

Laboratório de Manufatura

Ensino prático e laboratorial

Licenciatura em Engenharia Aeroespacial

Liliana Pires

Ricardo Torcato

Manufatura Aditiva – classificação de processos, tecnologias – características, materiais e aplicações

Agradecimento:
Prof Martinho Oliveira - Sebenta de Materiais e Tecnologias



Prototipagem automatizada

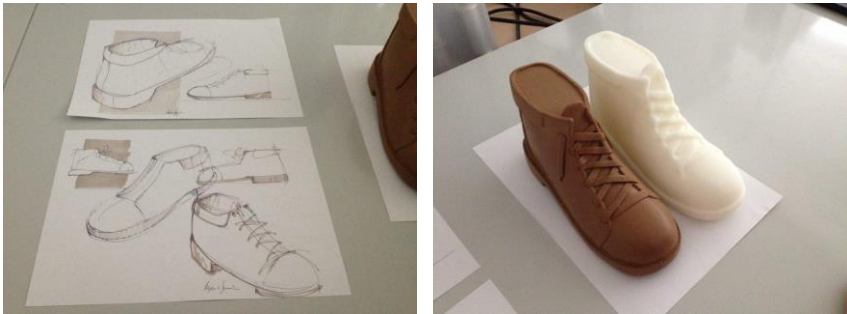
Prototipagem Virtual

Foto-realismo



Prototipagem automatizada

Engenharia inversa

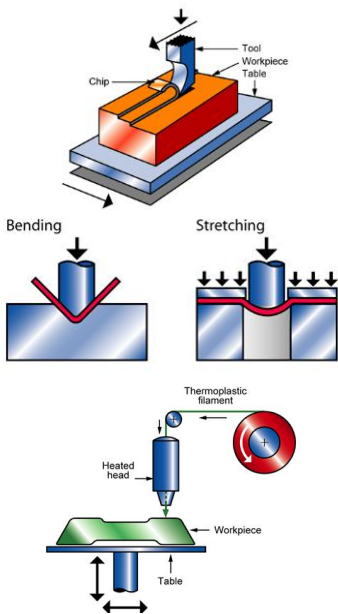


LM

Prototipagem automatizada

Prototipagem Real

- Processos de fabrico subtrativo
- Processos de conformação
- Processos de manufatura aditiva



LM

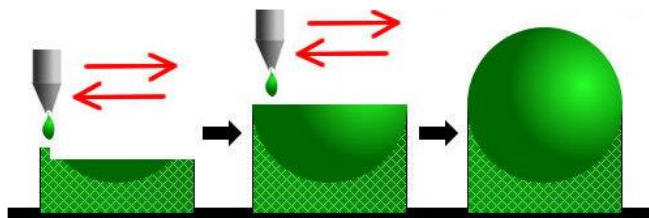
Prototipagem automatizada - aditivo

Técnica de construção aditiva

Prototipagem rápida

- Maior possibilidade de geometria
- Zonas de suporte

Vários Processos



LM

EA | Liliana Pires | 5

Prototipagem automatizada - aditivo

Manufatura aditiva

Sinónimos: Solid Freeform Manufacturing/Prototipagem rápida/ Impressão 3D

Caraterísticas:

- “Baixo custo de produção”
- Utilizável em ambiente de escritório
- Operação simples (idêntico a outros periféricos de computadores)
- “Rapidez de fabrico”
- Conceção a partir de modelos CAD 3D
- Fabrico por adição de material
- Permite praticamente qualquer geometria

