- 2. Como definir quais são os protótipos (PV ou PF) que podem ser utilizados?
- 3. Como selecionar qual ou quais são os sistemas adequados para a criação, ou para a fabricação destes protótipos?
- 4. Como definir quais são as técnicas/tecnologias, que podem ser utilizadas para a criação, ou para a fabricação destes protótipos?

[2]

Protótipos virtuais e físicos

Diretrizes para seleção de protótipos virtuais

Tabela 1.1

| protótipo | aplicação |
|------------|--|
| conceitual | Avaliação do conceito do produto e/ou da fabricação. |
| geométrico | Avaliação da geometria do produto e/ou da fabricação. |
| funcional | Avaliação de funções do produto e/ou da fabricação. |
| técnico | Teste piloto do produto/componente e/ou da fabricação/dispositivo. |
| final | Pequenos lotes*. |

* Apenas para protótipos físicos.

Protótipos virtuais e físicos

Diretrizes para seleção de protótipos virtuais

Tabela 6.1

| sistema | projeto auxiliado por computador (CAD) | | | | | | engenharia auxiliada por computador (CAE) | | | sistemas compostos (SCO) | |
|----------------------|--|-----|-----|-----|-----|-----|---|-----|-----|--------------------------|----|
| técnica/tecnologia | PAR | NPA | MFA | MSU | MSO | MHB | MDF | MVF | MEF | FD | RV |
| protótipo conceito | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ○ | ○ | ○ | ● | ● |
| protótipo geométrico | ● | ● | ◐ | ● | ● | ● | ○ | ○ | ○ | ● | ● |
| protótipo funcional | ○ | ○ | ○ | ● | ● | ● | ◐ | ● | ● | ● | ● |
| protótipo técnico | ● | ● | ○ | ● | ● | ● | ◐ | ◐ | ◐ | ● | ● |
| protótipo final | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |

Legenda:
PAR: paramétrico **NPA:** não paramétrico **MFA:** modelagem por fio de arame **MSU:** modelagem por superfície **MSO:** modelagem por sólidos **MHB:** modelagem híbrida
MDF: método das diferenças finitas **MVF:** método dos volumes finitos **MEF:** método dos elementos finitos
FD: fábrica digital **RV:** realidade virtual

Simbologia:
○ não aplicável ◐ parcialmente aplicável ● aplicável

[2]

Protótipos virtuais e físicos

Diretrizes para seleção de protótipos físicos

Tabela 6.2

| sistema | prototipagem rápida (PR) | | | | | ferramental rápido (FR) | | | | | | | | remoção de material (RM) | |
|----------------------|--------------------------|-----|-----|-----|-----|-------------------------|------------|-----------|-------------|-----------|------------|--------------|----------|--------------------------|----|
| técnica/tecnologia | SLA | LOM | SLS | FDM | 3DP | 3D kelTool | Direct AIM | Direct IC | Indirect IC | RapidTool | DirectTool | Sand Casting | ProMetal | HSM | VB |
| protótipo conceito | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ○ | ○ | ○ | ○ | ● | ○ | ● | ● |
| protótipo geométrico | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ◐ | ◐ | ◐ | ◐ | ● | ◐ | ● | ● |
| protótipo funcional | ◐ | ◐ | ● | ◐ | ◐ | ● | ◐ | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| protótipo técnico | ◐ | ◐ | ◐ | ● | ◐ | ◐ | ◐ | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| protótipo final | ◐ | ○ | ● | ● | ○ | ◐ | ○ | ● | ● | ● | ◐ | ● | ● | ● | ● |

