



METALSHOE
FABLAB NETWORK

03

— Referencial Técnico

SISTEMAS CAD



centro de apoio tecnológico
à indústria metalomecânica



centro tecnológico
do calçado de portugal



UNIÃO EUROPEIA
Fundo Europeu
de Desenvolvimento Regional



METALSHOE
FABLAB NETWORK

03

www.metalshoefablab.pt

Referencial Técnico

SISTEMAS CAD

Ficha técnica

Título

03 Referencial Técnico - Sistemas CAD

Coordenação

Cristina Marques e Vânia Pacheco

Projecto gráfico e paginação

SALTO ALTO ctcip criativo

Textos

Florbela Silva

Pedro Duarte

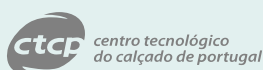
Luís Rocha

Com o apoio de

MIND - Software Multimédia e Industrial, S.A.

maio 2022 . TODOS OS DIREITOS RESERVADOS

Versão 01



Este referencial foi desenvolvido no âmbito do projeto Metalshoe Fablab Network
Operação N.º NORTE-02-0853-FEDER-037621

ÍNDICE

Lista de Acrónimos	4
Introdução	5
Estado da arte	7
Programas CAD	13
Enquadramento no projeto MetalShoe FabLab Network	28
Bibliografia	30

Lista de Acrónimos

CAD	Computer-Aided Design
CAE	Computer-Aided Engineering
CAM	Computer-Aided Manufacturing
CATIM	Centro de Apoio Tecnológico à Indústria-Metalomecânica
CNC	Computer Numeric Control
CTCP	Centro Tecnológico do Calçado de Portugal
PCB	Printed Circuit Board
PLM	Product Lifecycle Management
PTC	Parametric Technology Corporation
TI	Tecnologias de Informação

INTRODUÇÃO

No âmbito do projeto MetalShoe FabLab Network, apoiado pelo NORTE2020 e promovido pelo Centro Tecnológico do Calçado de Portugal (CTCP) e pelo Centro de Apoio Tecnológico à Indústria Metalomecânica (CATIM), foi prevista a publicação de um conjunto diversificado de referenciais técnicos que abordam as diferentes tecnologias, soluções e ferramentas a disponibilizar nos espaços laboratoriais preparados no âmbito do projeto.

O projeto MetalShoe FabLab Network surge num contexto marcado pela emergência de um novo paradigma associado ao desenvolvimento de produtos inovadores, quer por via dos materiais que incorporam, quer por via das tecnologias que utilizam, e tem como objetivo capacitar e acompanhar as empresas na resposta aos novos desafios que se colocam aos seus processos, produtos e serviços, permitindo-lhes acompanhar as tendências, criar valor acrescentado e, sobretudo, manter/aumentar a sua competitividade.

O presente referencial centra-se na tecnologia associada aos programas CAD, e visa, sobretudo, apresentar a tecnologia, a sua história, os programas CAD mais utilizados e também as suas vantagens versus limitações.

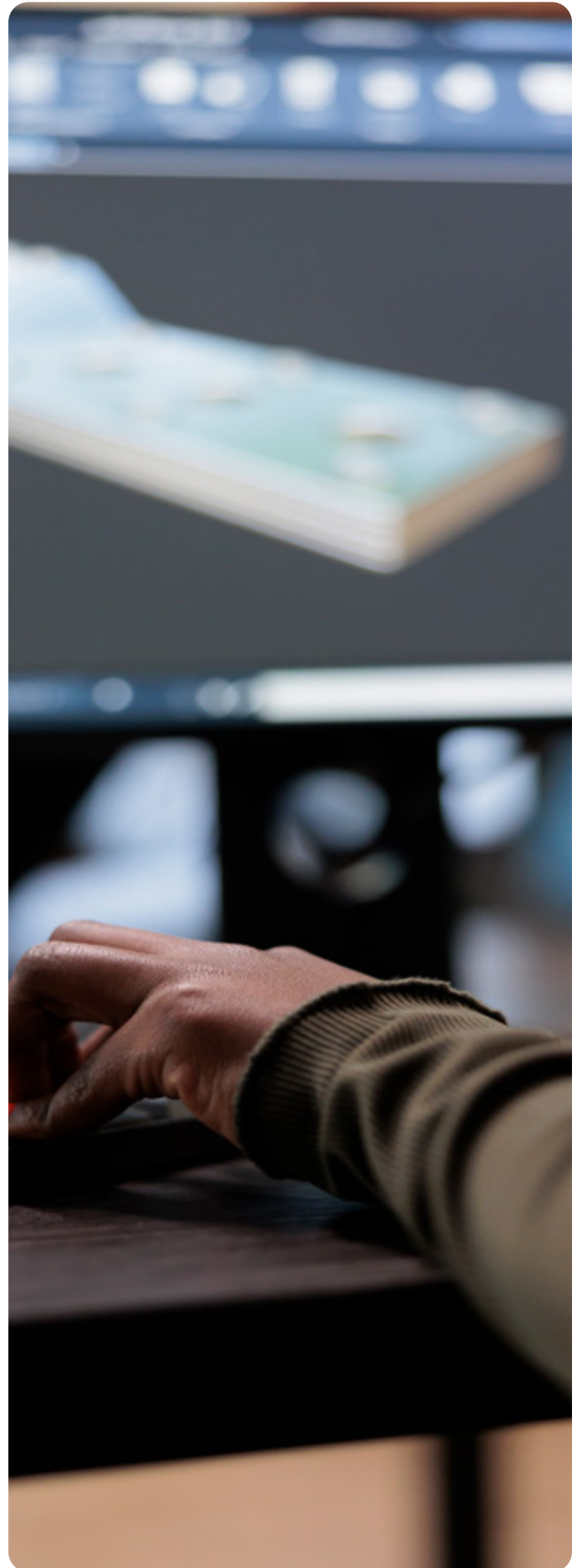
Os programas CAD, que significa Computer-Aided Design ou, em português, “desenho assistido por computador”, permitem criar, desenvolver e representar modelos virtuais nos mais diversos ambientes e estruturas, para as mais diversas aplicações, como por exemplo protótipos virtuais e/ou físicos.