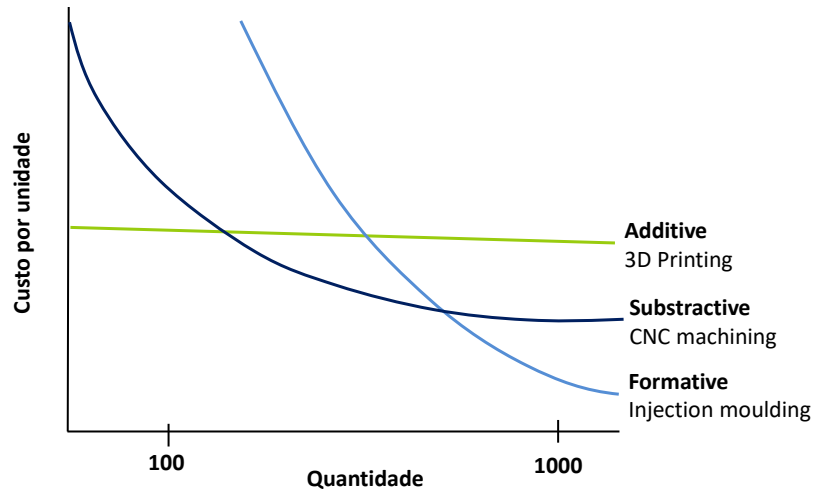
Vários processos

- Materiais diferentes (caraterísticas físicas, mecânicas e estéticas)
- Volumetria e Geometria
- Custos associados
- Disponibilidade do processo
- Prazos para realização do protótipo

LM

EA | Liliana Pires | 6

Manufatura Aditiva



LM

EA | Lilliana Pires | 7

Manufatura Aditiva



Preparação do trabalho (Pré-processamento)

Modelação

- Modelo CAD 3D do objeto
- Modelação adequada ao processo de fabrico

Preparação da máquina

- Preparação do Hardware
- Programação das funções

Concepção

Fabrico Automatizado

Acabamento (Pós-processamento)

- Limpeza e/ou cura
- Cortes ou Colagens
- Lixagem e Pintura

LM

EA | Lilliana Pires | 8

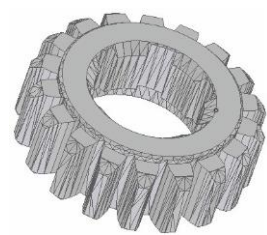
Manufatura Aditiva

Formato CAD 3D
Diversos softwares



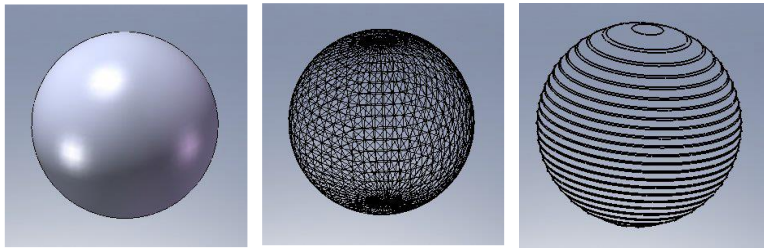
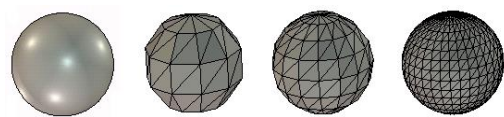
- Diversos formatos

- Formatos comuns**
- IGS - Initial Graphics Exchange Specication
 - Parasolid
 - STL (modelo de triângulos)



Manufatura Aditiva

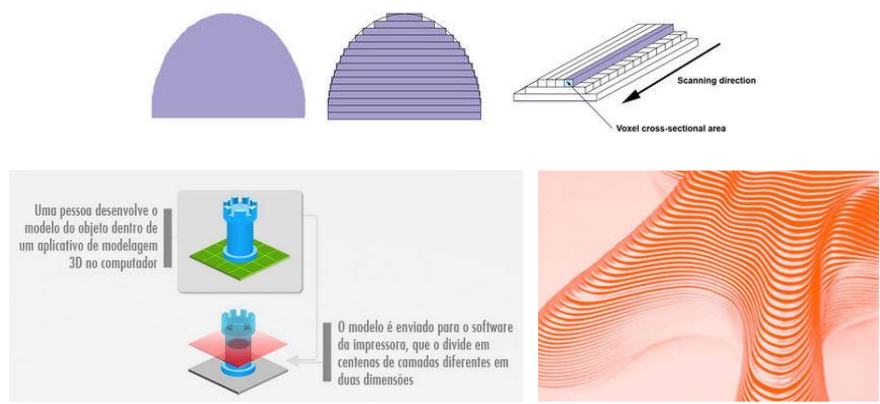
- Modelo de Camadas**
- CAD 3D -> *.STL
 - *.STL -> *.SLI ("slice")
 - *.SLI -> Protótipo



