

A close-up photograph of a 3D printer's nozzle, which is a small, metallic, cylindrical tip, positioned just above a large, golden, spherical object. The sphere has a fine, concentric ring texture, suggesting it was printed layer by layer. The background is dark, and the lighting highlights the metallic surfaces of the printer and the golden hue of the sphere.

O MUNDO
DA IMPRESSÃO

3D

E O FABRICO DIGITAL

Carlos Relvas

AUTOR

Carlos Relvas

TÍTULO

O Mundo da Impressão 3D e o Fabrico Digital

EDIÇÃO

Quântica Editora – Conteúdos Especializados, Lda

Praça da Corujeira, nº 38 - 4300-114 Porto

www.quanticaeditora.pt

CHANCELA

Engebook – Conteúdos de Engenharia

MEDIA PARTNER

ROBÓTICA – Revista Técnico-Científica

DISTRIBUIÇÃO

Booki – Conteúdos Especializados

Tel. 220 104 872 - Fax 220 104 871 - E-mail: info@booki.pt - www.booki.pt

APOIO À EDIÇÃO

ISICOM TEC – Engenharia e Automação Industrial, Lda

REVISÃO

Quântica Editora – Conteúdos Especializados, Lda

DESIGN DE CAPA

Gabriela César



A **cópia ilegal** viola os direitos dos autores.

Os prejudicados somos todos nós.

Copyright © 2018 | Publindústria, Produção de Comunicação, Lda.

Todos os direitos reservados a Publindústria, Produção de Comunicação, Lda, para a língua portuguesa.

A reprodução desta obra, no todo ou em parte, por fotocópia ou qualquer outro meio, seja eletrónico, mecânico ou outros, sem prévia autorização escrita do Editor, é ilícita e passível de procedimento judicial contra o infrator.

Nenhuma parte desta publicação poderá ser reproduzida, no todo ou em parte, sob qualquer forma ou meio, seja eletrónico, mecânico, de fotocópia, de gravação ou outros sem autorização prévia por escrito do autor.

Este livro encontra-se em conformidade com o novo Acordo Ortográfico de 1990, respeitando as suas indicações genéricas e assumindo algumas opções específicas.

CDU

681.6 Máquinas e equipamento de reprodução gráfica

621.7 Tecnologia mecânica em geral: processos, ferramentas, máquinas, equipamentos

ISBN

Papel: 978-989-892-702-6

E-book: 978-989-723-268-8

Booki – Catalogação da publicação

Família: Engenharia Mecânica

Subfamília: Tecnologia/Fabrico

ÍNDICE

PREFÁCIO.....	V
ÍNDICE.....	IX
RESUMO	XVII
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Prototipagem rápida, impressão 3D e fabrico aditivo.....	3
1.2 Benefícios da impressão 3D	4
1.2.1 Vantagens da impressão 3D	7
1.2.2 Desvantagens da impressão 3D	8
1.3 Tipo de aplicações.....	9
1.3.1 Modelos conceituais	10
1.3.2 Prova de conceito.....	10
1.3.3 Design industrial	11
1.3.4 Protótipos funcionais	11
1.3.5 Pré-produção	11
1.4 Áreas de aplicação	12
1.4.1 A impressão 3D por segmentos de mercado	13
1.4.2 A impressão 3D por áreas e setores	15
2 A IMPRESSÃO 3D	25
2.1 Conceitos e definições.....	27
2.1.1 Prototipagem rápida (rapid prototyping).....	27
2.1.2 Processos aditivos.....	28
2.2 Desenvolvimento do processo de impressão 3D	29
2.2.1 Desenvolvimento de um modelo ou protótipo	31
2.3 Subcontratação da Prototipagem.....	34
2.4 Inovações de 3DP radicalmente novas.....	36
2.4.1 Impressoras 3D personalizadas.....	36
2.4.2 A Bio-Impressão	37

2.4.3	Criação de robots.....	38
2.5	A impressão 4D.....	38
3	HISTÓRIA DA PROTOTIPAGEM RÁPIDA E DOS PROCESSOS ADITIVOS	41
3.1	Precedentes do fabrico aditivo.....	43
3.1.1	Origens da estereolitografia.....	43
3.2	Cronologia da prototipagem rápida e dos processos aditivos	45
4	CLASSIFICAÇÃO DOS PROCESSOS.....	51
4.1	Classificação dos processos aditivos	53
4.1.1	Pela ordem cronológica da tecnologia	54
4.1.2	Pelo estado inicial da matéria-prima.....	55
4.1.3	Pela natureza do material: polímeros ou metálicos.....	55
4.1.4	Pela tecnologia utilizada para o processamento do material.	56
4.1.5	Tipo de mercado: industrial vs impressão 3D de consumo	59
4.2	Impressão 3D de consumo	60
4.2.1	Limitações e desafios à adoção generalizada da impressão 3D de consumo:	61
4.3	Impressão 3D profissional.....	62
4.3.1	Limitações e desafios da impressão 3D profissional.....	63
5	TECNOLOGIAS DE MATERIAIS POLIMÉRICOS	67
5.1	Impressão 3D em materiais poliméricos	69
5.1.1	Seleção de materiais e processos	70
5.1.2	Tipos de materiais poliméricos	73
5.1.3	Compósitos e novas opções de materiais	76
5.2	Fotopolimerização de resina.....	77
5.2.1	Estereolitografia (SL ou SLA)	77
5.2.2	Projeção digital de luz (DLP-digital light projection)	80
5.2.3	Cura Sólida na Base (SGC - Solid Ground Curing).....	82
5.2.4	A cura por ultravioleta (UV) não é SLA.....	83
5.3	Extrusão de Material	84
5.3.1	Modelação por extrusão e deposição de plástico (FDM)	84
5.3.2	Acabamentos e pós-processamento	86

5.4	Fusão em cama de pó.....	87
5.4.1	Sinterização seletiva por laser (SLS).....	87
5.4.1	Acabamentos e pós-processamento	89
5.5	Jato de material.....	90
5.5.1	Material Jetting (tecnologia thermojet).....	90
5.5.2	Multi-Jetting Modelling (tecnologia PolyJet)	91
5.5.3	Processo DoD (tecnologia Solidscape)	93
5.6	Jato de aglutinante.....	95
5.6.1	Binder Jetting (Tecnologia zprinter)	95
5.6.2	ColorJet Printing (CJP)	95
5.6.3	Acabamentos e pós-processamento	97
5.6.4	Multi Jet Fusion (tecnologia HP)	98
5.7	Construção por Laminados	99
5.7.1	Processo de Fabrico de Objetos por Laminados (LOM).....	99
5.7.2	Selective Deposition Lamination (SDL)	101
6	TECNOLOGIAS DE MATERIAIS METÁLICOS.....	103
6.1	Introdução à impressão 3D de metal.....	105
6.1.1	Benefícios do fabrico aditivo de metais.....	107
6.1.2	Materiais	108
6.2	Áreas de aplicação	111
6.3	Fusão em cama de pó.....	114
6.3.1	Sinterização direta de metais por laser (DMLS)	114
6.3.2	SLS metais - Processo “LONG RUN”	116
6.3.3	Fusão seletiva por laser (SLM)	118
6.3.4	Fusão por feixe de eletrões (EBM)	120
6.3.5	Acabamentos e pós-processamento	121
6.4	Deposição de material.....	122
6.4.1	Deposição de metal a laser (LMD).....	122
6.4.2	<i>Laser engineering net shape (LENS®)</i>	123
6.4.3	<i>Electron beam directed energy deposition (EBAM)</i>	125

6.4.4	Bound metal deposition extrusion process (BMD)	126
6.5	Jato de aglutinante	128
6.5.1	Processo de impressão por jato de aglutinante	128
6.5.2	Acabamentos e pós-processamento	129
6.6	Construção por Laminados	130
6.6.1	<i>Solid-state layered bonding</i> (UAM)	130
6.7	Fabrico digital híbrido	131
6.8	Comparação dos processos	134
6.8.1	Análise do processo de impressão 3d de metal	134
6.8.2	Utilização do metal em pó	134
6.8.3	Processos de ded utilizando material em pó ou em fio	135
6.8.4	EBAM vs LMD	136
7	RAPID TOOLING e RAPID MANUFACTURING	139
7.1	O fabrico aditivo no fabrico de ferramentas	141
7.1.1	Conceito de <i>Rapid Tooling</i>	142
7.1.2	Benefícios do fabrico aditivo no fabrico de ferramentas	143
7.2	Tipologias de processos de fabrico de ferramentas	145
7.2.1	Processos diretos	146
7.2.2	Processos indiretos	147
7.3	Tecnologias de impressão 3d para prototipagem e produção	148
7.3.1	Insertos por FDM	148
7.3.2	Insertos por estereolitografia (Direct AIM™)	150
7.3.3	Componentes metálicos por fundição (Processo ZCast®)	151
7.3.4	Processo RTV	153
7.3.5	Vazamento de pós metálicos (<i>Keltool</i>)	156
7.3.6	Deposição por pulverização metálica	157
7.4	<i>Direct Digital manufacturing</i>	158
7.5	Benefícios da impressão 3D associados à produção de peças finais	159
7.6	Impressão 3D na produção de peça final	160

8	DESENHO, PREPARAÇÃO DE MODELOS E PÓS-PROCESSADORES	163
8.1	Modelação 3D	165
8.1.1	Redução dos constrangimentos	165
8.1.2	Alteração da forma de projetar	166
8.1.3	Otimização de topologia	168
8.2	Formatos CAD	171
8.2.1	Resolução do ficheiro STL	172
8.3	Estruturas de suporte	173
8.3.1	Tipos de estruturas de apoio	176
8.3.2	Exemplos de projeto de estruturas de suporte	178
8.4	Design for Manufacturing (DFM)	179
8.4.1	Recomendações para fabrico	180
8.4.2	Características dos modelos a obter por impressão 3D	182
8.4.3	Preparação dos modelos CAD	183
8.5	DFM – FDM	190
8.5.1	Restrições do processo	190
8.6	DFM - SLA	192
8.6.1	Restrições do processo	192
8.6.2	Estruturas de suporte	193
8.7	DFM - SLS	194
8.7.1	Restrições do processo	194
8.8	DFM - DMLS	198
8.8.1	Restrições do processo	198
8.9	DFM - Jato de aglutinante	200
8.9.1	Restrições do processo	200
8.10	3D Printing software	203
9	TECNOLOGIA DE MAQUINAGEM CNC e MAQUINAGEM DE ALTA VELOCIDADE	207
9.1	Tecnologia de maquinagem cnc	209
8.1.1	Fenomenologia do processo de maquinagem	210
8.1.2	Maquinagem de alta velocidade e multieixos	212

9.2	Fabrico de protótipos por maquinagem cnc	215
8.1.3	Fases do processo de fabrico de modelos por maquinagem CNC	217
9.3	O controlo numérico	219
9.3.1	História do aparecimento do controlo numérico.....	219
9.4	Tecnologia das máquinas cnc.....	221
9.5	Tecnologia de maquinagem em torno.....	224
9.5.1	Parâmetros de corte	225
9.5.2	Operações realizáveis.....	226
9.5.3	As ferramentas	227
9.5.4	Exemplos de peças obtidas em torno CNC.....	229
9.6	Tecnologia de maquinagem em fresadora.....	230
9.6.1	Tipos e movimentos da fresagem	232
9.6.2	Operações de fresagem.....	235
9.6.3	Operações em furos	237
9.6.4	Ferramentas e porta-ferramentas.....	239
9.6.5	Exemplos de peças obtidas em CM.....	241
9.7	Programação CN.....	242
9.7.1	Sistemas de coordenadas.....	242
9.7.2	Ponto-zero da peça.....	243
9.8	Programação manual	244
9.8.1	Linguagens de programação normalizadas	244
9.8.2	Tipos de informações do programa.....	244
9.8.3	Sequência de operações e divisão em elementos de contorno	245
9.8.4	Termos da programação cn.....	246
9.8.5	Funções preparatórias	248
9.8.6	Funções auxiliares ou mistas	249
9.8.7	Elaboração de programas cn.....	250
9.8.8	Exemplo de programação.....	252
9.9	Programação automática	253
9.9.1	Fases do processo CAD/CAM/CNC	254