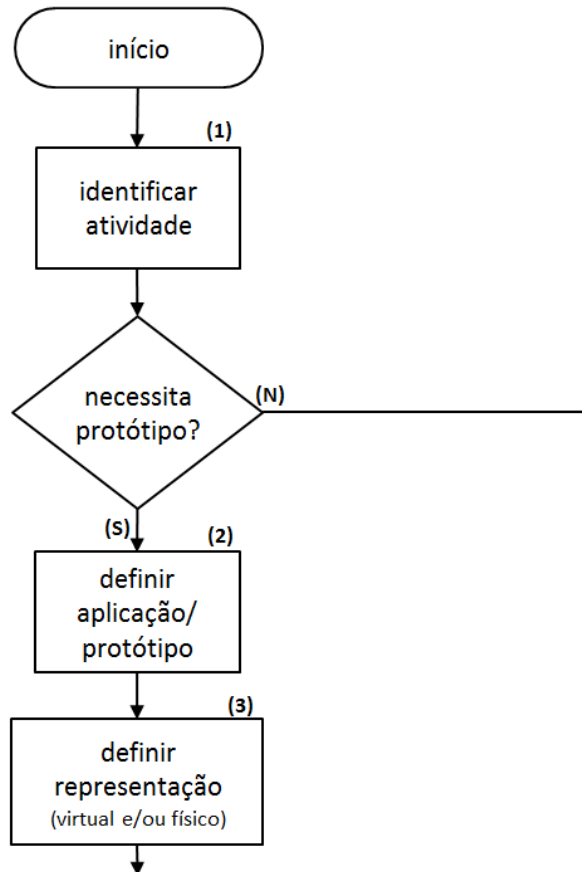
Legenda:
SLA: estereolitografia **LOM:** manufatura laminar de objetos **SLS:** sinterização seletiva a laser **FDM:** modelagem por fusão e deposição **3DP:** impressão tridimensional
IC: investment casting **HSM:** protótipo direto por usinagem de alta velocidade **VB:** molde por *Vacuum Bagging*

Simbologia:
○ não aplicável ◐ parcialmente aplicável ● aplicável

[2]

Protótipos virtuais e físicos

Procedimento



1. Identificar atividade no processo de desenvolvimento do produto automotivo.

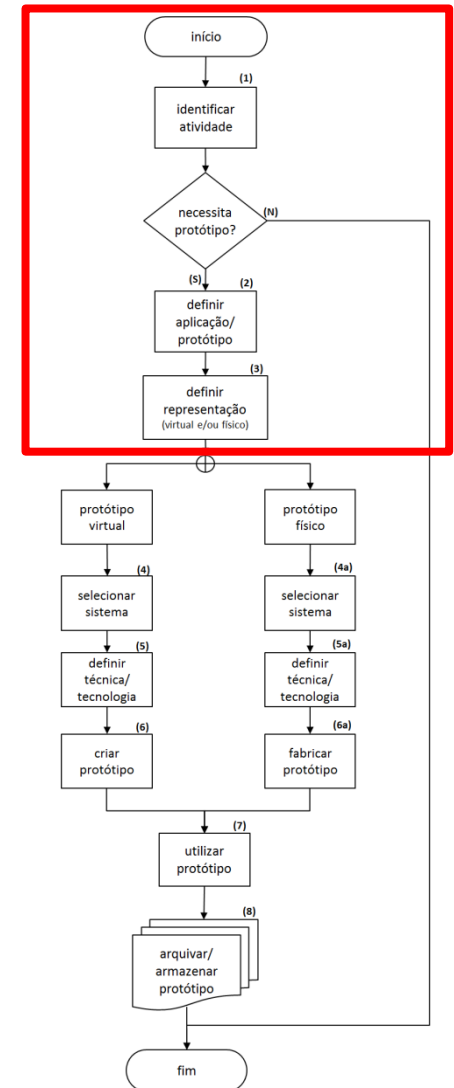
2. Definir a aplicação e o tipo de protótipo possível de ser utilizado, de acordo com as características da atividade.

Consultar a tabela 1.1.

3. Definir entre as representações virtual, física, ou virtual e física, qual é o protótipo que melhor atende as necessidades de aplicação.

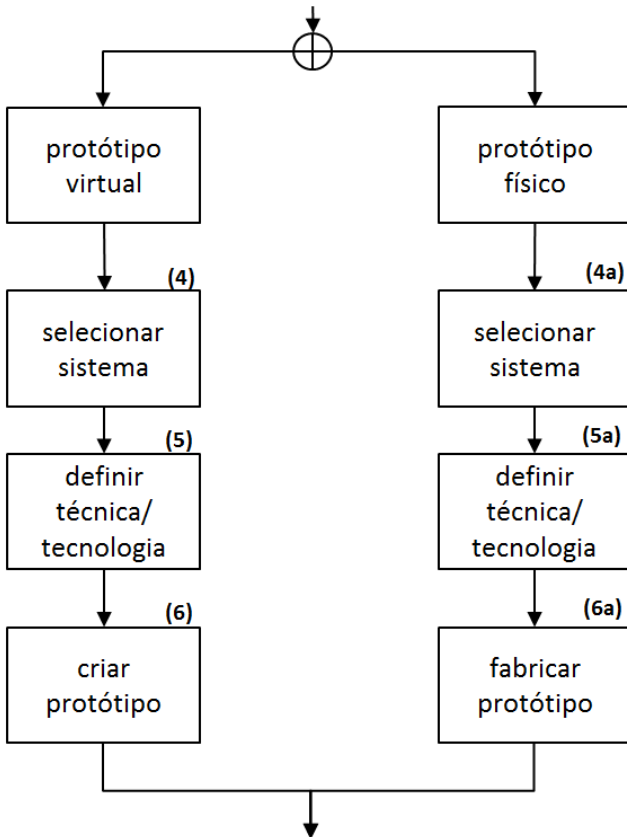
4. Selecionar entre os sistemas CAD, CAE e SCO o sistema adequado para criação do protótipo virtual.