Manufatura Aditiva

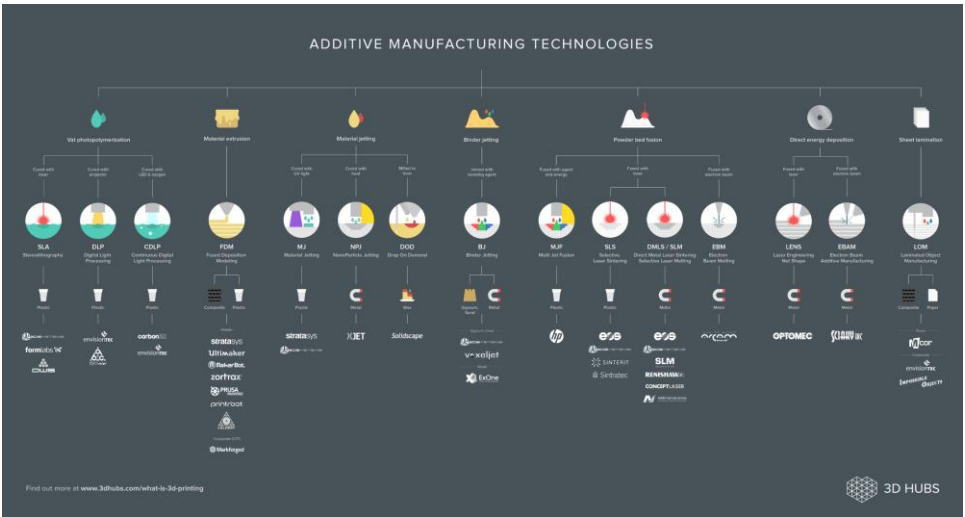
Efeito de escada

- Espessura de cada camada
- Resolução vertical da máquina



LM

Manufatura Aditiva



LM

Processos e Tecnologias Aditivas: vídeo

<https://www.youtube.com/watch?v=a6kcVwVeBvA>



LM

EA | Liliana Pires |13

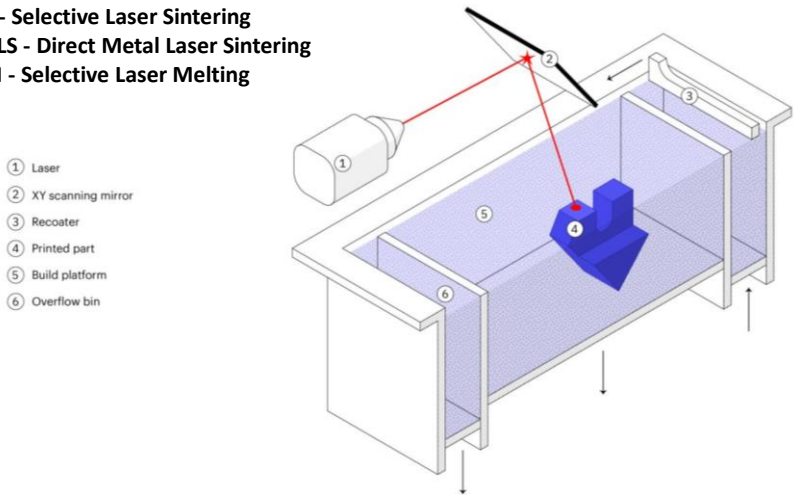
Manufatura Aditiva ESAN - Qual a tecnologia?