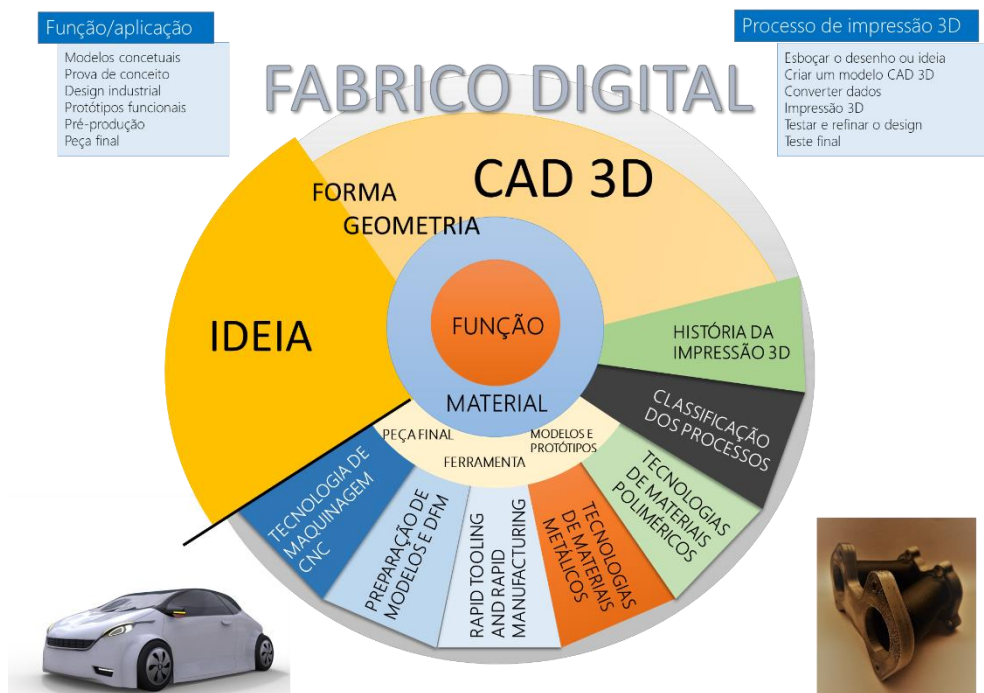
9.9.2	Estratégias de maquinagem.....	255
10	TABELAS DE MATERIAIS E PROCESSOS	259
10.1	Materiais poliméricos.....	262
10.2	Materiais metálicos.....	270
10.3	Tecnologia maquinagem.....	274
10.4	Listagem de softwares gratuitos.....	276
11	BIBLIOGRAFIA.....	277
11.1	Introdução.....	279
11.2	Impressão 3D.....	281
11.3	História da prototipagem rápida.....	283
11.4	Classificação dos processos.....	284
11.5	Tecnologias de materiais poliméricos.....	285
11.6	Tecnologias de materiais metálicos.....	287
11.7	Rapid tooling e rapid manufacturing	288
11.8	Desenho e preparação de modelos.....	290
11.9	Tecnologia de maquinagem CNC	292
11.10	Webgrafia.....	293

RESUMO

A impressão 3D ou fabricação aditiva é um processo que permite, com base num modelo 3D digital, construir objetos físicos através da deposição de materiais em camadas. A tecnologia de impressão 3D pode ser usada para criar protótipos, peças simples ou produtos finais altamente sofisticados, como peças de engenharia, implantes médicos e até órgãos artificiais.

Julga-se que a impressão 3D terá um impacto nas nossas vidas que poderá até romper com o que hoje estabelecemos para o processo de design e fabrico. Com a impressão 3D é possível sonhar, projetar e construir em qualquer lugar ou circunstância, até na nossa própria casa, bastando um computador e uma impressora.

Este livro tenta resumir “o mundo da impressão 3D” que apesar de ter mais de 30 anos, só agora se democratizou e se tornou alvo de curiosidade por muitos. Assim, apresenta-se a tecnologia e todo o seu potencial, os processos, materiais e equipamentos. Por vezes, “o mais fácil é adquirir” o físico e tangível por isso, não foram esquecidos os aspetos mais técnicos, nomeadamente os relacionados com as recomendações para a obtenção de “bons resultados” (referimo-nos às recomendações de fabrico e preparação do modelo digital). Também a fabricação digital, hoje igualmente muito evocada, e que envolve a maquinagem CNC e a maquinagem de alta-velocidade, por isso não ficou esquecida, porque quando se fala de precisão este “ainda” é o processo de eleição.



1.1 PROTOTIPAGEM RÁPIDA, IMPRESSÃO 3D E FABRICO ADITIVO

O termo prototipagem rápida foi o primeiro a surgir e referia-se à possibilidade de obtenção de modelos físicos diretamente a partir de informação digital e, como segunda característica, o facto de estes modelos serem fabricados por camadas (fabrico aditivo). Assim, analisando somente a primeira característica, o termo prototipagem rápida abrangia igualmente a possibilidade de fabricar protótipos rapidamente pelo processo CAD/CAM/CNC (fabrico subtrativo). Com o tempo e com a vulgarização do termo impressão 3D começou a designar-se por prototipagem rápida o fabrico de modelos ou protótipos por qualquer tecnologia que permita a obtenção de modelos físicos diretamente a partir de informação digital, isto envolvendo os processos aditivos (impressão 3D) e os processos subtrativos (maquinagem CNC). Deste modo criou-se uma diferenciação nas designações e o termo impressão 3D ficou exclusivamente associado ao fabrico aditivo e à fabricação por camadas.

Basicamente, a diferença entre prototipagem rápida e impressão 3D é a perspetiva sobre o processo. A peça pode ser gerada da mesma forma, usando a mesma tecnologia ou o mesmo equipamento, no entanto, a designação de prototipagem rápida é um termo mais antigo e focado na produção de um modelo, peça ou componente que não se destina a ser aplicado em serviço, mas como um protótipo. Como tal, pode ou não apresentar todas as propriedades e características de desempenho da peça final, mas não passa de um "modelo representativo". A impressão 3D é uma designação mais recente e associada ao fabrico aditivo que, pelo seu lado, sublinha a utilização destas tecnologias como processos de produção reais, isto é, fabricam peças que se destinam a um verdadeiro ciclo de vida do produto.

Numa segunda perspetiva, pode-se considerar que o fabrico aditivo é um termo mais geral do que a prototipagem rápida, pois descreve qualquer tecnologia que gera partes ou estruturas por adição, gota a gota ou camada a camada, de material. Assim, por exemplo, a tecnologia de estereolitografia pode-se encaixar tanto no fabrico aditivo como na categoria de prototipagem rápida.

Assim, o fabrico aditivo refere-se a qualquer tecnologia de fabrico que utilize processos de fabrico por camadas para a obtenção de modelos ou protótipos, e que nos últimos anos têm sido cada vez mais usados para o fabrico de peças finais, especialmente quando as geometrias são complexas ou incorporam funcionalidades especiais.

Acresce ainda que estes sistemas podem produzir modelos físicos em espaços de tempo muito curtos (algumas horas). No entanto, dependendo do tipo de máquina utilizada e do tamanho e número de modelos produzidos, isto pode variar amplamente.

Independentemente de uma análise das particularidades de utilização das diversas tecnologias, existe um conjunto de vantagens e desvantagens partilhados pela grande maioria das tecnologias de fabrico aditivo.

Julga-se que a impressão 3D terá um impacto e poderá até romper com o que hoje estabelecemos para o processo de design e fabrico e para isso contribuem os seguintes fatores:

Não requer montagem: Capacidade de construir montagens inteiras, em vez do fabrico em partes individuais e que necessitem de serem juntas mais tarde. Elimina custos de montagem associados ao projeto, fabrico e montagem propriamente dita.



Figura 1.2 – A impressão 3D permite montagens completas

Baixo custo de variedade e quantidade: Qualquer objeto é virtualmente passível de ser obtido por impressão 3D. Pode-se usar uma impressora 3D para imprimir tudo. Os custos associados ao projeto são constantes para qualquer quantidade (1, 100, 10 000), só o custo de material usado é que aumenta.

A impressão 3D normalmente só é recomendada para quantidades relativamente pequenas de produção, apresentando uma utilização limitada em grandes volumes de produção. No entanto é possível utilizar toda a área de trabalho e dispor de várias máquinas a trabalhar em simultâneo, considerando que este é um processo automático, seguro e de baixa vigilância, e que pode operar 24 sobre 24 horas. Torna-se portanto necessário entender, no caso de peças de uso final, quais são as quantidades apropriadas. Desde o pedido de uma única peça de reposição até a produção de peças de grande complexidade geométrica, existe um vasto leque de critérios a considerar na análise.

Espera-se que o mercado global de impressão 3D continue a crescer significativamente nos próximos anos, impulsionado por fatores como o aumento das despesas dos *players* do mercado no desenvolvimento de produtos, o crescimento do segmento de utilizadores finais, aumento da facilidade de fabricação e atividades de investigação e desenvolvimento suportadas por políticas e apoios governamentais. O desenvolvimento tecnológico no setor de saúde também tem contribuído para o aumento da aplicação da impressão 3D, o que oferece boas oportunidades de expansão e crescimento do mercado.

Os fatores que impulsionam o mercado são a redução de erros, o elevado grau de precisão, uma utilização mais eficiente de matérias-primas, a capacidade de construir produtos personalizados, o uso simultâneo de múltiplos materiais, e ainda a melhoria de fatores como: tempo de produção; custo financeiro; competência técnica; etc. Entre os fatores restritivos para o crescimento do mercado incluem-se o custo do material (nomeadamente nos metálicos), a indisponibilidade e a má qualidade de alguns materiais, falta de *know-how* para usar e gerir esta tecnologia ou o acesso a ela.

A inovação de produtos e o aumento das despesas em investigação e desenvolvimento são as principais tendências seguidas pelos *players* do mercado. Os fabricantes concentram-se na criação e oferta de soluções e produtos de baixo volume e baixo custo que podem ser usados em várias áreas ou indústrias.

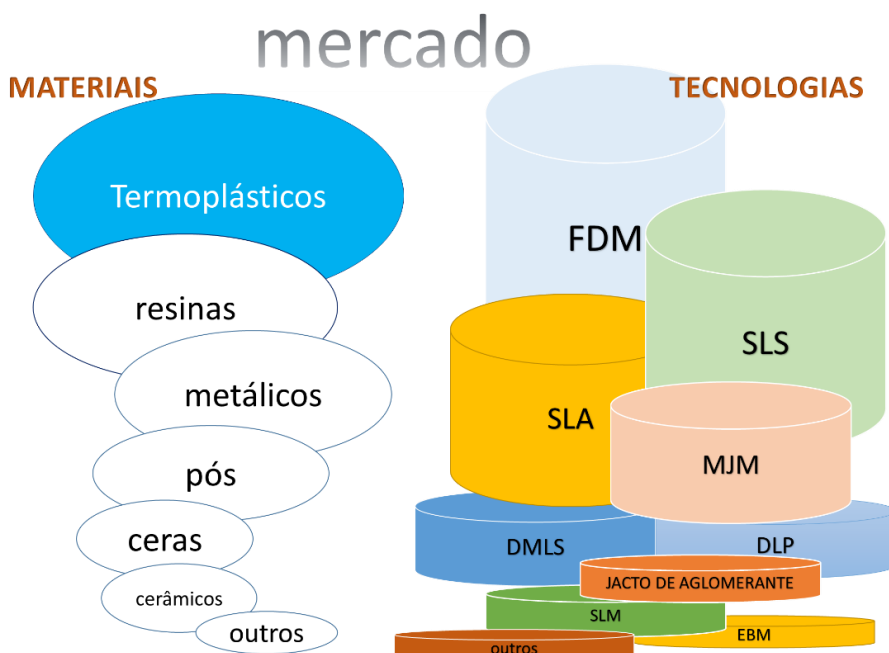


Figura 1.7 – Representatividade do mercado da impressão 3D por materiais e tecnologias

2.1 CONCEITOS E DEFINIÇÕES

2.1.1 PROTOTIPAGEM RÁPIDA (RAPID PROTOTYPING)

A designação de prototipagem rápida é vulgarmente utilizada para descrever o fabrico de modelos físicos diretamente de um modelo de CAD, tendo como base a utilização de um conjunto de processos tecnológicos e de tecnologias digitais, daí que também pode ser conhecida por fabricação digital.