Os primeiros programas CAD foram introduzidos no mercado no início da década de 80, contudo o desenvolvimento inicial surgiu na década de 50 em empresas do setor automóvel, como consequência da evolução registada ao nível das tecnologias de informação (TI) [1]. Em 1957 a indústria começou a conhecer e a interagir com estas ferramentas, por via do surgimento do sistema CAM (Computer-Aided Manufacturing) desenvolvido por Patrick Haranthy, conhecido como o precursor dos sistemas CAD/CAM [2]. Na década de 60, Ivan Sutherland desenvolveu um programa chamado “Sketchpad”, sendo um dos primeiros sistemas de computação gráfica utilizado para representar ideias num formato digital. O programa permitia traçar pontos nos eixos x e y, para ligar esses pontos, permitia criar linhas e formas bidimensionais (2D). Assim, este sistema constitui um marco na história das TI e na computação gráfica, sendo considerado o primeiro programa de CAD [3]. Os primeiros CAD foram desenvolvidos para setores industriais específicos, como são o caso do setor aeronáutico e automóvel.

Foi apenas no final da década de 70 que surgiram os primeiros programas CAD comercializáveis, os quais forneciam funções para desenhos 2D e dados de arquivo [4]. Já nos anos 80, ocorreu a transição de desenhos 2D para modelos 3D, contudo, os programas CAD 3D comercialmente bem-sucedidos só foram introduzidos mais tarde [4]. A introdução de modelos 3D de superfície e sólidos resultou numa evolução dos métodos de desenho, desde desenhos estáticos, bidimensionais, até modelos de produtos geométricos, virtuais, dinâmicos e tridimensionais. Em 1982, foi fundada a empresa Autodesk que lançou o programa AutoCAD, um dos pioneiros CAD, e mais tarde, no fim da década de 80 e início dos anos 90, a tecnologia CAD 3D chegou aos computadores pessoais, na altura desenvolvidos pela IBM. Em 1995 a empresa Dassault Systèmes lançou o programa SolidWorks, revolucionando o mercado por se tratar de um sistema capaz de criar desenhos tridimensionais, podendo ainda ser utilizado no sistema operacional Windows.

Após a introdução no mercado, quer para uso em ambiente industrial quer para computadores pessoais, registou-se uma adesão progressiva a esta tecnologia por um grande número de profissionais de variados setores. Isto permitiu a transição para um modelo computacional, digital da parte técnica que anteriormente seria desenvolvida de forma manual em papel, sendo um processo complexo e moroso.

Nas secções seguintes deste referencial, é apresentada uma descrição técnica das ferramentas CAD, uma apresentação de vários programas CAD para diversas aplicações e um enquadramento destes sistemas com o projeto MetalShoe FabLab Network.



ESTADO DA ARTE

O CAD pode ser definido como a aplicação de um sistema computacional para auxiliar a concepção, alteração, análise e otimização de um projeto, e que envolva qualquer tipo de atividade relativa a desenho de modelos virtuais, seja em 2D ou 3D [5] [6]. O processo do desenho é um procedimento iterativo que se inicia com um esboço inicial, baseado nas informações existentes sobre o produto, geralmente a aplicação e funcionalidade do mesmo. Este desenho é depois desenvolvido e melhorado à medida que mais informações são adquiridas, por exemplo, o processo produtivo, o número de objetos a produzir, entre outras. É importante referir que o desenho CAD pode ser feito na forma de superfícies, sólidos ou simplesmente na forma de arestas e vértices [5].

Além do desenvolvimento do desenho do objeto, os programas CAD permitem ainda:

- montagem dos vários componentes constituintes de um determinado produto, permitindo assim a confirmação e verificação do design como um todo, tendo em consideração determinadas especificações (por exemplo tolerâncias dimensionais e funcionalidade);
- criação de documentação técnica;
- geração de desenhos 2D a partir de modelos tridimensionais, como por exemplo os planos técnicos com as várias vistas;
- modelação de superfícies e sólidos Freeform;
- importar e exportar modelos em diferentes formatos virtuais para diversos programas complementares e/ou equipamentos;
- simular e analisar os modelos virtuais sob as condições de aplicação e funcionamento, sendo necessário o uso de um sistema CAE (Computer-Aided Engineering);
- rápidas iterações em mudanças de design e o seu impacto na performance, analisado por CAE.

De acordo com Narayan [5], as principais razões para se implementar sistemas CAD incluem:

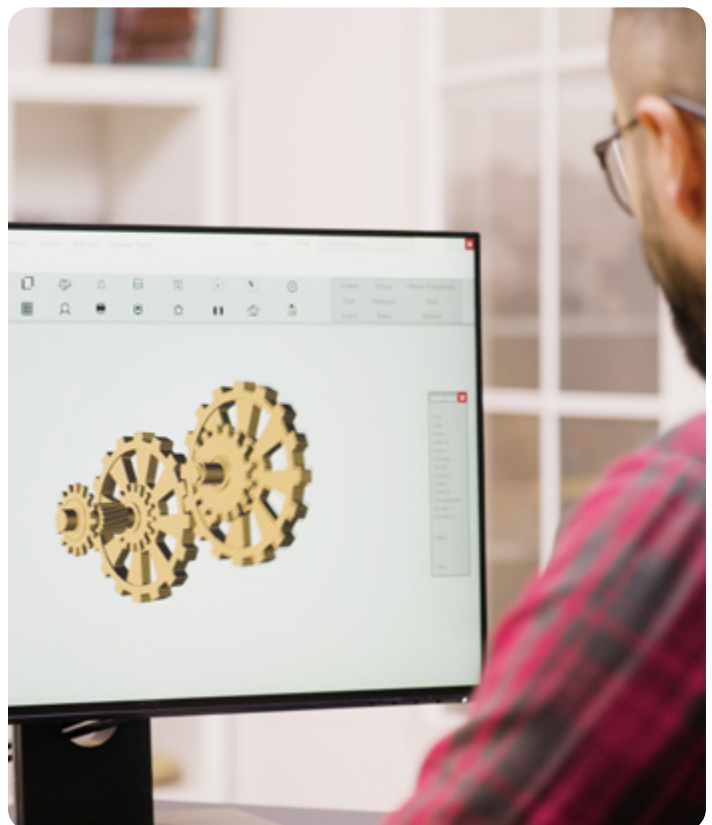
1. aumentar a produtividade das equipas de design e desenvolvimento do produto, permitindo visualização do objeto e os seus componentes, bem como prever a sua assemblagem;
2. melhorar a qualidade do desenho, dado que o programa CAD permite fazer continuamente análises para encontrar eventuais erros de design que poderão ser rapidamente corrigidos;
3. melhorar a comunicação entre diferentes departamentos ou entre designers através dos desenhos, uma vez que os programas CAD permitem normalizar desenhos, diminuir erros nos desenhos e melhorar a legibilidade, ao contrário de esboços e desenhos feitos manualmente;
4. criação de uma base de dados para apoio à produção, uma vez que os programas permitem criar um conjunto de informações que poderão ser usadas na produção do objeto recorrendo a tecnologias digitais, como a maquinaria CNC (Computer Numeric Control) ou programação robótica.