https://www.youtube.com/watch?v=9E5MfBAV_tA

<https://www.youtube.com/watch?v=IP4WLF1uOVg>

https://www.youtube.com/watch?v=Lyc2yOck7As&feature=emb_logo

- SLS - Selective Laser Sintering
- DMLS - Direct Metal Laser Sintering
- SLM - Selective Laser Melting



LM

EA | Liliana Pires |14

Powder Bed Fusion

SLS

- +Ideal para protótipos funcionais
- +Geometrias complexas - sem necessidade de suporte
- +Capacidades de produção em pequenos lotes
- Custo mais elevado do que FDM ou SLA
- Processamento mais lento devido à produção em lotes
- Superfície granulada e porosidade interna



DMLS e SLM

- +Peças metálicas altamente complexas, otimizadas topologicamente
- +Peças com excelentes propriedades de material
- +Ideal para aplicações de engenharia de alto nível
- Custos de fabricação muito elevados
- Volume de construção limitado

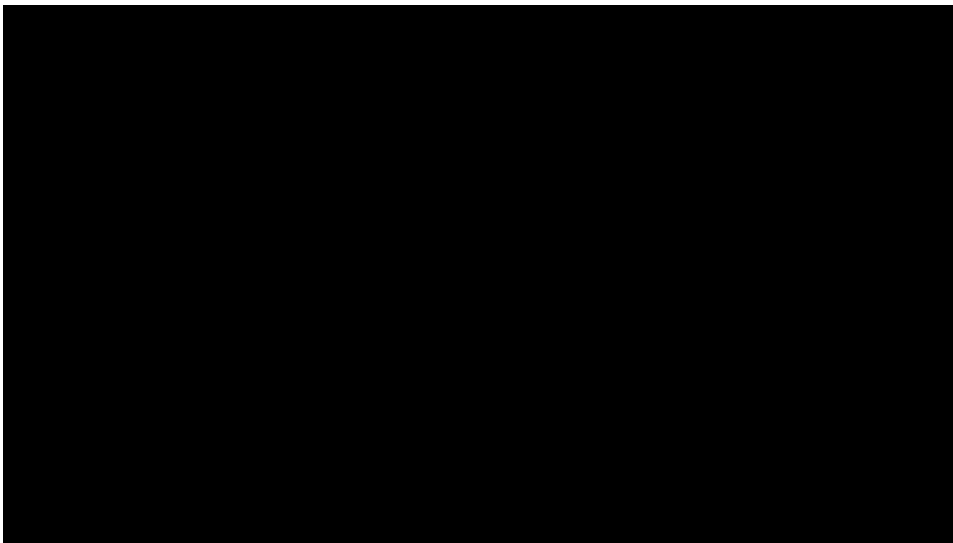


LM

EA | Liliana Pires | 15

SLS - moda

<https://www.youtube.com/watch?v=6EK9MBJiFXU>



LM

EA | Liliana Pires | 16

SLS - pneus

<https://www.youtube.com/watch?v=CoVdCbbMq0A>



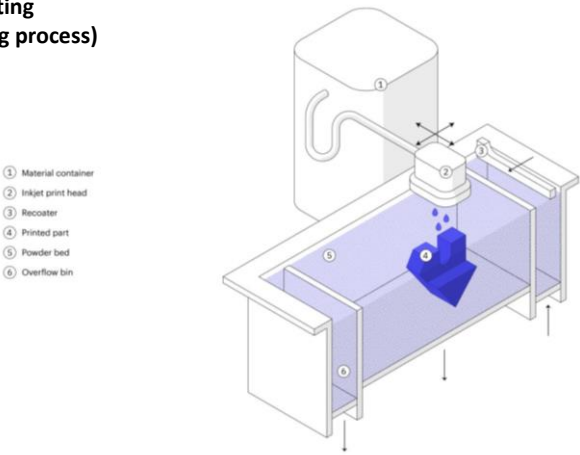
LM

EA | Liliana Pires | 17

Manufatura Aditiva ESAN - Qual a tecnologia?