A prototipagem rápida geralmente está associada à utilização de tecnologias de fabricação aditivas e máquinas industriais complexas que recorrem a tecnologia laser, como estereolitografia e a sinterização seletiva a laser, ou, por outro lado, a equipamentos “domésticos” como as impressoras 3D de baixo custo, mas nem sempre.

Assim, é de salientar que as tecnologias de prototipagem rápida dividem-se em dois grandes grupos, o primeiro designado por processos aditivos envolve a adição de material e a fabricação em camadas, o segundo é designado por processos subtrativos e envolve os processos de maquinaria CNC com remoção de material.

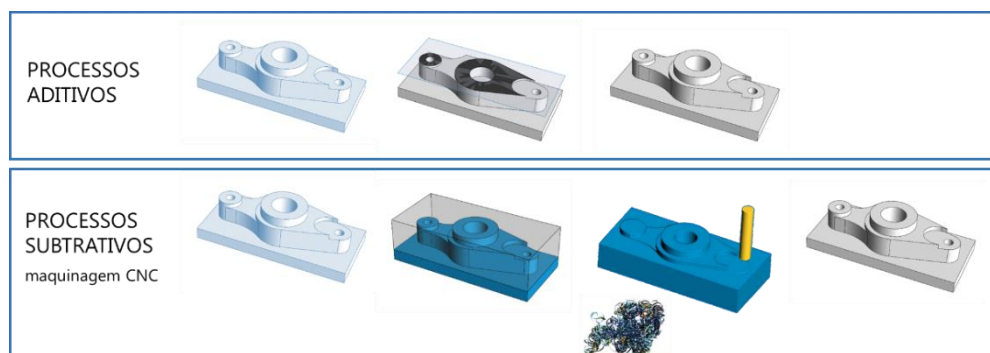


Figura 2.1 – Os processos de prototipagem rápida

2.1.2 PROCESSOS ADITIVOS

Os processos aditivos realizam um fabrico orientado por camadas, onde os modelos são construídos camada a camada (layer oriented manufacturing). Estes processos permitem realizar peças de elevada complexidade geométrica e “praticamente impossíveis” de obter através de meios de fabrico convencionais, nomeadamente a maquinagem.

Os processos aditivos podem ser igualmente designados por *Solid Freeform Fabrication* ou por *Layered Manufacturing*, e definem-se como um conjunto de processos tecnológicos que permitem fabricar modelos físicos tridimensionais diretamente a partir de um modelo CAD.

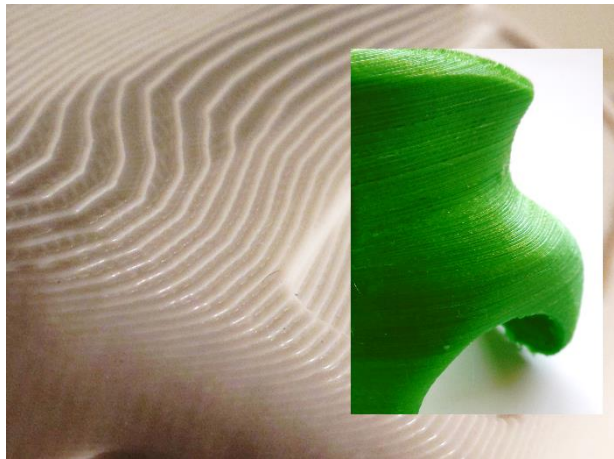


Figura 2.2 – Modelos de camadas

A característica comum dos processos de fabrico aditivo está no modo como os modelos são construídos, por camadas sucessivas, em que cada camada se assemelha a uma secção bidimensional que é construída uma sobre a outra até se atingir a forma final pretendida. A espessura de cada camada é geralmente da ordem da décima de milímetro e a aproximação à geometria final do objeto tridimensional é considerada aceitável.

Uma das vantagens dos processos de fabrico aditivo consiste no facto da geometria das peças, na maior parte das vezes, ser independente do processo de construção. Podendo uma peça complexa, constituída por uma variedade de formas e de finos detalhes, ser obtida tão facilmente como outra qualquer peça simples. A peça é construída de forma automática, numa única operação e sem a necessidade de dispositivos de fixação ou operações especiais.

Os equipamentos utilizados no processo de fabrico aditivo são frequentemente designados por Impressoras 3D. As Impressoras 3D utilizam modelos digitais 3D provenientes de desenhos CAD ou scanners 3D para criar objetos sólidos tridimensionais num qualquer material.

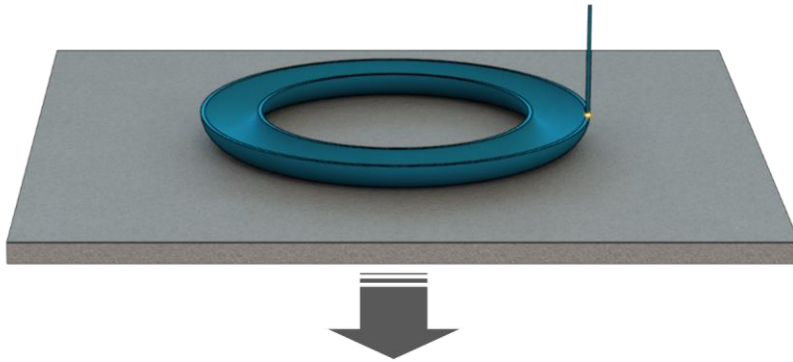


Figura 2.3 - Os modelos são construídos camada a camada sobre uma plataforma

2.2 DESENVOLVIMENTO DO PROCESSO DE IMPRESSÃO 3D

A obtenção de modelos físicos por recurso à impressão 3D ou fabrico aditivo está sujeita a uma metodologia genérica que começa obrigatoriamente no modelo 3D digital, seja ele obtido por modelação direta no sistema CAD 3D, ou proveniente de um processo inverso de modelação (*reverse engineering*).

Refira-se que o processo inverso pode ser utilizado quando estamos perante um objeto físico e sem suporte digital. Neste caso, o objeto é previamente submetido a um processo de aquisição de forma, eventualmente através de um sistema de *scanner* 3D, do qual resulta uma nuvem de pontos que é posteriormente processada através de *software* até se atingir uma cópia digital 3D do objeto físico que pretendemos fabricar.

Uma vez obtido o modelo 3D digital, este é convertido para um formato poligonal, normalmente STL. O modelo STL é posteriormente "fatiado" em secções 2D, com espessuras na ordem das décimas de milímetro e correspondentes a cada camada de material, dando origem ao ficheiro SLI. Dependendo da tecnologia utilizada ainda pode ser necessário definir as condições de varrimento ou preenchimento das zonas interiores de cada camada. No entanto, refira-se que este ficheiro é gerado automaticamente pelo *software* de programação do equipamento.

A fase de construção do modelo e posterior retirada e limpeza varia ligeiramente com a tecnologia do equipamento utilizado, isto considerando algumas particularidades relacionadas com a sua preparação e operação, referimo-nos à inerente utilização de tecnologias distintas como a estereolitografia (SLA), a modelação por fusão e deposição (FDM) ou a sinterização seletiva a laser (SLS).

O desenvolvimento de um projeto que envolva a realização de peças ou componentes por fabrico aditivo envolve um conjunto de tarefas que vão desde a modelação virtual do objeto até à sua obtenção física. Estas etapas são realizadas de forma sequencial, e normalmente desenvolvem-se num intervalo de tempo muito curto.

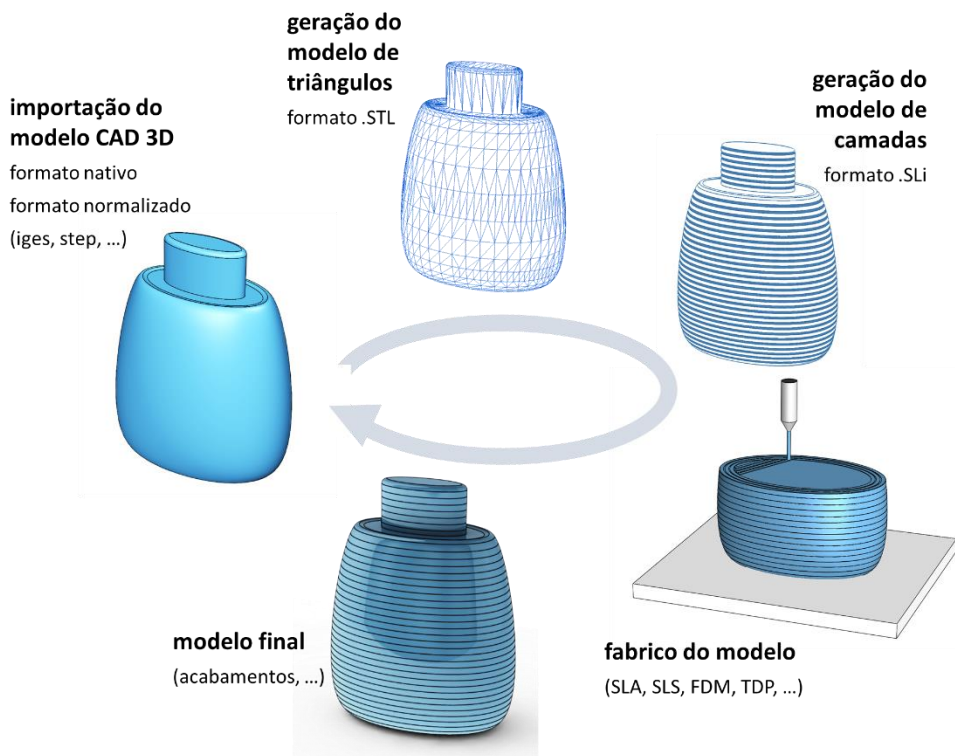


Figura 2.4 – O processo de construção de um modelo por impressão 3D

Modelação Tridimensional: A materialização de um objeto físico por um qualquer processo de impressão 3D necessita obrigatoriamente do respetivo ficheiro digital pelo que torna-se necessário a utilização de um sistema de CAD 3D para efetuar a sua realização virtual. Um sistema de CAD consiste num computador e respetivo *software* que permite a criação de um

3.1 PRECEDENTES DO FABRICO ADITIVO

Muitas pessoas pensam que a impressão 3D é uma nova tecnologia e que foi inventada recentemente. Este equívoco pode ser atribuído ao facto de nos últimos anos, e à medida que a tecnologia entrava no espaço do consumidor comum, aumentou o crescimento da divulgação e cobertura por parte dos média. Mas a realidade é que esta tecnologia está disponível no mercado há mais de 30 anos. Começou por estar disponível apenas no nível industrial e mais recentemente chegou ao consumidor doméstico.

A partir de 2012 acentuou-se a entrada da tecnologia de impressão 3D no mercado do consumidor doméstico. Esta ganhou grande divulgação o que permitiu criar uma grande conscientização sobre esta tecnologia no público em geral. Com isso, foram criadas enormes expectativas, muito além do que é possível de forma realista, mas que a impressão 3D está a desfrutar atualmente e, deste modo, esta tecnologia vem crescendo a um ritmo acentuado desde 2013.

Existe quem afirme que a impressão 3D é a próxima grande “revolução industrial” e que terá um impacto muito maior do que a internet, e apesar de não ser possível negar que a impressão 3D tenha um impacto grande nos setores industriais e não industriais, é preciso esperar e observar, se a impressão 3D afetará ou não de modo radical a “forma como fazemos as coisas”, tal como é proclamado por muitos. Mas a tecnologia está atualmente ainda muito incipiente, mas é assertivo afirmar-se que ela poderá desenvolver-se muito rapidamente.