Consultar a tabela 6.1.



Protótipos virtuais e físicos

Procedimento



4a. Selecionar entre os sistemas de PR, FR e de RM o sistema adequado para fabricação do protótipo físico. Consultar a tabela 6.2.

Consultar a tabela 6.2.

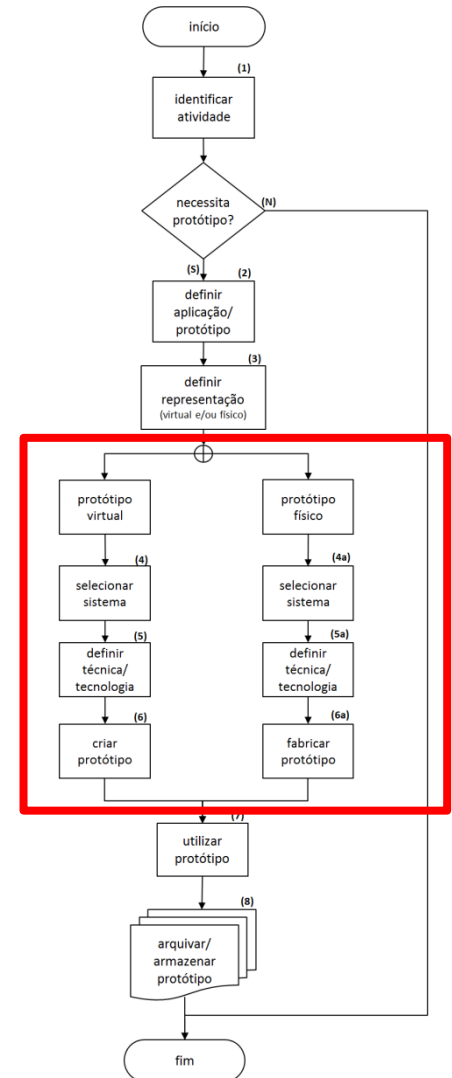
5. Definir a técnica/tecnologia adequada para criação do protótipo virtual, a partir do sistema definido. Consultar a tabela 6.1.

Consultar a tabela 6.1.

5a. Definir a técnica/tecnologia adequada para fabricação do protótipo físico, a partir do sistema definido. Consultar a tabela 6.2.

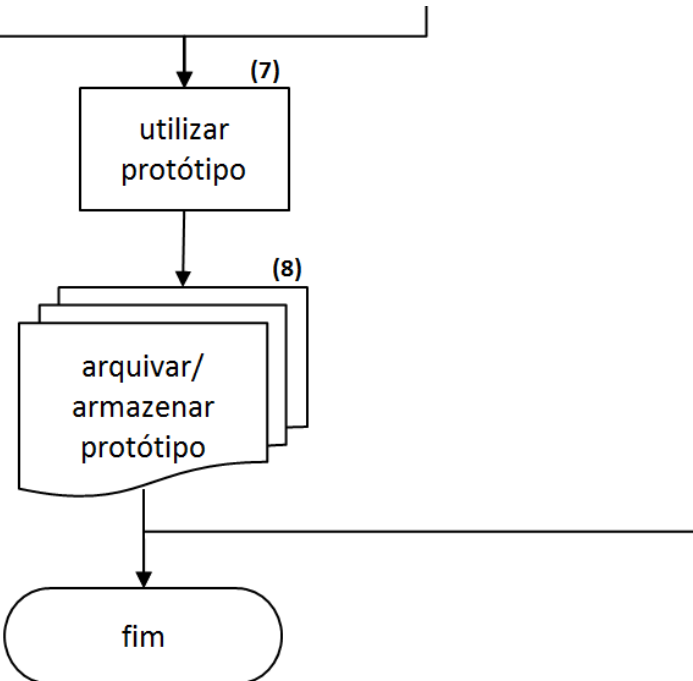
Consultar a tabela 6.2.