https://www.youtube.com/watch?v=VBK_4ruKC8s&feature=emb_logo

3DP - 3D Printing
(Binder Jetting process)



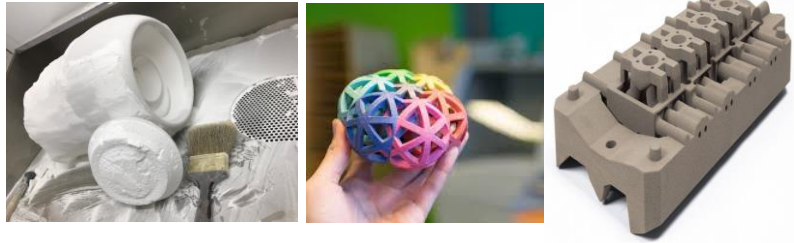
LM

EA | Liliana Pires | 18

Binder Jetting

3DP

- + muito utilizado para o processamento de peças cerâmicas de gesso e areia
- + baixo custo de produção de peças metálicas
- + Prototipagem a diferentes cores na mesma peça
- + Capacidades de impressão muito grandes em areia
- Propriedades de material inferiores ao DMLS/SLM
- Restrição de design devido ao pós-processamento (peças frágeis)
- Detalhes muito finos podem não ser imprimíveis"



LM

EA | Liliana Pires | 19

Manufatura Aditiva ESAN - Qual a tecnologia?

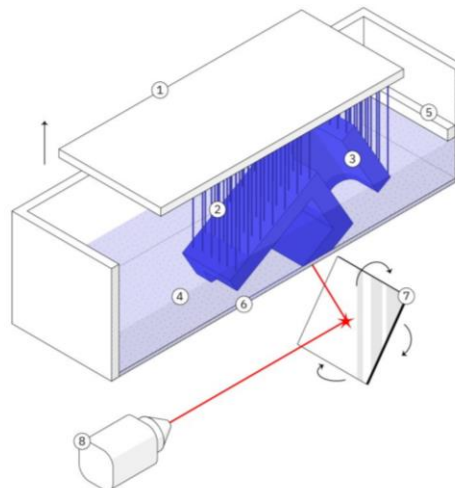
https://www.youtube.com/watch?v=CISyU3D3WE&feature=emb_logo

SLA - Stereolithography

DLP - Digital Light Processing

CDLP – Continuous Digital Light Processing

- ① Build platform
- ② Support structure
- ③ Printed part
- ④ Liquid photopolymer
- ⑤ Recoater
- ⑥ Transparent screen
- ⑦ X-Y scanning mirror
- ⑧ UV laser



LM

EA | Liliana Pires | 20

Vat polymerization

SL

- + Alta precisão e detalhes intrincados
- + Superfície lisa ideal para protótipos visuais
- + Ampla gama de materiais especializados
- Possibilidade de produção de peças transparentes, rígidas, flexíveis
- Degradação com exposição à luz solar
- Remoção de marcas de suporte necessária



LM

EA | Liliana Pires | 21

Formlabs - ortóteses

<https://formlabs.com/blog/father-helps-son-with-cerebral-palsy-walk-with-custom-3d-printed-orthosis/>