3.1.1 ORIGENS DA ESTEREOLITOGRAFIA

Os materiais fotossensíveis têm sido conhecidos pelo menos desde a antiguidade, nomeadamente pelos “egípcios” e provavelmente muito antes deles. Por exemplo, os alquimistas da idade média e do renascimento sabiam enegrecer os saís de prata por exposição à luz solar.

No entanto, eles não perceberam que esse fenómeno era devido apenas à luz do sol e não ao seu calor. Na verdade, argumentavam que todas as mudanças produzidas nos corpos expostos à luz solar eram devidos ao calor e não à luz.

89 É emitida a patente do processo **SLS**, para Carl Deckard

Em 1987, Carl Deckard, que trabalhava na Universidade do Texas, nos EUA, apresentou um pedido de patente para o processo sinterização seletiva por laser (SLS). Esta patente foi emitida em 1989 e a tecnologia de SLS foi licenciada posteriormente para a DTM Inc, que em 2001 foi adquirida pela 3D Systems.

91 É comercializado pela Cubital, o primeiro sistema **SGC**

A tecnologia de cura sólida na base (SGC, Solid Ground Curing) também conhecida como Solider Process, inventada 1986 por Itzhak Pomerantz, foi desenvolvida e comercializada pela Cubital Inc. (Raanana, Israel) em 1991. Esta tecnologia foi descontinuada após o encerramento da Cubital Ltd., em 2002.



92 É emitida a patente do processo **FDM**, para Scott Crump

Em 1989, Scott Crump, cofundador da *Stratasys Inc.*, apresentou um pedido de patente para tecnologia *Fused Deposition Modeling* (FDM). A patente de FDM foi concedida à Stratasys em 1992, que ainda é proprietária desta tecnologia. Este processo é igualmente muito usado por muitos dos equipamentos de impressão 3D, baseados no modelo de código aberto, RepRap, e que proliferaram com o desenvolvimento da impressão 3D atual.



[HTTP://HAVEBLUE.ORG/?P=1600](http://HAVEBLUE.ORG/?P=1600)

96 É comercializada a primeira máquina do processo **BPM**.

A BPM, fundada em 1992 por William Masters, lançou em 1996 o seu primeiro equipamento (Personal Modeler 2100) com a tecnologia de fabrico de objetos (BPM, disparo de gotículas de plástico). A publicidade negativa resultante da introdução do produto acabou por ser fatal e a BPM saiu do negócio em 1997.

20_ _

00 É introduzida comercialmente a tecnologia de SLM.

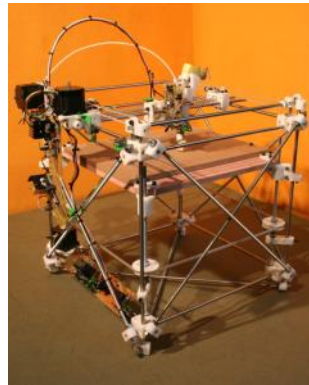
A tecnologia SLM começou em 1995 no *Fraunhofer Institute* ILT em Aachen, na Alemanha, como um projeto de pesquisa alemão, que resultou numa patente. No início dos anos 2000, uma parceria entre a *F&S* e a *MCP HEK GmbH* (SLM Solutions GmbH), permitiu introduzir comercialmente esta tecnologia.

02 É fundada a EnvisionTEC, pioneira na utilização da tecnologia DLP.

A empresa *EnvisionTEC* é fundada em 2002, e foi pioneira na utilização da tecnologia de DLP (*Digital Light Projector*) para fazer a fotopolimerização de resina.

04 É criado o conceito de fonte aberta RepRap.

Em 2004, Adrian Bowyer, então professor de engenharia mecânica na *Universidade de Bath*, no Reino Unido, concebeu o RepRap, baseado no conceito de código aberto, para o desenvolvimento de uma impressora 3D que pode imprimir muitos de seus próprios componentes a baixo custo. RepRap (*replicating rapid prototyper*) usa uma técnica de fabricação aditiva chamada FFF (*fused filament fabrication*) que contribuiu decisivamente para a divulgação da impressão 3D. Só em janeiro de 2009 é que ficou comercialmente disponível a primeira impressora 3D, em forma de kit, e baseado no conceito RepRap, a impressora BfB RapMan 3D.



[HTTPS://UPLOAD.WIKIMEDIA.ORG/WIKIPEDIA/COMMONS/f/f8/REP
RAP_DARWIN.JPG](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f8/RepRap_Darwin.JPG)

4.1 CLASSIFICAÇÃO DOS PROCESSOS ADITIVOS

Existem diversos processos e tecnologias de fabrico aditivo disponíveis no mercado, baseados no princípio de adição de camadas.

Estas tecnologias estão hoje disseminadas por uma vasta área de indústrias, como a aeroespacial, automóvel, produtos de consumo, médica, etc., com aplicações desde a realização de protótipos conceituais até à obtenção de peças finais e funcionais, utilizando uma variedade de materiais, incluindo plásticos, metais, cerâmica e compósitos. Para além desta diversidade existem várias questões relacionadas com o design, a complexidade, o tipo de acabamento superficial, o custo unitário, etc., que condicionam o tipo de tecnologia ou processo selecionado.

Salienta-se ainda que hoje podemos dispor da mesma tecnologia em equipamento industrial e que podem custar alguns milhares de euros, ou em modelos domésticos, ou de hobbistas que podem ser adquiridos por poucas centenas.

Com o objetivo de facilitar a análise ou estudo das tecnologias, estas podem ser classificadas ou agrupadas segundo vários critérios:

Pela ordem cronológica do aparecimento da tecnologia;

Pelo estado ou forma inicial da matéria-prima utilizada na fabricação;

Pela natureza do material: polímeros ou metálicos;

Pela tecnologia utilizada para o processamento do material utilizado na fabricação;

Pela gama ou tipo de mercado.

4.1.4.6 CONSTRUÇÃO POR LAMINADOS

Na construção por laminados, o objeto é formado por finas folhas de material que são unidas por uma variedade de métodos (cola, soldadura ultrassônica). Cada nova folha de material é colocada sobre a camada anterior e é utilizado um laser, lâmina ou fresa para cortar o contorno da secção pretendida.

Entre estas tecnologias estão: a fabricação de objetos laminados (LOM), consolidação ultrassônica (UC)

4.1.4.7 DEPOSIÇÃO DIRECIONADA DE ENERGIA

Na deposição direcionada de energia, é usado um foco de energia térmica para fundir o material à medida que este é depositado. A peça ou modelo pode ou não ser construído por camadas. Os sistemas de deposição de energia dirigida utilizam normalmente materiais metálicos e empregam abordagens baseadas em fio (arame) ou em pó.

Entre estas tecnologias estão: deposição de metal a laser (LMD) e *laser cladding*.

Tabela 4-1 - Resumo das tecnologias de impressão 3D

TECNOLOGIA		PROCESSO	MATERIAIS
FOTOPOLIMERIZAÇÃO DE RESINA	Tina de material (líquido)	Estereolitografia (SLA) Projeção digital de luz (DLP)	Resinas poliméricas
EXTRUSÃO DE MATERIAL	Filamento de material (sólido)	Modelação por extrusão e deposição de material polimérico (FDM) Fabricação por Fusão de Filamento Polimérico (FFF)	termoplásticos
JACTO DE MATERIAL	Jacto de material (spray)	Modelação por Multijactos de material (MJM)	Resinas poliméricas ceras
FUSÃO EM CAMA DE PÓ	Sinterização de material (pó)	Sinterização seletiva por laser (SLS)	termoplásticos
		Sinterização direta de metais por laser (DMLS)	metálicos
	Fusão de material (pó)	Sinterização de metais por laser (SLM) Fusão por feixe de electrões (EBM)	metálicos
JACTO DE AGLUTINANTE	Spray de cola (pó)	Impressão por jato de tinta (CJP)	Resinas Ceras
		Impressão por jacto de aglomerante (Prometal)	metálicos
CONSTRUÇÃO POR LAMINADOS	Folhas de papel	Fabrico de objetos por laminados (LOM) Selective deposition lamination (SDL)	papel cera
	Folhas de chapa	Consolidação ultrassônica	metálicos
DEPOSIÇÃO DIRECIONADA DE ENERGIA	Fusão de material (jacto de partículas)	Deposição de metal por laser (LENS) Electron beam directed energy deposition (EBAM)	metálicos

4.2 IMPRESSÃO 3D DE CONSUMO

A impressão 3D de consumo doméstico visa replicar a experiência de impressão 3D profissional em escala e preço. Como tal, as principais características das impressoras 3D domésticas comparativamente com impressoras 3D profissionais são:

Preço: Os preços das impressoras 3D para estações de trabalho têm caído de forma constante nos últimos anos, existindo atualmente várias soluções com custos inferiores a 1000€.

Tamanho: O mercado de impressoras 3D domésticas oferece soluções compactas, facilmente transportáveis e que possam ser colocadas a trabalhar em cima de uma simples mesa, não necessitando de instalações próprias ou outro tipo de especificidades.

Facilidade de operação: As impressoras 3D domésticas destinam-se a pequenos gabinetes, hobbistas ou utilizadores domésticos amadores que fazem uma utilização esporádica da tecnologia. Deste modo, este utilizador deseja um equipamento pronto a usar (instalação fácil), fácil de operar porque é um utilizador amador ou ocasional e está mais centrado no resultado do que na tecnologia (*user-friendly*) e de baixa manutenção.

Tecnologia: Apesar dos enormes desenvolvimentos deste tipo de equipamentos a maioria das impressoras 3D de desktop baseiam-se na tecnologia de impressão FFF. Trata-se de uma tecnologia rentável, relativamente eficiente, mas limitada nas aplicações. Assim, os desafios deste segmento passam por aumentar a oferta tecnológica, nomeadamente com o expirar do prazo de proteção de algumas patentes e desenvolvimento de novos processos, sendo expectável que seja possível melhorar as capacidades e diminuir os custos que permitam impulsionar a obtenção de peça final acabada.

No entanto, existem outras características das impressoras 3D domésticas que devem ser analisadas:

Materiais: A grande maioria das impressoras 3D de consumo usam termoplásticos como ABS ou PLA para impressão. Estes materiais são normalmente processados por FFF, fundem quando aquecidos, são extrudidos através de um bico e solidificam à temperatura ambiente.

Padronização: A disseminação desta tecnologia levou a uma ampla convergência entre fabricantes sobre questões como resolução, tipo de termoplásticos e tamanho do filamento. Por exemplo, o tamanho do filamento é agora padronizado em 1,75 milímetros de diâmetro e a maioria das impressoras 3D vendidas hoje é capaz de imprimir com 100 microns de resolução.

Estética: As impressoras 3D de mesa são projetadas para uso doméstico e para serem colocadas em cima de uma mesa ou secretária, assim, a estética e a cor do equipamento são hoje considerações de design dos equipamentos para captar a preferência entre os utilizadores.

5.1 IMPRESSÃO 3D EM MATERIAIS POLIMÉRICOS

Os dois principais tipos de materiais utilizados na impressão 3D são o plástico e o metal. No entanto, também é possível obter modelos impressos em materiais cerâmicos, cera, areia ou vidro. O material utilizado depende da tecnologia e vice-versa e a escolha deste depende do objetivo destinado para o modelo e da resolução de impressão que se pretende.

Os materiais poliméricos estão intimamente ligados à impressão 3D, tanto no passado quando os processos de impressão 3D eram somente conhecidos por processos de prototipagem rápida e permitiram a obtenção de modelos por estereolitografia através do processamento de resinas fotopolimerizáveis, como no presente, em que contribuíram para surgimento das impressoras de baixo custo e a “democratização” da impressão 3D, suportadas pela tecnologia FFF (*Fused Filament Fabrication*) que utilizam um filamento de material “plástico” para construir modelos.