O uso de sistemas CAD tem vários benefícios, sendo alguns deles intangíveis, como a melhoria da qualidade de trabalho e do fluxo de informação, e outras tangíveis, apresentadas em seguida [5]:

- 1.** Aumento de produtividade durante o desenvolvimento do desenho: os sistemas CAD ajudam no aumento de produtividade através da redução do tempo de desenvolvimento de produto;
- 2.** Prazos de entrega mais curtos: o processo iterativo na fase de desenho, leva a uma orçamentação mais rápida e por consequência, todo o processo desde a criação até à entrega é encurtado;
- 3.** Análise de desenho: as rotinas de análise de desenho presentes nos programas CAD levam a uma otimização do desenho e correção de possíveis falhas no desenho;
- 4.** Menos erros de desenho: os programas CAD têm inerente o aviso de alerta de possíveis erros para rápida correção no desenho do objeto;
- 5.** Flexibilidade do desenho: os sistemas CAD oferecem normalmente a flexibilidade de desenho, por permitir tratar de desenhos com características repetitivas para diferentes modelos, como são o caso os modelos de calçado de diferentes tamanhos;
- 6.** Normalização de desenho, esboço e documentação técnica: a normalização dos desenhos à medida que são produzidos, permite o uso de módulos em desenhos posteriores, melhorando a visualização dos modelos ou a informação relativa aos mesmos, como por exemplo, o uso da mesma seleção de materiais;
- 7.** Melhor compreensão dos desenhos: o uso de ferramentas de visualização 3D e de modelação de sólidos torna cada vez mais fácil ter a per-

cepção de todas as características dos modelos desenhados, sem ter de recorrer à imaginação do objeto tridimensional a partir dos desenhos 2D;

- 8.** Procedimentos de alterações de engenharia melhorados: o uso de ferramentas CAD permite manter um histórico dos desenhos e relatórios do mesmo, e criar as alterações necessárias aos desenhos, sem com isso perder as versões anteriores;
- 9.** Benefícios na produção, incluindo:
 - Desenho de ferramentas e acessórios para produção;
 - Planeamento produção assistido por computador;
 - Inspeção assistida por computador;
 - Preparação de programas de controlo numérico para produção de objetos em equipamentos CNC;
 - Preparação de procedimentos de montagem e de orçamentação;
 - Identificação e classificação de objetos;
 - Controlo e planeamento de produção;
 - Planeamento de sequência de montagem.

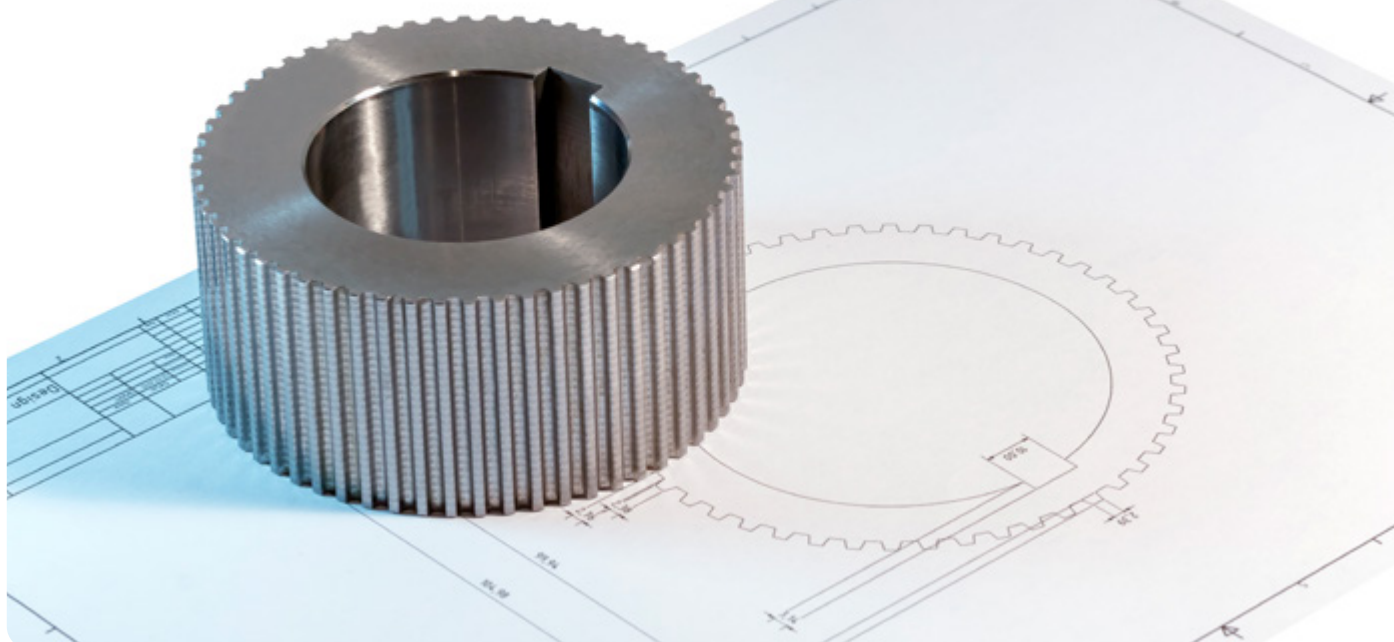


Apesar de todas as vantagens e potencialidades do CAD já apresentadas, é também de referir algumas possíveis limitações, nomeadamente:

- o custo associado à aquisição do software e hardware. Apesar de já existirem alternativas gratuitas, alguns programas CAD poderão ter custos elevados normalmente devido às suas funcionalidades extra comparativamente a outros programas, bem como dos equipamentos informáticos necessários;
- a oferta de formação dos utilizadores é limitada e pode ter um custo elevado. Contudo, cada vez mais, instituições de ensino superior introduzirem conteúdos relacionados com as ferramentas CAD nos seus planos curriculares;
- as atualizações e novas versões dos programas, que normalmente trazem novas ferramentas e requerem novas sessões de formação ou o investimento de tempo por parte dos utilizadores para aprenderem por si mesmos;
- a inadequação de programas CAD à conceção de determinados produtos. Por exemplo, sistemas CAD paramétricos que não são adequados à conceção de objetos com formas orgânicas;
- possível dificuldade da integração dos sistemas CAD com o restante software das empresas, por exemplo, para controlo de produção ou para as lojas online.

Verifica-se também uma série de vantagens associadas aos **sistemas tridimensionais**, em relação aos **bidimensionais**, entre elas, uma melhor visualização do objeto, a identificação das propriedades geométricas, a obtenção de projeções ortogonais, a transferência de informação do modelo para o sistema de produção, e ainda a visualização e animação realistas. Através do modelo 3D, é possível visualizar o objeto nas várias perspetivas. É idênticamente possível visualizar facilmente as transparências, o que permite uma melhor perceção do interior do modelo e da articulação dos seus componentes.

Ao longo dos últimos anos surgiram algumas iniciativas, conhecidas por Opensource e Freeware, que permitem o acesso a ferramentas CAD de forma gratuita e no caso do Opensource permite ainda o desenvolvimento do próprio programa gratuitamente, para diversos fins. Estas ferramentas podem ser utilizadas de duas formas: ou instaladas no computador do utilizador, ou utilização web-based em que não é necessário instalar o programa. Uma das vantagens deste tipo de soluções está relacionada com o facto de serem gratuitas e normalmente não têm requisitos técnicos tão exigentes como os programas CAD referidos anteriormente (como por exemplo processador, memória RAM e placa gráfica). Uma desvantagem está relacionada com a funcionalidade destas ferramentas, sendo que normalmente é mais limitada.



Por fim, algumas organizações já possuem sistemas CAD como ferramentas de desenho e, para além disso, já exploram novas formas de aplicação e ferramentas associadas, como CAE e CAM. Subsequente ao CAD, o CAM, relacionado com fabricação digital, é um processo assistido por computador que ajuda a preparação da manufatura, representando as tecnologias usadas na produção como, por exemplo, as máquinas de controlo numérico (CNC), amplamente utilizadas para produzir formas ou elementos que irão compor fisicamente os projetos idealizados.

Adicionalmente, o CAE permite a simulações de engenharia através de por exemplo análise da dinâmica de fluidos (CFD – Computational Fluids Dynamics), dinâmica de multicorpos (MBD – Multi Body Dynamics), análise finita de elementos (FEA – Finite Element Analysis) e análise de ciclo de vida de um produto (PLM – Product Lifecycle Management), facilitando assim o desenvolvimento de produto. Adicionalmente às funcionalidades descritas acima, há ainda a possibilidade de ligar diretamente processos de impressão 3D ao CAD.

No entanto, normalmente o módulo de slicing de um programa CAD é generalista, não específico para alguma impressora em particular, é necessário despende algum tempo para configurar corretamente os parâmetros de impressão. Alguns programas de CAD permitem ainda a sua ligação a um scanner 3D, que servirá como input de informação, e sendo uma ferramenta de engenharia inversa. Para isto, muito contribuem os tipos de ficheiros digitais normalizados que possibilitam a sua leitura nos mais diversos programas, como são o caso de ficheiros .stl, .step, .obj, entre muitos outros.

Engenharia inversa:

Corresponde ao desenvolvimento de um modelo CAD 3D a partir de uma peça ou componente já existente. Os métodos normais de engenharia inversa envolvem tipicamente medições manuais da peça em questão utilizando ferramentas de medição (exemplo paquímetros ou fitas métricas). As peças de maiores dimensões podem incluir a utilização de modelos em materiais de modelação física (cartão ou outros materiais). As medidas manuais são utilizadas para dimensionar esboços manuais que são posteriormente introduzidos num programa CAD 3D. Este é um processo demorado e trabalhoso. Também a ocorrência de erros é normal, particularmente em peças com formas muito complexas que não podem ser facilmente medidas manualmente.

A digitalização 3D melhora significativamente o processo de recolha de dados, capturando facilmente milhões de pontos de dados, mesmo em superfícies de elevada complexidade. Estes dados são posteriormente triangulados numa malha poligonal (MESH), ou ficheiro STL, fornecendo a informação a partir da qual o modelo CAD 3D final será afinado/desenvolvido. Este processo de digitalização pode encontrar alguns desafios nomeadamente na reflexão da luz na superfície da peça a ser digitalizada. Esta limitação pode ser mitigada através da aplicação de um revestimento opaco, normalmente em forma de pó, na superfície da peça reduzindo o brilho e reflexos. Posteriormente, eventuais imperfeições poderão ser posteriormente corrigidas em ferramentas CAD. A Figura 1 exemplifica o processo de digitalização de um modelo.



Figura 1
Do objeto ao modelo 3D [7]

Relativamente ao desenvolvimento do produto e prototipagem, o CAD vem tornar este processo mais célere, ainda mais se integrado com tecnologias de prototipagem rápida como a manufatura subtrativa e aditiva (impressão 3D), onde rapidamente se passa de um objeto virtual para um objeto físico para fins de validação de design, verificação dimensional, verificação funcional entre outros.