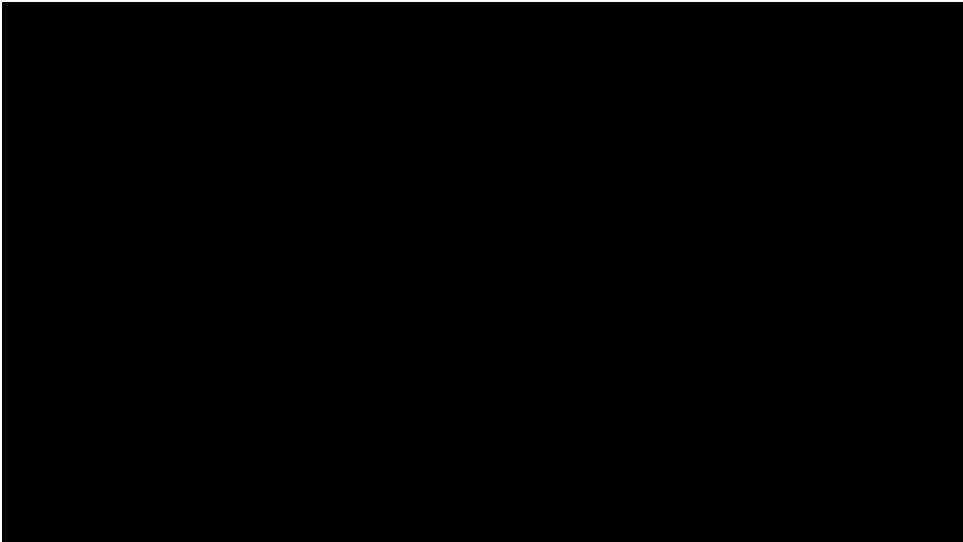


LM

EA | Liliana Pires | 22

Formlabs - joalheria

<https://formlabs.com/industries/jewelry/>

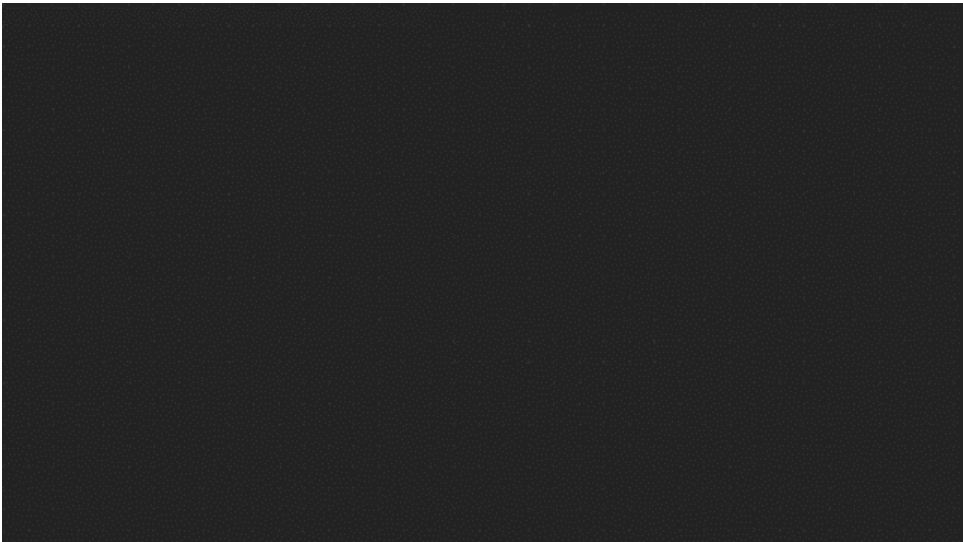


LM

EA | Liliana Pires |23

Carbon 3D: Adidas

https://www.youtube.com/watch?v=zXE-icw28n8&feature=emb_logo



LM

EA | Liliana Pires |24

Carbon 3D - capacetes

<https://www.youtube.com/embed/1iCvPcOSkB4>



LM

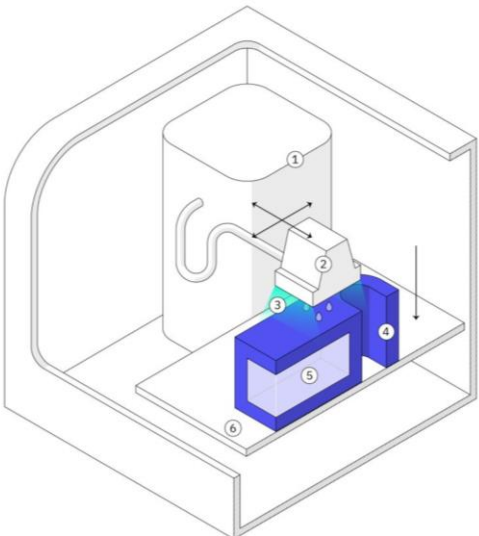
EA | Liliana Pires | 25

Manufatura Aditiva ESAN - Qual a tecnologia?