Atualmente estão disponíveis no mercado um conjunto de tecnologias para o processamento de materiais poliméricos ou não metálicos. Entre os mais divulgados estão:

- ✓ Estereolitografia (SL ou SLA);
- ✓ Projeção digital de luz (DLP-*Digital Light Projection*);
- ✓ Cura Sólida na Base (SGC - *Solid Ground Curing*);
- ✓ Modelação por extrusão e deposição de plástico (FDM);
- ✓ Sinterização seletiva por laser (SLS);
- ✓ *Material Jetting* (tecnologia *Thermojet*);
- ✓ Processo DoD (tecnologia *Solidscape*);
- ✓ *Multi-Jetting Modelling* (tecnologia *PolyJet*);
- ✓ *Binder Jetting* (Tecnologia Zprinter);
- ✓ *ColorJet Printing* (CJP);
- ✓ *Multi Jet Fusion* (tecnologia HP);
- ✓ Processo de Fabrico de Objetos por Camadas (LOM);
- ✓ *Selective Deposition Lamination* (SDL).

5.2.2.1 EXEMPLOS DE PEÇAS DE DLP

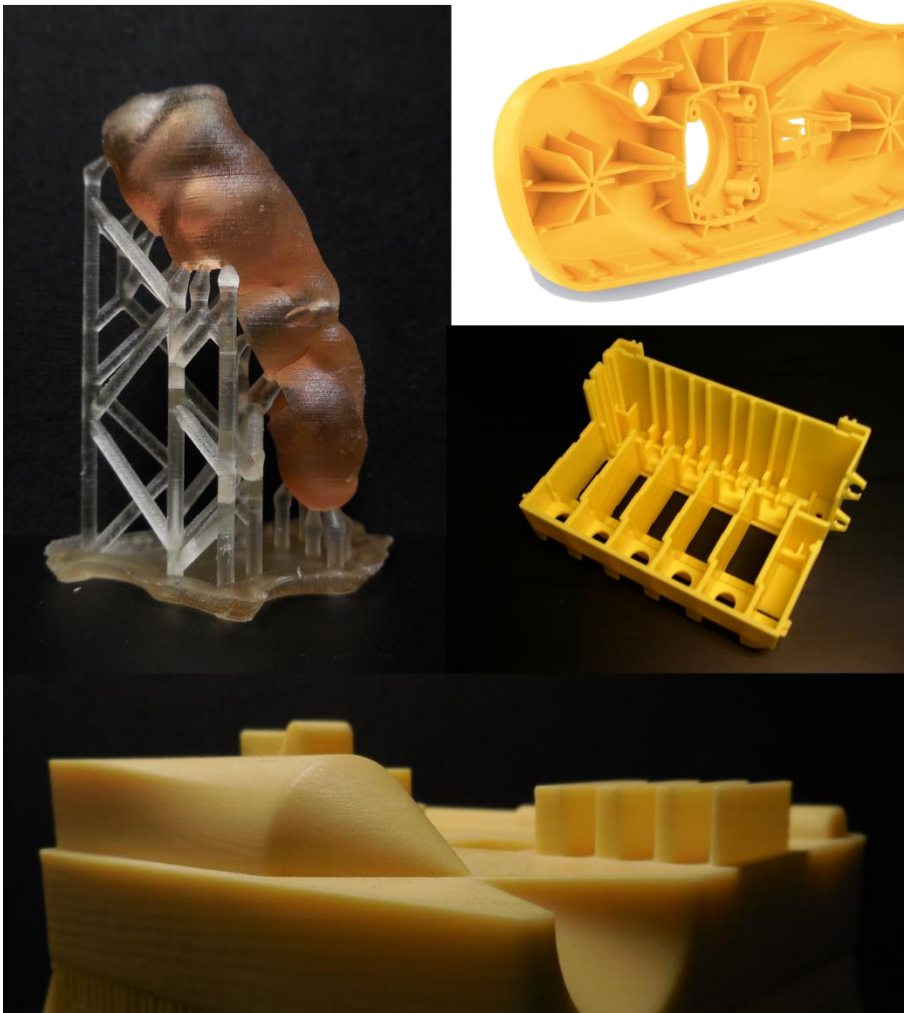


Figura 5.4 - Exemplo de peças obtidas por DLP

5.3 EXTRUSÃO DE MATERIAL

5.3.1 MODELAÇÃO POR EXTRUSÃO E DEPOSIÇÃO DE PLÁSTICO (FDM)

O processo FDM (*Fused Deposition Modeling*) conjuga o método de extrusão de plásticos com a deposição do fundido em camadas. O material de base apresenta-se em forma de fio e é alimentado por uma bobine, utilizando essencialmente materiais termoplásticos como o ABS, policarbonatos e poliamidas, mas pode igualmente processar materiais compósitos ou até “metais”. O material passa através do bico de uma cabeça extrusora que o funde e deposita em camadas muito finas na plataforma elevatória, solidificando sobre a camada anterior. Durante o processo de deposição de material, a cabeça percorre uma trajetória para definir o contorno da camada e depois passa ao preenchimento do seu núcleo. Quando a camada se encontra completamente preenchida, a plataforma que suporta a peça é ajustada em altura e é realizado um novo ciclo de extrusão e deposição para uma nova camada.

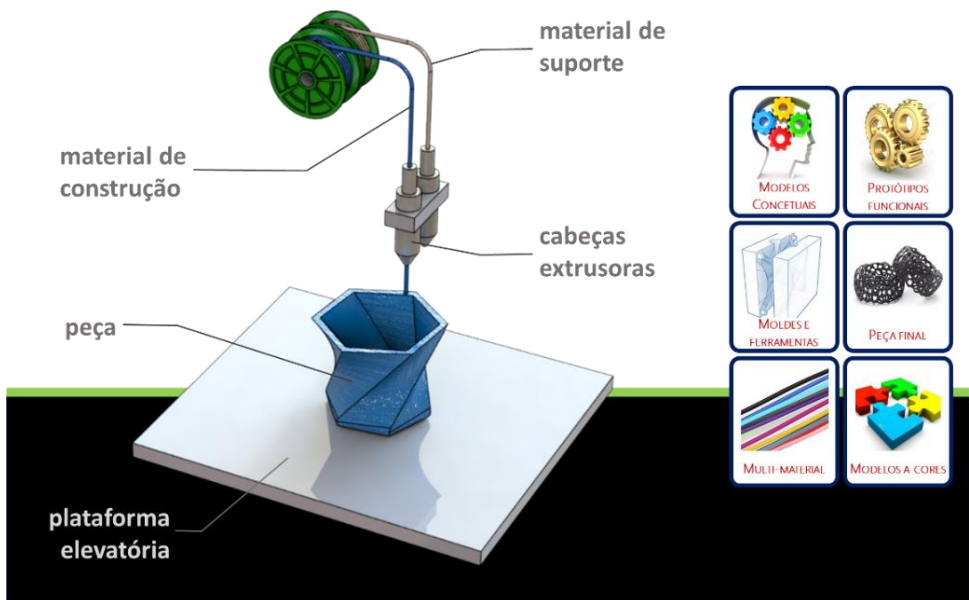


Figura 5.6 – Processo de FDM

O sistema da Solidscape funciona de um modo distinto do sistema da Thermojet. O equipamento da Thermojet utilizava um único tipo de cera, alimentado por uma cabeça com vários injetores colocados em linha, enquanto a cabeça se desloca para a frente e para trás, produzindo uma matriz de pontos. No caso do sistema da Solidscape, este faz a injeção e deposição da cera ponto-a-ponto ao longo de um percurso previamente definido, usando para isso dois injetores, um para a cera estrutural de construção do modelo (cera verde - *green wax*) e outro para a cera dos suportes (cera vermelha - *red wax*). Estes tipos de cera apresentam características diferentes, podendo a cera dos suportes de apoio ser dissolvida e libertar-se do modelo.

A Solidscape foi fundada sob o nome de Sanders Prototype, Inc. em 1994 por Royden C. Sanders. Estava originalmente sediada em Wilton, New Hampshire, e mais tarde mudou-se para Merrimack, New Hampshire, EUA. No outono de 2000, a Sanders Prototype renomeou-se Solidscape, Inc. e desde maio de 2011, a Solidscape é uma empresa do grupo Stratasys®.

5.5.3.1 EXEMPLOS DE PEÇAS DE SOLIDSCAPE

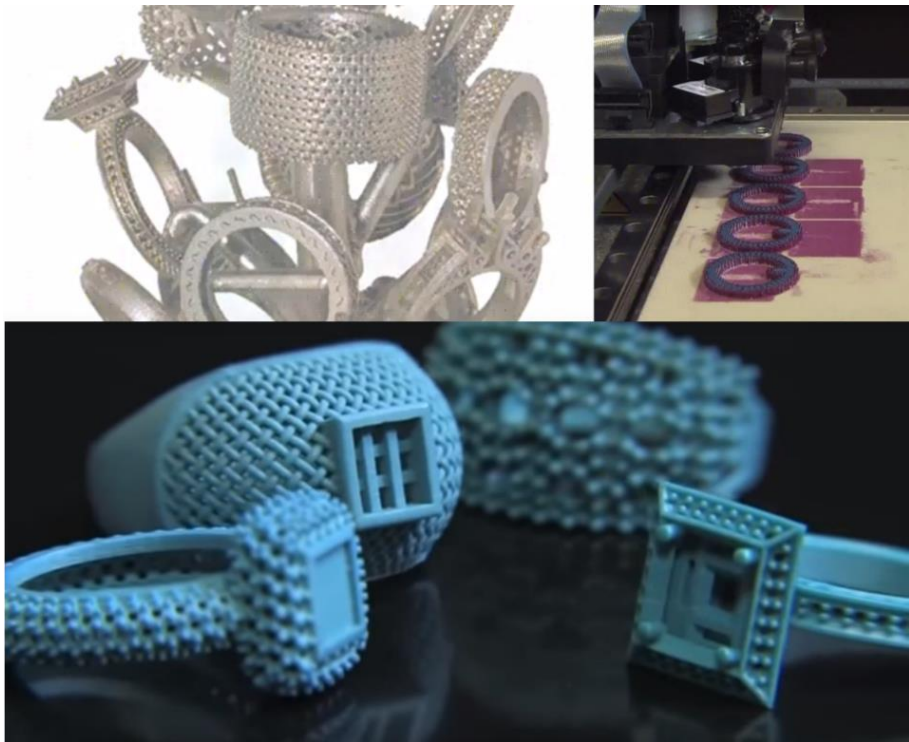


Figura 5.14 - Exemplo de peças de Solidscape

6.1 INTRODUÇÃO À IMPRESSÃO 3D DE METAL

O impacto da impressão 3D de metal na fabricação tornou-se significativamente mais visível na última década. Esta tecnologia pode ser uma alternativa para projetos complexos que a maquinagem ou outros processos produtivos podem não conseguir viabilizar. Atualmente, esta tecnologia oferece materiais com propriedades mecânicas aceites para aplicações aeroespaciais, médicas e outras, conjuntamente com as vantagens específicas do fabrico aditivo: liberdade geométrica e de design únicos.

Os desenvolvimentos em novos materiais e na tecnologia para a produção de peças metálicas totalmente densas por processos aditivos levaram à recente adoção generalizada da tecnologia para a produção de peça final.

Outras considerações passam pela análise das restrições e liberdades de design na impressão 3D em metal, os materiais metálicos disponíveis, o controlo de processo, os acabamentos superficiais e os métodos de tratamento térmico. Aspetos que realmente capacitam os metais a superar os desafios de fabricação convencionais e conseguirem fabricar peças com geometrias bastante complexas e impossíveis de alcançar através de outros meios de produção.



Figura 6.1 – Peça obtida por impressão 3D de metal

7.1 O FABRICO ADITIVO NO FABRICO DE FERRAMENTAS

O impacto do uso de processos de fabrico aditivo (FA) na produção de ferramentas tem registado um aumento progressivo nos últimos anos, apesar dos métodos tradicionais para a fabricação de ferramentas continuarem a ser usados com mais frequência do que o FA. As melhorias tecnológicas do FA têm permitido diminuir os custos e aumentar o número de aplicações, isto considerando que as ferramentas são muitas vezes produzidas para baixos volumes de produção e com geometrias complexas para um uso específico, o que torna o FA cada vez mais atraente como um método de fabricação de ferramentas.