A recente adoção, pela indústria, do conceito de Gémeo Digital (ou em inglês Digital-Twins) [8], enquanto versão digital de um objeto, ou de um sistema existente no mundo real, permite aos utilizadores simularem e perceberem como é que alterações nesse sistema afetarão a entidade física real. Neste contexto, os sistemas CAD surgem como uma ferramenta imprescindível para o estabelecimento e implementação deste conceito de Gémeo Digital [9]

Caso específico do calçado

No caso específico da indústria do calçado e marroquinaria, como é facilmente entendido, as empresas são extremamente dependentes do design do produto, no caso, sapatos e acessórios de moda. Tradicionalmente, o design é feito manualmente, muitas vezes desenhado na forma que dará o corpo ao produto, passando depois por uma etapa de planificação. Nesta etapa todo o desenho é feito a duas dimensões, e que servirá para etapas posteriores como o corte dos componentes das gáspeas. No entanto, por se tratar da transformação de um desenho a duas dimensões para um modelo tridimensional, é necessário fazer compensações dimensionais, tendo em conta as deformações que os componentes serão sujeitos, para que no final tenham o design e a estética pretendida.

Com o aparecimento de computadores, muitas empresas de calçado começaram a usar alguns programas CAD 2D para desenhar os seus produtos, possibilitando ainda a comunicação direta com equipamentos produtivos, como máquinas de corte automático.

Ainda que o desenho 2D seja o mais usado pelas empresas do calçado, há uma tendência natural para o desenho em CAD 3D, que potencia o uso de modelos virtuais para iterações rápidas ao nível do design entre designers, clientes e produtores.



Numa perspetiva mais inovadora, permite até ao cliente final a visualização do modelo virtual, com a possibilidade de alterar detalhes de design ou personalizar o seu calçado, sem que para isso tenha de ter um objeto físico.

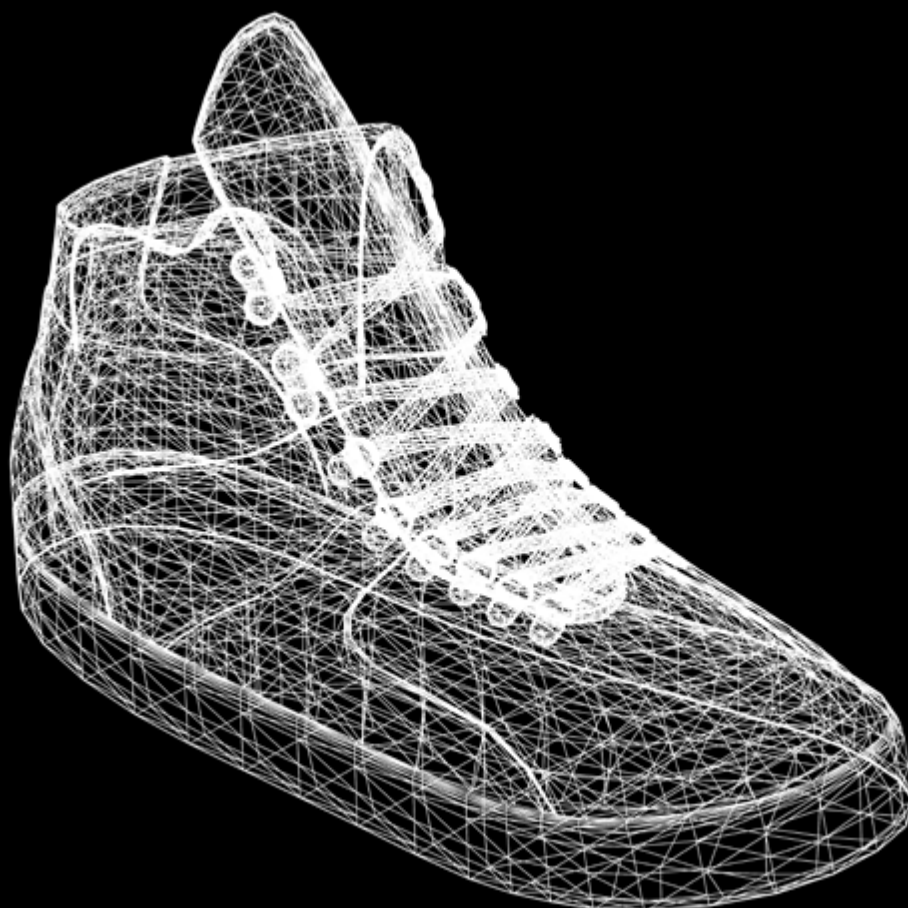
Neste sentido é natural a adoção de sistemas de CAD 3D por parte das empresas da indústria do calçado. Tendo em conta a especificidade do design de sapatos, começaram a surgir programas de CAD 2D e 3D direcionados para a indústria do calçado.

Sumarizando, para os responsáveis pela integração dos sistemas CAD, é crucial partir do conhecimento dos principais CAD disponíveis no mercado. A seleção do programa mais adequado está associada a diversos fatores. Em primeiro lugar, é importante definir o tipo de solução pretendida, ou seja, CAD 2D, CAD 3D por superfícies ou CAD 3D

por sólidos, seguindo-se a necessidade de conhecer quais os programas CAD e interfaces utilizados pelos clientes e fornecedores de forma a assegurar a compatibilidade de ficheiros [10].

Um outro fator muito importante que dita, em muitos casos, a escolha de determinado programa CAD em detrimento de outros, está relacionado com o ecossistema empresarial em que determinada empresa, ou profissional, estão inseridos. Por exemplo, os profissionais ou empresas que produzem/fornecem componentes para as empresas do setor automóvel, acabam por optar pelas escolhas internas destes clusters em termos de normas e ferramentas digitais (CAD, CAM, CAE, PLM, etc.).

Perante esta diversidade e multiplicidade de opções, as empresas e profissionais têm cada vez mais dificuldade em selecionar a ferramenta que mais se adequa à sua atividade.



Neste contexto é importante destacar o papel dos FabLab, que correspondem a espaços laboratoriais onde as empresas podem conhecer, aceder, testar e validar tecnologias e conhecimento específico, como é caso das ferramentas CAD.

Programas CAD

Tal como descrito anteriormente, as potencialidades e limitações dos programas CAD são diversas, e não é então de estranhar que haja um leque alargado em termos de oferta de programas CAD no mercado, com diferentes funcionalidades, aplicações e custos. Assim apresenta-se em seguida um conjunto de programas CAD, separados em 4 grupos (Transversais a diferentes aplicações e indústrias, Opensource e/ou Freeware, e para aplicações específicas como os PCBs e o setor do Calçado).