6. Criar o protótipo virtual a partir da técnica/tecnologia definida.



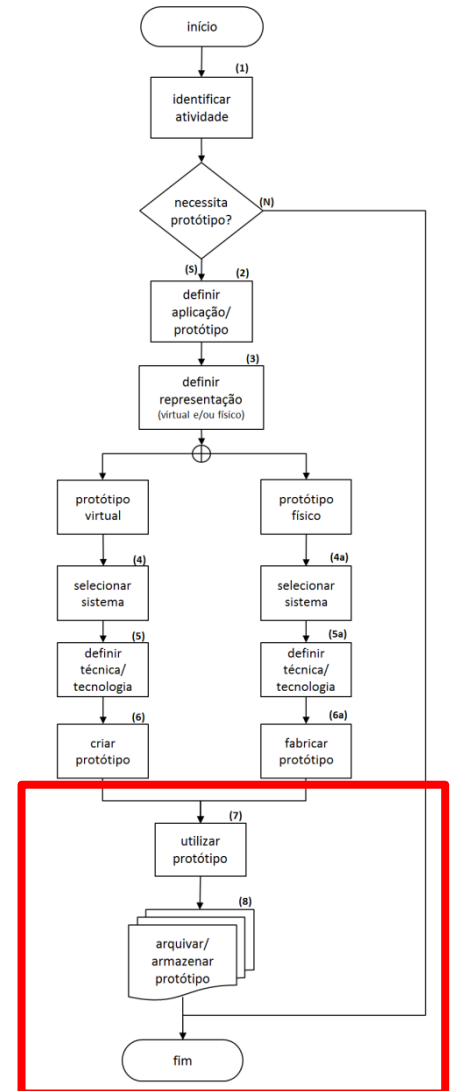
Protótipos virtuais e físicos

Procedimento



7. Utilizar o protótipo virtual e/ou físico conforme a necessidade de aplicação definida.

8. Arquivar protótipo virtual e/ou armazenar protótipo físico para futura utilização ou descarte.



PVE5301-4

Projeto Integrado do produto automotivo



Escola Politécnica
da Universidade
de São Paulo



Atividade

Atividade

Com base na diretriz para seleção de protótipos virtuais e físicos determinar para cada protótipo:

- Tipo de representação.
- Aplicação.
- Sistema.
- Técnica/tecnologia.
- Justificar suas escolhas.

lanternas



motor a combustão



painel de instrumentos



ferramental

[9]

PVE5301-4

Projeto Integrado do produto automotivo



Escola Politécnica
da Universidade
de São Paulo



Referências

Referências

FMEIB. Filial de montadora europeia instalada no Brasil. Estudo de redução de tempo de ciclo em estação automática, 2010.

GHEORGHIU, G. What's New in Siemens PLM Tecnomatix 10.1. Disponível em: <http://www.technologyevaluation.com/research/article/Whats-New-in-Siemens-PLM-Tecnomatix-101.html>. Acesso em: 09 out. 2014.

KAGERMANN, H. et al. Securing the future of German manufacturing industry. Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0. Final report of the Industrie 4.0 Working Group, 2014.

KÜHN, W. Digitale fabrik. Fabriksimulation für produktionsplaner, Carl Hanser Verlag München Wien, 2006.

SILVA, G.C.; KAMINSKI, P.C. From Embedded Systems (ES) to Cyber-Physical Systems (CPS): an analysis of transitory stage of automotive manufacturing in the Industry 4.0 scenario. SAE Technical paper series, 2016-36-0230, 2016.

SILVA, G.C., KAMINSKI, P.C. Application of digital factory concepts to optimise and integrate inventories in automotive pre-assembly areas, International Journal of Computer Integrated Manufacturing, DOI:10.1080/0951192X.2014.881552, 2014.

WEBER, J. Automotive development processes: processes for successful customer oriented vehicle development. Springer-Verlag, Berlin, 2009 (figura da capa).

Preocupado com a qualidade e a integridade do conteúdo deste material, o autor pede gentilmente que informem caso algum conteúdo de autoria de terceiros seja aqui identificado sem a devida citação da fonte.