A utilização do FA em ferramentas abrange uma variedade de aplicações, incluindo ferramentas utilizadas em processos de fundição, maquinagem, gabaritos de montagem e acessórios, ou em guias personalizadas de aplicação médica, entre outros. Com uma ampla gama de aplicações, atualmente são muitas as indústrias que adotaram o uso de FA em ferramentas, onde se destacam a indústria automóvel, aeroespacial, de defesa, produtos industriais, produtos de consumo e até mesmo a área médica.

Os materiais atualmente utilizados na fabricação de ferramentas por FA incluem plásticos, borracha, compósitos, metais, cera e areia.

Atualmente, a FA para a fabricação de ferramentas não revoluciona o design do produto, tanto quanto melhora a eficiência e eficácia da cadeia de fornecimento e à medida que a tecnologia de FA continua a melhorar o seu uso e aplicação em ferramentas, esta pode contribuir para melhorar a capacidade de inovação das empresas.

A fabricação de ferramentas por FA oferece uma série de vantagens potenciais, podendo reduzir os prazos de entrega e os custos. E talvez mais importante, as ferramentas fabricadas por FA podem aumentar a personalização e melhorar o desempenho do produto final.

No entanto, ainda existem alguns desafios, e estes incluem a necessidade de um portfólio mais amplo de materiais utilizáveis, equipamentos com um volume de trabalho maior (capacidade de produzir peças e ferramentas maiores), uma melhor formação técnica e habilitação em design e fabricação por FA e melhoria na competitividade e estrutura de custos.

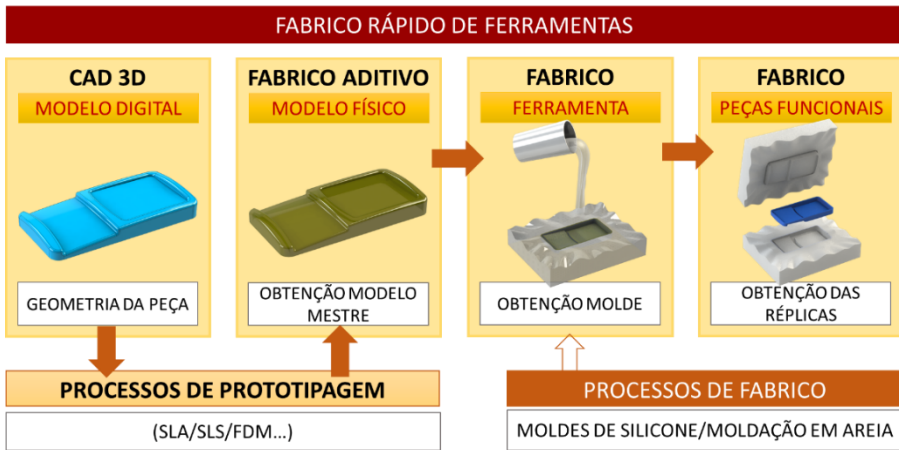


Figura 7.1 – Esquema do conceito de *Rapid Tooling* (RT)

Com a evolução começaram a surgir novos processos de fabrico rápido de ferramentas e nem todos recorriam ao uso de um modelo mestre. Começaram a surgir processos que passavam pela obtenção direta da geometria da ferramenta.

As principais vantagens são: o tempo de obtenção de uma ferramenta rápida é muito menor do que para uma ferramenta convencional, assim como o seu custo é tendencialmente inferior, mas nem todos os processos são totalmente automáticos ou dispensam técnicas manuais.

7.1.2 BENEFÍCIOS DO FABRICO ADITIVO NO FABRICO DE FERRAMENTAS

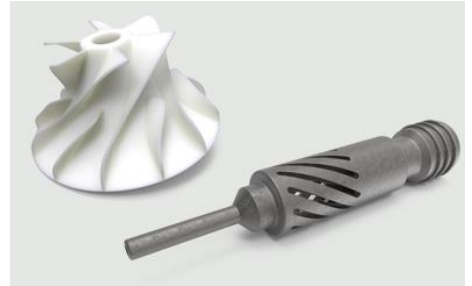
Existem múltiplos benefícios potenciais em usar processos de fabrico aditivo na produção de ferramentas:

1. Redução do tempo de execução
2. Redução de custo
3. Funcionalidade melhorada
4. Maior capacidade de personalizar

Estes componentes acetabulares foram construídos usando a tecnologia de fabrico aditivo de metais de fusão por feixe de elétrons. A técnica permite a impressão 3D de componentes adaptados para pacientes individuais que se submetem à artroplastia da anca. A estrutura trabecular integrada na superfície exterior do componente permite melhorar a integração óssea.



A impressão em 3D é adaptada ao fabrico de peça única para produzir formas orgânicas e peças de produção de uso final, como esta turbina de nylon (esquerda) ou o componente de broca médica de titânio (direita).



(Fonte: <https://www.protolabs.com/resources/design-tips/industrial-3d-printing-for-production-parts/>)



(cortesia renishaw)

Figura 7.15 – Exemplo da Bicicleta construída pela Renishaw para demonstração da tecnologia

8.1 MODELAÇÃO 3D

A impressão 3D permite projetar produtos que não podem ser fabricados de outra maneira. O processo de adição de material, em oposição com o processo de subtração, permite formas mais complexas e intrincadas. Isso permite projetar produtos mais leves e orgânicos.

As atuais ferramentas de modelação 3D permitem produzir desenhos de uma forma mais livre e que podem ser materializadas através da impressão 3D. Por exemplo, a otimização de topologia é uma abordagem projetual recente que permite combinar forma e função através de uma abordagem matemática para otimizar o *layout* do material com base num determinado espaço de design e condições operacionais (condições de contorno e de carregamento).

8.1.1 REDUÇÃO DOS CONSTRANGIMENTOS

Uma vantagem chave do fabrico aditivo é a capacidade de produzir peças que não podem ser obtidas usando técnicas de fabricação tradicionais.

Deste modo, é possível projetar peças com geometrias complexas, como sistemas de fixação integrados, canais longos e estreitos, contornos personalizados e estruturas de malha alveolar. O projeto para FA permite integrar montagens (tudo-em-um) que reduzem o número de peças, o tempo de montagem e a ocorrência de falhas de montagem.

Quando o peso da peça é um critério importante do projeto, o tempo e custo de fabricação aumentará dramaticamente em processos como a maquinagem devido à quantidade de material que é necessário remover. Por outro lado, para os processos de FA, isso pode ser muito vantajoso, pois as peças consomem menos material e demoram menos tempo a serem fabricadas. Também o projeto é mais flexível e sujeito a menos constrangimentos induzidos pelo design para fabrico (DFM) do processo tradicional.

No projeto de peças e ferramentas por processos de fabrico aditivo é possível reduzir algumas das restrições que os métodos de fabrico tradicionais implicam.

8.1.3.3 PEÇAS MAIS EFICIENTES

O FA permitiu remover muitas restrições tradicionais. Por exemplo, reduzir o peso do produto numa peça maquinada não representa necessariamente economia de dinheiro. O tamanho do bloco inicial é geralmente o mesmo, mas terá de ser removido mais material durante o processo de fabrico. Com uma técnica aditiva, a quantidade de material utilizado é diretamente proporcional ao peso da peça: quanto mais pesada a peça, mais caro será o seu fabrico.

Assim, uma peça projetada usando otimização de topologia, permite uma maior economia do custo das matérias-primas, quando alcançar uma massa mínima.

Apesar dos resultados de otimização de topologia apresentarem peças invariavelmente mais leves e permitir economizar tempo no processo de desenvolvimento. Um desafio do projeto é apresentar os resultados da otimização de topologia, de modo a traduzir formas de aparência orgânica em geometrias CAD prontas para fabricação.

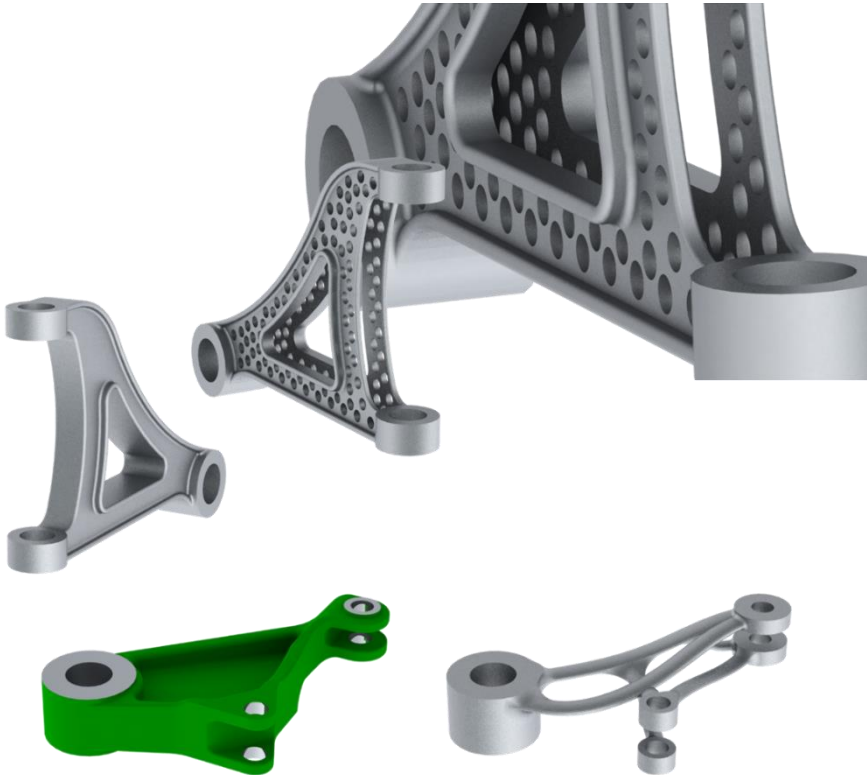
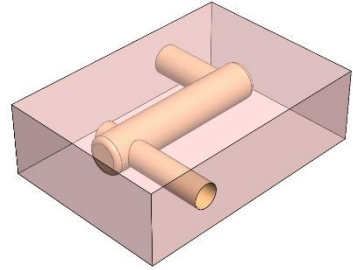


Figura 8.5 – Exemplos de peças “mais eficientes” em resultado da otimização geométrica.

Cavidades confinadas:

Se um modelo de projeto contém cavidades confinadas, não há como remover o material de suporte. Isto é especialmente importante quando se imprimem peças em material transparente, e elementos móveis.

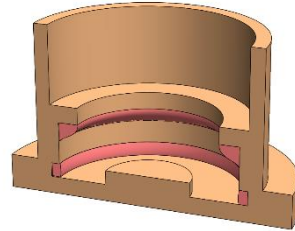
Não são recomendadas cavidades com uma profundidade superior a 50 mm e apenas um ponto de acesso. Limitar as cavidades confinadas e projetar uma ou mais aberturas reduzirão o tempo de limpeza para o material de suporte, reduzindo também o preço de construção.



Cavidades sem acesso

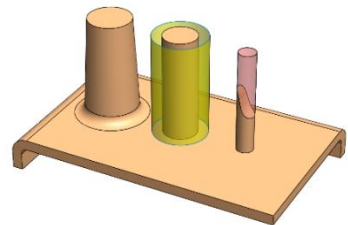
Apesar da impressão 3D poder criar cavidades ou outros elementos geométricos encapsulados e eventualmente sem acesso, o projeto destes elementos pode exigir a construção de estruturas de suporte que podem ficar presas no interior dos componentes depois de pronto.