1 TRANSVERSAIS

SolidWorks
Fusion 360
CATIA
NX
Creo
Rhinoceros
Inventor
AutoCAD

2 OPENSOURCE E/OU FREEWARE

LibreCAD
FreeCAD
TinkerCAD
Salome
Onshape

3 PCB

KiCAD
Fritzing
LibrePCB

4 CALÇADO

ICad3D+
MIND CAD

1 Transversais

Seguindo as áreas de atuação setorial e a envolvente de parcerias com a indústria, decorrentes do projeto MetalShoe FabLab Network, seguem alguns exemplos de programas CAD profissionais e transversais a diferentes aplicações e indústrias:

SOLIDWORKS

O programa SolidWorks é um dos mais completos do mercado, com soluções para a comunidade Maker e rede de FabLabs, educação e academia (alunos, professores e investigadores) e para indústrias tão variadas como aeroespacial e defesa, construção, desenho de equipamento industrial, ciências da vida, indústria marinha, transportes e mobilidade e até para start-ups, entre muitas outras [11]. Além de desenho, apresenta também funções de CAE e CAM para simulações de engenharia e controlo de manufatura. Adicionalmente, o SolidWorks oferece pacotes com as mais diversas aplicações: SolidWorks Plastics, uma ferramenta para simulação de peças plásticas e moldes de injeção, SolidWorks Electrical Professional, para projetos de instalação elétrica, DELMIAWorks Manufacturing ERP, uma ferramenta para controlo de produção e aumento de eficiência, e 3DEXPERIENCE Works, que permite controlar e ligar todas as etapas de um negócio, desde a conceção ao marketing, passando pela produção e vendas online.

Estes dois últimos, embora possam ser usados como programas independentes, são muitas vezes associados ao SolidWorks. O programa tem ainda um leque ainda mais alargado em termos de ferramentas oferecidas. Em termos dos custos de aquisição ou subscrição, o SolidWorks oferece pacotes de venda ajustados à realidade de cada um, desde licenças para projetos pessoais e hobbistas, software de engenharia e simulação, passando também por ofertas ajustadas a FabLabs, Start-ups educacionais. A Figura 2 exemplifica a interface do SolidWorks.

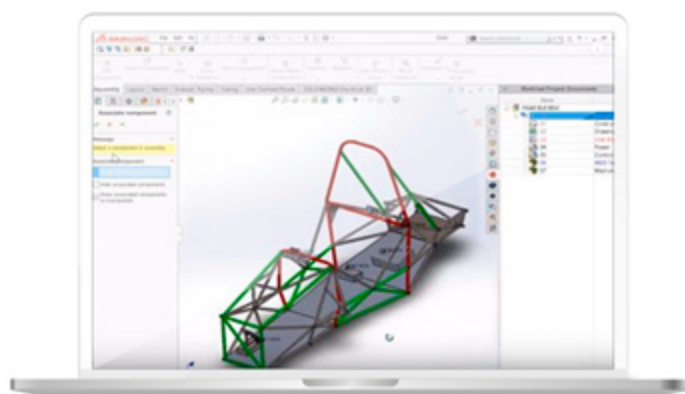


Figura 2 SolidWorks [12]

: Desenvolvido pela Autodesk, o Fusion 360 capta cada vez mais a atenção dos utilizadores, uma vez que dispõe de soluções tecnológicas de CAD, CAM, CAE e PCB [13]. Possui ainda um conjunto de extensões possíveis de adquirir, com funcionalidades como controlo de impressão 3D, otimização de iterações de design, simulação mecânica, desenho e maquinação de placas PCB e função de nesting de produção de componentes em chapa, entre outras. No caso do controlo de impressão 3D, diferencia-se dos demais por permitir programar a impressão por SLS [14], quando usualmente estes programas apenas se dedicam ao FFF.

Adicionalmente tem ainda a vantagem de ser um programa baseado na nuvem e usufruir de armazenamento de todos os ficheiros na conta do utilizador da Autodesk. Isto permite que o utilizador aceda à sua biblioteca de desenhos ou projetos em qualquer computador ou dispositivo desde que tenha ligação à internet. Este software tem disponível opções de acesso gratuito para uso pessoal, start-ups e pequenas empresas. A Figura 3 ilustra a interface do Fusion 360.

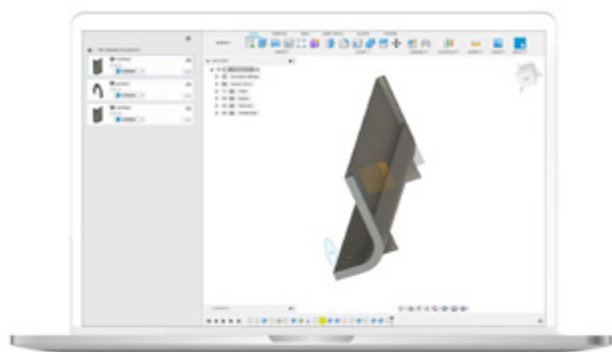


Figura 3 Fusion 360 [15]

Desenvolvido pela Dassault Systèmes, o CATIA (abreviatura para Computer-Aided Three Dimensional Interactive Application) é também ele composto por ferramentas CAD, CAE, CAM e PLM. Adicionalmente a estes módulos, o CATIA faculta ferramentas de esquematização de circuitos elétricos, ferramentas de rastreabilidade de dados e informação ao longo do ciclo de desenvolvimento de produto, ferramenta de análise de superfícies, entre outras. O CATIA é também adequado a empresas OEMs (original equipment manufacturer) e a sua cadeia de valor, como para PMEs [16]. O CATIA é um programa adequado para as mais variadas indústrias como construção, engenharia e sistemas de engenharia, produtos de estilo, aeroespacial, automóvel, equipamento industrial, entre outras [17]. A Figura 4 exemplifica a interface deste programa.



Figura 4 CATIA [18]



O programa NX, da Siemens, é também uma plataforma com ferramentas CAD, CAE, CAM e PLM. No entanto, este software distingue-se dos demais pela ferramenta MCD (Mechatronic Concept Design) que é uma ferramenta para desenho de mecatrónica industrial da Siemens. Acresce o interesse na possibilidade de com esta ferramenta, testar o funcionamento de um produto antes de o construir, não só em termos mecânicos, mas também em termos de automação [19].