https://www.youtube.com/watch?time_continue=1&v=oi0JEhGqTuU&feature=emb_logo

PolyJet
(Material Jetting process)

- ① Material container
- ② Inkjet print head
- ③ UV curing light
- ④ Printed part
- ⑤ Support structure
- ⑥ Build platform



LM

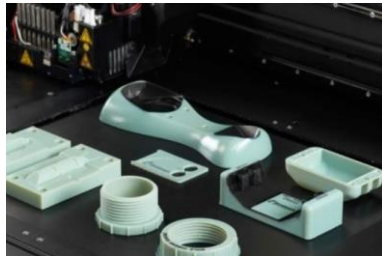
EA | Liliana Pires | 26

Material jetting



PolyJet

- + Alta precisão e detalhes muito finos
- + Acabamento semelhante ao molde por injeção
- + Capacidades de múltiplos materiais e cores
- O processo de impressão 3D de plástico mais caro
- As propriedades mecânicas degradam-se ao longo do tempo



LM

EA | Liliana Pires | 27

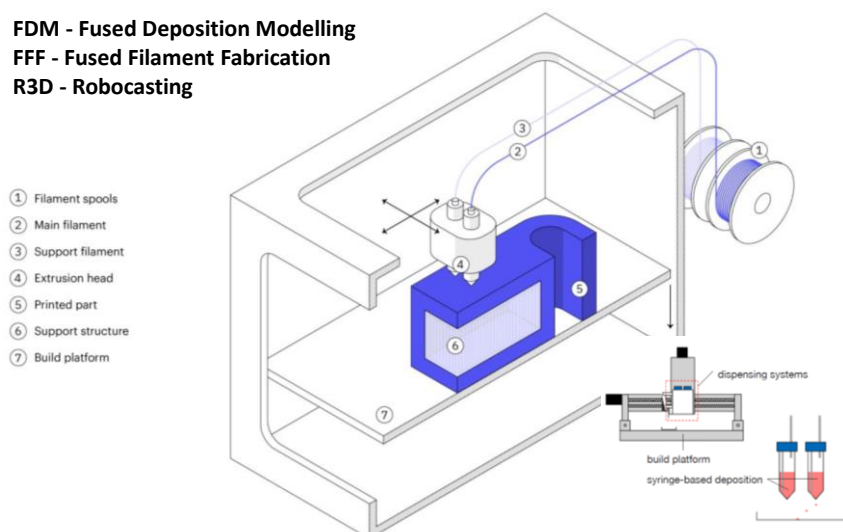
Manufatura Aditiva ESAN - Qual a tecnologia?

https://www.youtube.com/watch?v=raSAhXb2ea4&feature=emb_logo

FDM - Fused Deposition Modelling

FFF - Fused Filament Fabrication

R3D - Robocasting



LM

EA | Liliana Pires | 28

Material Extrusion

R3D



FFF

- + Produção de baixo custo
- + Aplicações funcionais (sem grande carga mecânica)
- Precisão dimensional limitada, maior efeito escada
- Linhas de camada visíveis (podem ser sujeitas a pós-processamento)
- Propriedades mecânicas anisotrópicas mais evidentes