Numa peça com ângulos internos agudos, as estruturas de suporte podem ficar presas no interior do furo. Uma solução passa por mudar a geometria e dar-lhe um ângulo ao invés de uma mudança abrupta para superfície plana em suspensão, permitindo que essas transições de geometria ocorram de forma fluida (acima de 45°) e elimine os suportes que ficariam presos no seu interior e, por isso, seria difícil ou impossível de os remover.



Pinos

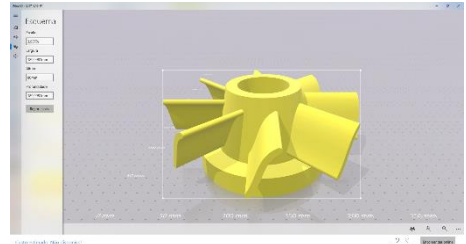
A principal dificuldade ao projetar pinos é o risco dos pinos pequenos partirem-se, portanto quanto maior for a altura do pino, maior é o risco deste quebrar. A solução passa por aumentar o seu diâmetro para reduzir o risco de quebra ou, alternativamente, criar um orifício onde seja colocado um pino metálico.



Print 3D

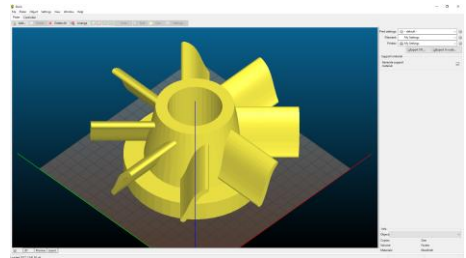
É um aplicativo do Windows (Microsoft) e permite importar ficheiros em formato 3MF, STL, OBJ, PLY e WRL (VRML) e prepará-los para impressão em 3D.

Entre as suas funcionalidades podemos salientar: suporta impressoras Wifi e permite imprimir de qualquer lugar da rede; permite reparar automaticamente problemas comuns que impedem a impressão de objetos 3D; permite a apresentação realista de objetos com base no material selecionado para impressão; apresenta uma estimativa de custos em função da tecnologia e materiais selecionados.



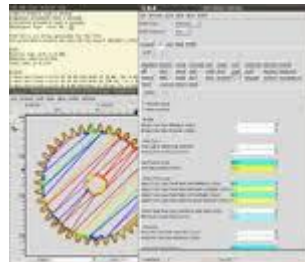
Slic3r

Slic3r é gratuito e suporta Windows, macOS X e Linux. O Slic3r é um gerador de "código G" para impressoras 3D. Tem uma grande comunidade de utilizadores que afirmam que o Slic3r é 100x mais rápido que *Skeinforge*.



Skeinforge

O Skeinforge é um programa gratuito. Trata-se de um programa básico e tal como o *Slic3r* é um gerador de "código G" para impressoras 3D.



9.1 TECNOLOGIA DE MAQUINAGEM CNC

A tecnologia de maquinagem desenvolveu-se com a tecnologia de produção em série iniciada por Henry Ford e as suas linhas transfer e, apesar do enorme desenvolvimento industrial ocorrido até à atualidade, o facto é que a maquinagem continua a ser um processo muito utilizado e o eleito quando os principais requisitos da peça são o rigor da geometria e a precisão dimensional.

A tecnologia de maquinagem é constituída pelo conjunto de processos de corte que permitem a remoção do material da superfície de uma peça através de levantamento de aparta. Os processos de corte mais usuais são: o torneamento, a fresagem, a furacão, a mandrilagem, a roscagem, a serragem e a retificação. Mais recentemente surgiram alguns processos não tradicionais de maquinagem como a química, eletroquímica, corte por laser, corte por jato de água, etc.

Entre as vantagens da utilização da maquinagem podem apresentar-se as seguintes:

- ✓ Pode ser utilizado na produção de protótipos ou de séries reduzidas;
- ✓ Apresenta uma baixa influência na alteração das propriedades do material da peça;
- ✓ Pode ser usado para obter uma superfície com uma qualquer geometria com enorme rigor dimensional, geométrico e com a qualidade de acabamento superficial pretendido;
- ✓ Pode ser aplicado na maioria dos materiais.

A maquinagem é um termo utilizado para descrever o corte por levantamento de aparta. Esta designação abrange um conjunto de processos que podem ser divididos em três categorias:

- ✓ Processos de corte, envolvendo ferramentas de aresta de corte única ou multiaresta;
- ✓ Processos por abrasão, envolvendo abrasivos e operações de retificação;
- ✓ Processos de maquinagem não convencionais que recorre à utilização de processos elétricos, químicos, térmicos e hidráulicos para produzir o levantamento da aparta.

No processo de obtenção de peças por maquinagem por arranque de aparta, a matéria-prima é montada numa máquina (designada por máquina-ferramenta) que por ação de um movimento relativo entre o material e uma ferramenta cortante provoca a remoção do material em excesso sob a forma de aparta, permitindo a conformação progressiva da peça até à obtenção da sua forma final.

O surgimento da tecnologia MAV associada à tecnologia multieixos permitiu a maquinagem de peças em 3+2 ou 5 eixos simultâneos e com elevada complexidade, e impossíveis de realizar em máquinas de 3 eixos. A tecnologia MAV possibilita também a utilização de fresas com dimensões mais reduzidas e mais rígidas, o que permite igualmente eliminar vibrações e melhorar o acabamento superficial, assim como contribui para o aumento de produtividade decorrente da utilização de uma única posição de aperto, permitindo eliminar perdas de tempo na troca da fixação e imperfeições resultantes da mudança de aperto.

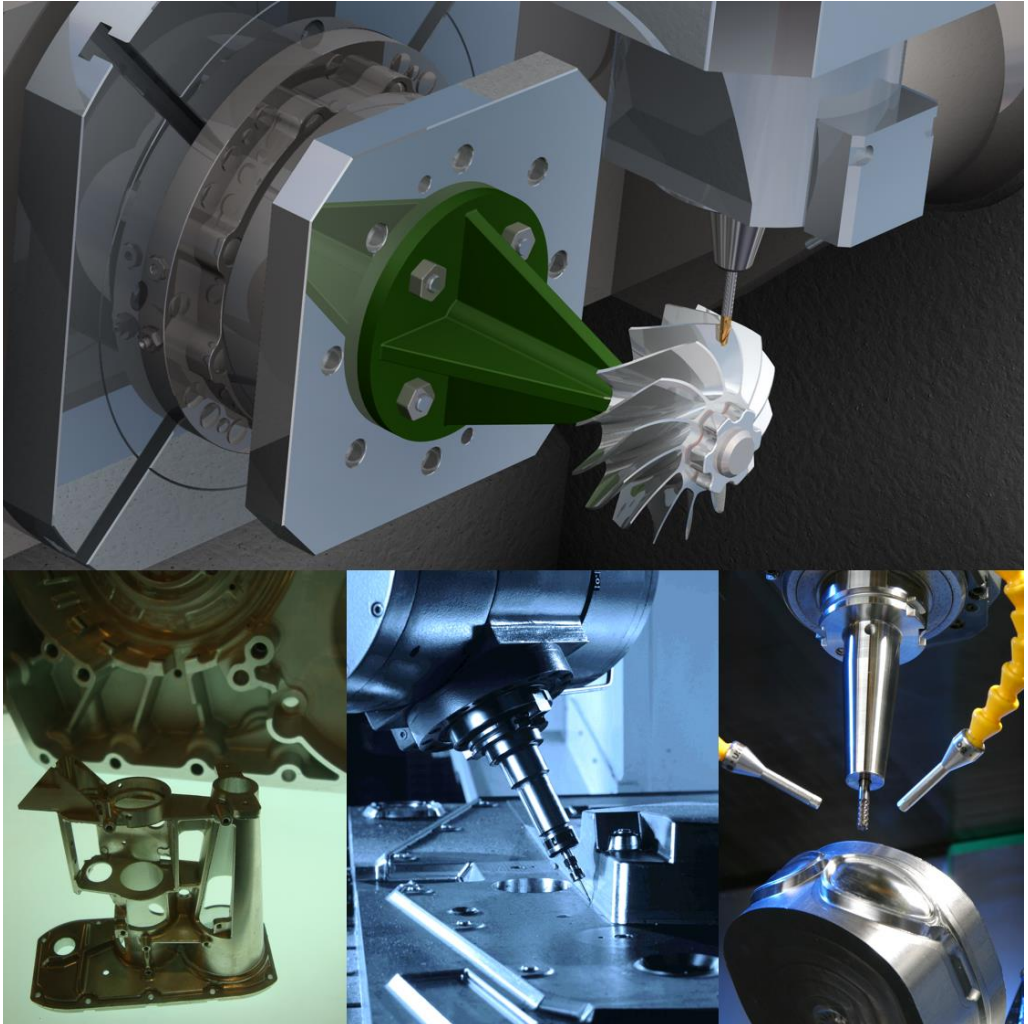


Figura 9.2 - Exemplos de maquinagem de alta velocidade e multieixos

Dispositivos de fixação da peça: Estes dispositivos servem para fixar as peças na mesa de trabalho (fresadoras) ou na árvore principal (torno). Os modos de amarração manual ou automática dependem dos meios de fixação e da sua complexidade. Nos tornos, em geral, é possível programar os movimentos de abertura e fecho da bucha e pressão de fixação. Nas fresadoras, os sistemas de aperto de peças mais usuais são a prensa de fixação manual e a fixação direta à mesa por grampos de aperto.



Figura 9.11 - Bucha de aperto hidráulico



Figura 9.12 - Prensa de fixação manual

Dispositivos de troca de ferramenta: Na maquinagem CNC é necessário a utilização de diversas ferramentas para realização de várias operações com a mesma amarração. Para tal, a troca da ferramenta pode ser realizada manualmente pelo operador da máquina, mas em geral os tornos e os centros de maquinagem possuem dispositivos de troca automática de ferramentas.

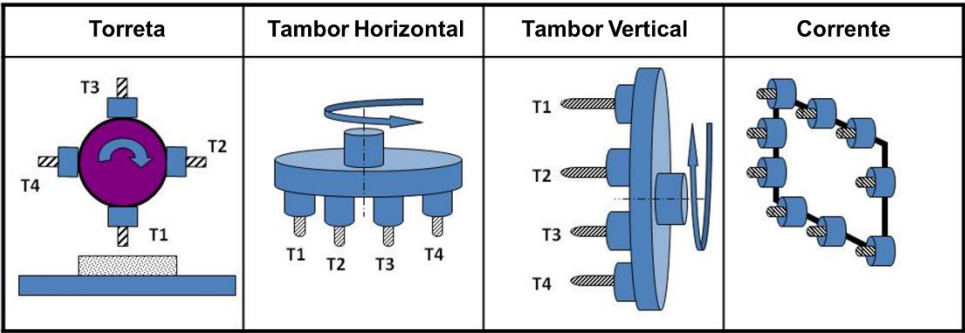
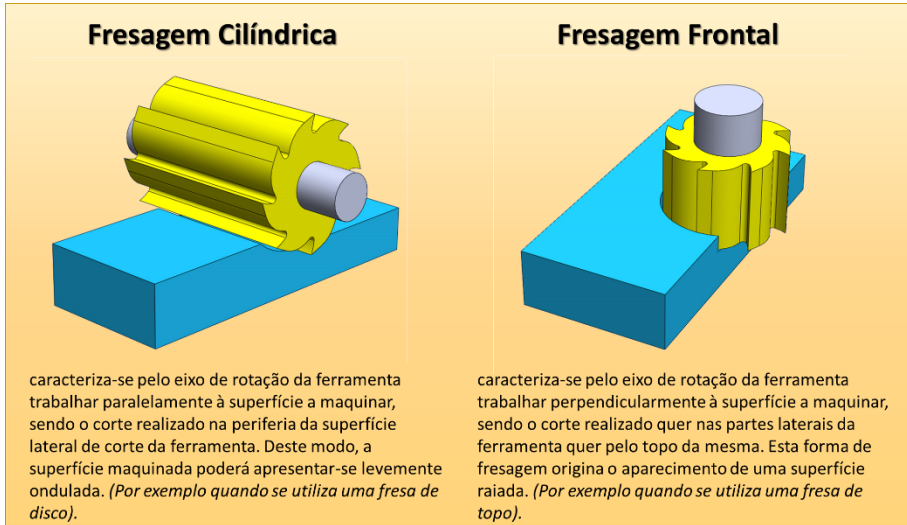


Figura 9.13 - Exemplos de sistemas de troca automática de ferramenta

Eixos rotativos e outros - Existem máquinas CNC que possuem mais de três eixos de avanço, nomeadamente, os Centros de Maquinagem em que além dos três eixos principais podem existir um ou mais eixos rotativos (A, B e C), o que permite que tanto a mesa como o cabeçote possam girar, sendo assim possível maquinar diversos lados da peça com diferentes ângulos.