Tal como os programas acima descritos, também o NX é usado nas mais variadas indústrias como aeroespacial, automóvel, maquinaria industrial, produtos de consumo, indústria farmacêutica, indústria eletrónica, entre outros. Uma ferramenta que também pode distinguir este software dos demais é ter um módulo dedicado à manufatura aditiva, ao invés de ter apenas um módulo CAM generalista. Por fim, duas ferramentas associadas ao NX e que são diferenciadoras são o Mastertrim [20], uma ferramenta para design e apoio à produção de bancos automóvel, e o Fibersim [21], uma solução para design e produção de peças compósitas. A Figura 5 ilustra a interface do programa NX.

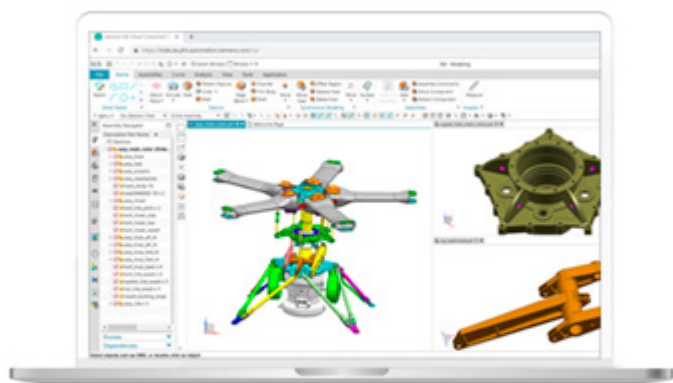


Figura 5 NX [22]



A empresa Parametric Technology Corporation (PTC) desenvolveu e lançou o primeiro programa CAD paramétrico baseado em características associativas, o Pro/Engineer, que veio a ser substituído mais tarde pelo Creo. O Creo, tal como outros programas CAD, inclui ferramentas CAD, CAE e CAM. Neste último, o Creo é composto por ferramentas de manufatura aditiva e subtrativa. Pode também interagir com ferramentas PLM. Inclui ainda soluções para otimização de fluxos de produção e de montagem de componentes. Finalmente, uma ferramenta que distingue o Creo dos demais programas CAD é a ferramenta para visualização de modelos em realidade aumentada e a possibilidade de integração com ferramentas de Industrial IoT [23]. A Figura 6 ilustra a interface do Creo.

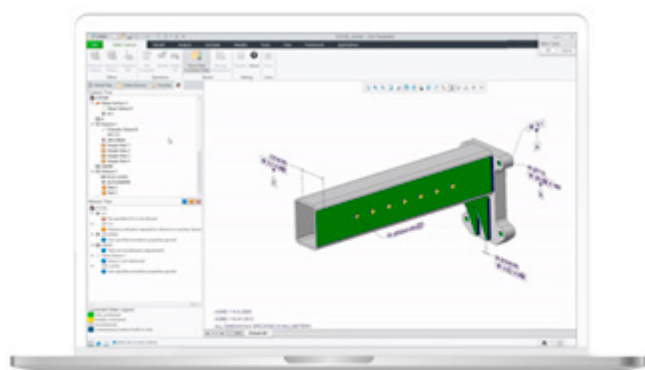


Figura 6 Creo [24]



Este CAD é dos mais versáteis do mercado. Não só permite o desenho com formas paramétricas como também orgânicas, algo pouco comum nos CAD. Tal como muitos dos programas aqui apresentados, com ferramentas CAD, CAE e CAM, o Rhinceros é completo em termos do seu leque de ferramentas.

Permite ainda a aquisição de modelos 3D por via de um scanner 3D. Distingue-se também pela elevada compatibilidade com ficheiros não nativos de design, CAM, engenharia, análise, renderização e ilustração. Esta última ferramenta é um dos pontos diferenciadores do Rhinceros para os outros CAD [25]. A Figura 7 exemplifica a interface do Rhinceros 3D.

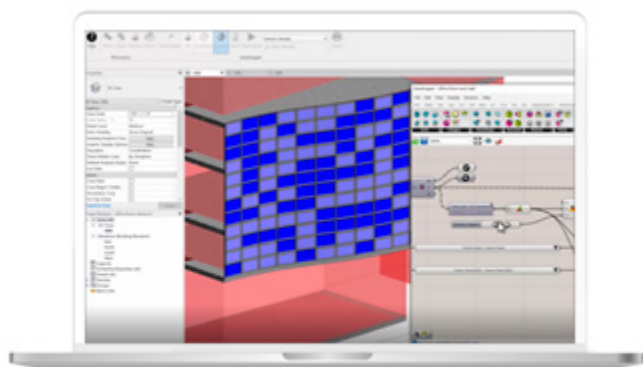


Figura 7 Rhinceros 3D [25]



Tal como o SolidWorks, o Inventor também pertencente à empresa Autodesk, é um programa de CAD 3D mais direcionado para a indústria (projetos de produto e de mecânica) do que os outros pertencentes ao mesmo grupo. Ainda assim, permite a integração com os programas Fusion 360 e AutoCAD, potenciando as ferramentas de todos os programas [26].

O Inventor integra ferramentas CAD e CAE, ferramentas colaborativas para desenvolvimento de projeto e ainda ferramentas para projeto de produto, como cálculos de custos e tempos. Possui também ferramentas de tubagens e canalizações automáticas para projetos de equipamentos industriais [27]. A Figura 8 exemplifica a interface do Inventor.

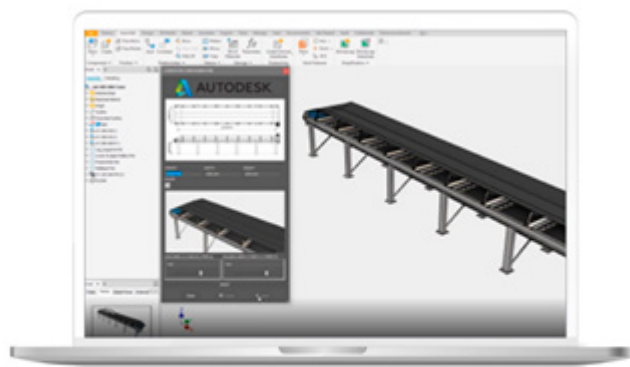


Figura 8 Inventor [28]

A AUTOCAD

Este é provavelmente um dos CAD mais conhecidos, estando disponível desde 1982. Trata-se de uma ferramenta versátil uma vez que pode ser aplicada em diversas áreas técnicas como arquitetura, engenharia e outras.