LM

EA | Liliana Pires | 29

WASP - construção

<https://www.3dwasp.com/en/3d-printing-for-sustainable-living/>



LM

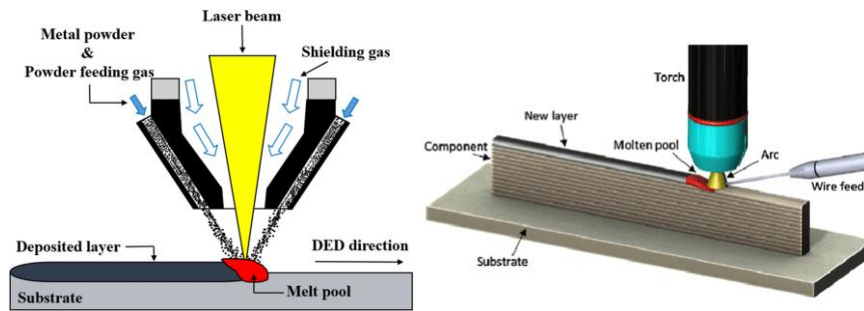
mt | dpt | tsp

EA | Liliana Pires | 30

Manufatura Aditiva ESAN - Qual a tecnologia?

<https://www.youtube.com/watch?v=oL7bMhPTtDI>

DED – Direct Energy Deposition



LM

EA | Liliana Pires | 31

Direct Energy Deposition

DED

- + Alta taxa de deposição – peças grandes
- + Versatilidade de materiais
- + Peças funcionais
- Custo inicial de equipamento elevado
- Necessidade de pós-processamento (ex: polimento)
- Possibilidade de alguma porosidade pela fusão e solidificação repetida



LM

EA | Liliana Pires | 32

Fabrico Aditivo

DESIGN RULES
FOR 3D PRINTING

3D HUBS

	Supported Walls	Unsupported Walls	Support & Overhangs	Embossed & Engraved Details	Horizontal Bridges	Holes	Connecting /Moving Parts	Escape Holes	Minimum Features	Pin Diameter	Tolerance
	<div>Walls that are connected to the rest of the print on at least two sides.</div>	<div>Unsupported walls are connected to the rest of the print on less than two sides.</div>	<div>The maximum angle of a wall can be printed without requiring support.</div>	<div>Features on the model that are raised or recessed below the model surface.</div>	<div>The span is technology can print without support.</div>	<div>The minimum diameter a technology can successfully print is 0.1 mm.</div>	<div>The recommended clearance between two moving or connecting parts.</div>	<div>The minimum diameter of escape holes to allow for the removal of build material.</div>	<div>The recommended minimum size of a feature to ensure it will not fail to print.</div>	<div>The minimum diameter a pin can be printed at.</div>	<div>The expected tolerance (dimensional accuracy) of a specific technology.</div>
Fused Deposition Modeling	0.8 mm	0.8 mm	45°	0.6 mm wide & 2 mm high	10 mm	Ø2 mm	0.5 mm		2 mm	3 mm	±0.5% (lower limit ±0.5 mm)
Stereolithography	0.5 mm	1 mm	support always required	0.4 mm wide & high		Ø0.5 mm	0.5 mm	4 mm	0.2 mm	0.5 mm	±0.5% (lower limit ±0.15 mm)
Selective Laser Sintering	0.7 mm			1 mm wide & high		Ø1.5 mm	0.3 mm for moving parts & 0.1 mm for connections	5 mm	0.8 mm	0.8 mm	±0.3% (lower limit ±0.3 mm)
Material Jetting	1 mm	1 mm	support always required	0.5 mm wide & high		Ø0.5 mm	0.2 mm		0.5 mm	0.5 mm	±0.1 mm
Binder Jetting	2 mm	3 mm		0.5 mm wide & high		Ø1.5 mm		5 mm	2 mm	2 mm	±0.2 mm for metal & ±0.3 mm for sand
Direct Metal Laser Sintering	0.4 mm	0.5 mm	support always required	0.1 mm wide & high	2 mm	Ø1.5 mm		5 mm	0.6 mm	1 mm	±0.1 mm

Fabrico Aditivo - design rules