9.6.1.1 OS PROCESSOS DE FRESAGEM

Na obtenção de uma superfície por fresagem, existem fundamentalmente dois processos:



9.6.1.2 OS MOVIMENTOS DE FRESAGEM

Os movimentos de fresagem são caracterizados pelo movimento da fresa em relação à peça, distinguindo-se dois tipos diferentes. A fresagem discordante em que a fresa gira em sentido contrário ao avanço da mesa e a fresagem concordante onde a fresa gira no mesmo sentido do avanço da mesa.





Multi-Jetting Modelling (tecnologia PolyJet)

Detalhe mínimo: 0.1 mm

Tolerância geral: +/-0.030 mm

Espessura mínima da camada:
0.030 mm

MATERIAL

Resinas fotopolimerizáveis rígidas / opacas /
translúcidas

Resinas fotopolimerizáveis elastoméricas

APLICAÇÕES

Peças e componentes para serem utilizados em ensaios visuais ou semifuncionais.

VANTAGENS

O recurso a materiais compostos permite que estes possam ser combinados de forma a emular as propriedades mecânicas previstas nas especificações do projeto.

Permite obter modelos em materiais elastômeros.

Permite construir modelos numa vasta escala de cinzentos a partir do recurso a materiais rígidos de cor branca e preta.

Permite igualmente a obtenção de modelos com cor.

Permite visualização de estruturas internas através do uso de materiais translúcidos.

Permite reprodução de rosca e fixação de parafusos.

Permite usar materiais diferentes no fabrico de partes distintas, podendo estas serem processadas de uma única vez.

Este equipamento pode ser utilizado em ambiente de escritório, pois as resinas utilizadas vêm em cartuchos selados e as peças são totalmente curadas durante o processo.

O processo permite a obtenção de peças com geometrias complexas.

Produz um bom acabamento superficial, o melhor entre os processos de aditivos.

É a melhor escolha para a obtenção de peças complexas com ligações funcionais, como rosas, e a reprodução de pormenores finos.

Permite a construção de elementos encapsulados.

DESVANTAGENS

Necessidade de suportes em zonas do modelo sem apoio ou não conectadas.

Necessidade de pós-processamento para remoção dos suportes de apoio.

Poucos materiais disponíveis para obtenção de protótipos, limitando o uso apenas às resinas poliméricas.

As peças apresentam fraca resistência mecânica mesmo quando comparada com a SLA.

Os modelos podem-se alterar e deformar ao longo do tempo devido ao comportamento dos materiais, nomeadamente por exposição à luz.

10.2 MATERIAIS METÁLICOS

DMLS - Sinterização
direta de metais por
laser

Detalhe mínimo: 0.3 mm

Tolerância geral: +/-0.05 mm

Espessura mínima da camada:
0,1 mm

APLICAÇÕES

Peças e componentes para serem usados em ensaios de funcionalidade.

Ferramentas a serem utilizadas em ensaios e produção de pré séries.
Produção de modelos médicos.

VANTAGENS

Elevada durabilidade.

Boa resistência mecânica das peças obtidas por este processo.

Menor tempo de fabricação quando comparado ao processo de *RapidTool* uma vez que não necessita das etapas de pós-processamento.

Obtenção de peças com boa precisão dimensional, com tolerâncias inferiores a 0,05 mm.

DESVANTAGENS

Essencialmente só permite a obtenção de peças de pequena dimensão.

Rugosidade elevada e necessidade de polimento.

Necessidade de acabamento por maquinagem em alguns casos.

No processo de *conformal cooling channels* existem limitações devido à difícil remoção do pó não sinterizado em canais com maior complexidade.

O uso de ligas de bronze como material do molde limita a sua utilização somente a baixas pressões de injeção.

Custos de utilização elevados.

A manipulação do pó constitui risco para a saúde (inalação).

MATERIAIS

Alumínio;

Aço inox (304-316)

10.4 LISTAGEM DE SOFTWARES GRATUITOS

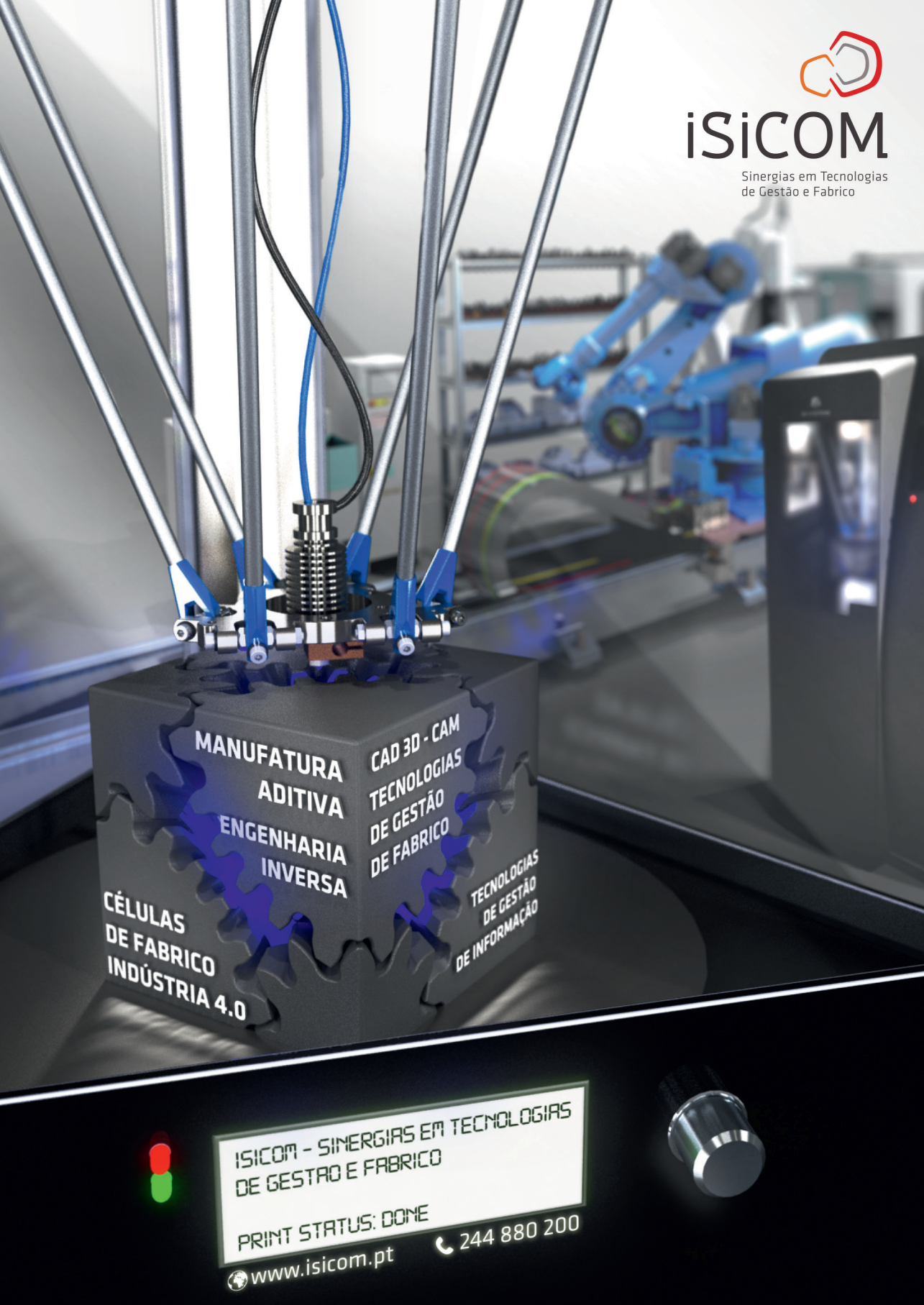
CAD 3D/Reverse Engineering	
Blender	free
FreeCAD	free
OpenSCAD	free
Sculptris	€0
Tinkercad	€0
123D Design	€0
123D Sculpt	€0
123D Creature	€0
Onshape	€0
Autodesk Fusion 360	€0

Printer Control	
ReplicatorG	free
PronterFace	free
RepetierHost	free
Octoprint	free
Afinia 3D	€0



iSiCOM

Sinergias em Tecnologias
de Gestão e Fabrico



MANUFATURA
ADITIVA
ENGENHARIA
INVERSA

CAD 3D - CAM
TECNOLOGIAS
DE GESTÃO
DE FABRICO

TECNOLOGIAS
DE GESTÃO
DE INFORMAÇÃO

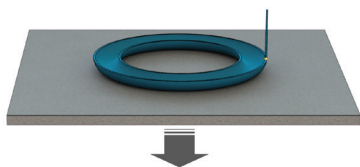
CÉLULAS
DE FABRICO
INDÚSTRIA 4.0

ISICOM - SINERGIAS EM TECNOLOGIAS
DE GESTÃO E FABRICO

PRINT STATUS: DONE

 www.isicom.pt

 244 880 200



O MUNDO DA IMPRESSÃO 3D E O FABRICO DIGITAL

Sobre a obra

A impressão 3D é o aspeto mais conhecido do fabrico digital e está a revolucionar as nossas vidas e a romper com o que hoje estabelecemos para o processo de design e fabrico. Esta tecnologia pode ser usada para criar protótipos, peças simples ou produtos finais altamente sofisticados, como peças de engenharia, implantes médicos e até órgãos artificiais.

Com a impressão 3D é possível sonhar, projetar e construir em qualquer lugar ou circunstância, até na nossa própria casa, bastando um computador e uma impressora.

O livro “o mundo da impressão 3D e o fabrico digital” apresenta a tecnologia de impressão 3D e todo o seu potencial, a história e o seu aparecimento, os processos, materiais e equipamentos. Também não foram esquecidos os aspetos mais técnicos, nomeadamente os relacionados com as recomendações de fabrico e preparação do modelo digital para garantir a obtenção de bons resultados. Porque quando se fala de fabrico digital, fala-se também de maquinaria CNC e de maquinaria de alta-velocidade que ainda são os processos de eleição na indústria.

Sobre o autor

Carlos Alberto Moura Relvas é Doutorado em Engenharia Mecânica e Professor Auxiliar no Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro.

Tem desenvolvido atividade científica e pedagógica na área de conceção e fabrico assistidos por computador, engenharia e desenvolvimento de produto e fabrico aditivo. É autor e coautor de 3 livros técnicos, nomeadamente Controlo Numérico Computorizado: conceitos fundamentais (2012), Engenharia e Design: da ideia ao produto (2017) e Design&Engenharia (2017). Tem mais de 40 artigos publicados em revistas internacionais e mais de 100 outras publicações e comunicações em congressos. Orientou mais de 30 dissertações de mestrado na área de desenvolvimento de produto e participou em mais de 20 projetos de investigação e desenvolvimento.

É responsável pelo Laboratório de Desenvolvimento de Produto e Prototipagem Rápida no Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro, desde 2008, onde tem desenvolvido investigação na área do fabrico digital e no uso de metodologias e utilização de ferramentas estruturadas no desenvolvimento de novos produtos. Foi o primeiro diretor do curso de mestrado em engenharia e design de produto da Universidade de Aveiro, criado em 2011.

Media Partner

REVISTA TÉCNICO-CIENTÍFICA



Apoio à Edição



Também disponível em formato papel



ISBN E-Book

978-989-723-268-8

www.engebook.com

engebook