Por norma, este programa é mais utilizado para a criação de projetos em 2D, contudo permite também desenvolver projetos em 3D [29]. A Figura 9 apresenta um exemplo da interface de trabalho do AutoCAD.

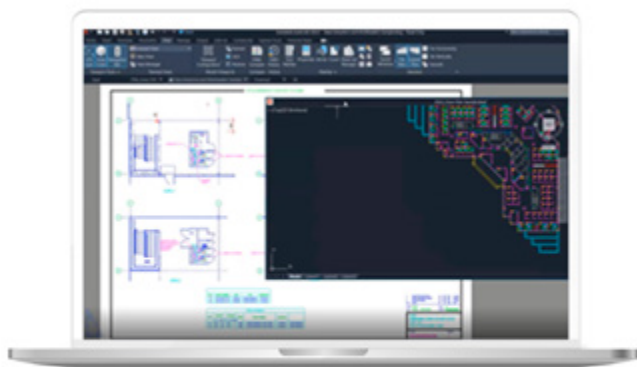


Figura 9 Autocad [30]

2 Opensource e/ou Freeware

Alguns exemplos de CAD, mais populares, que poderão ser instalados e utilizados gratuitamente são o LibreCAD, FreeCAD, o TinkerCAD, o Salome e o BRL-CAD. Alguns dos programas apresentados anteriormente têm também versões grátis como o caso do Fusion 360 ou do LibreCAD.

LibreCAD

para uma utilização meramente em 2D, é uma opção com um processo de instalação fácil, disponível em vários idiomas, e com uma interface semelhante ao AutoCAD.

Este programa CAD, altamente intuitivo, é adequado para o desenho e planeamento básico de esboços. O LibreCAD é uma ferramenta leve e direcionada para trabalhos de planos e para fins de CAM, como o corte a laser ou corte CNC. Tem uma aparência facilmente personalizável e é uma boa escolha para principiantes em CAD 2D.

É um programa de código aberto (opensource) e não tem versões pagas [31] [32]. A Figura 10 ilustra a interface do programa LibreCAD.

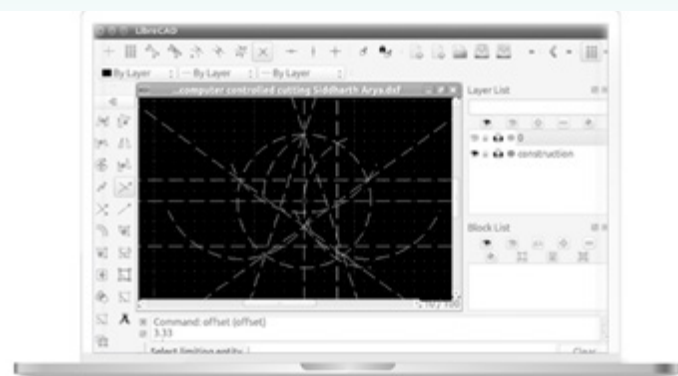


Figura 10 LibreCAD [33]



É um modelador CAD que existe desde 2002 que, por ser considerado um pouco complexo para iniciantes, é uma boa opção para utilizadores mais experientes que procurem um programa de código aberto com características extensas [34]. Especialmente comum nas áreas da arquitetura e engenharia, o FreeCAD permite o uso de ferramentas CAD 3D, bem como esboços básicos em 2D, algumas ferramentas de simulação, exportação de ficheiros para manufatura aditiva e subtrativa, entre outras características [35]. A interface do FreeCAD está ilustrada na Figura 11.



Figura 11 FreeCAD [36]



o Tinkercad é uma ferramenta de CAD online lançada em 2011 e adquirida pela Autodesk em 2013. Esta ferramenta permite fazer modelação 3D num navegador web, sendo bastante popular pela sua interface intuitiva e de fácil utilização [37].

O Tinkercad utiliza o método de geometria sólida construtiva que permite a criação de modelos 3D compostos a partir de sólidos geométricos (como por exemplo cubo, cilindro, esfera, pirâmide, prisma entre outros) e ao mesmo tempo a criação de estruturas vazadas com essas mesmas geometrias. Permite também fazer alterações em modelos 3D desenvolvidos noutros CAD ou adquiridos por digitalização com um scanner 3D. Contudo esta funcionalidade está limitada a ficheiros com tamanhos inferiores a 25 mb.

O Tinkercad possui ainda ferramentas para visualização dos modelos desenhados em AR (apenas em iOS), desenho de circuitos elétricos e introdução à programação [38]. A página web da interface do Tinkercad é apresentada na Figura 12.

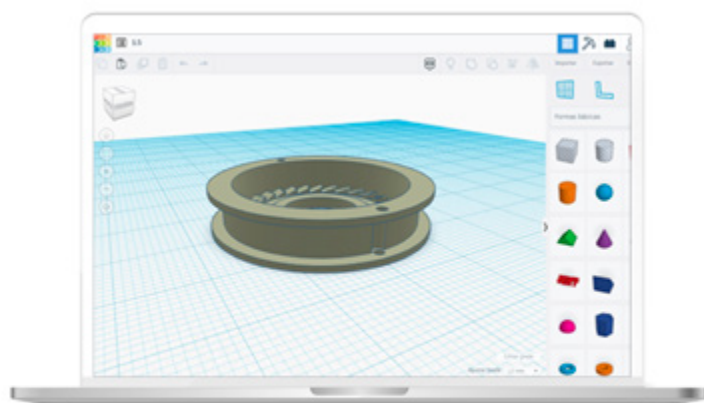


Figura 12 Tinkercad [37]



Apresenta uma vasta gama de possibilidades de modelação, incluindo a modelação discreta de eventos e turbulência, o Salome oferece uma plataforma genérica eficiente. É um programa ideal para efeitos de investigação e para fabrico.

Apresenta uma seleção razoável de ferramentas, especialmente para a geração de malhas (útil para a simulação numérica), e permite ainda aos utilizadores a auto-geração de scripts com interface Python. Inclui boas capacidades de simulação, análise de design e renderização [39] [40]. Na Figura 13 apresentamos a interface do programa Salome.

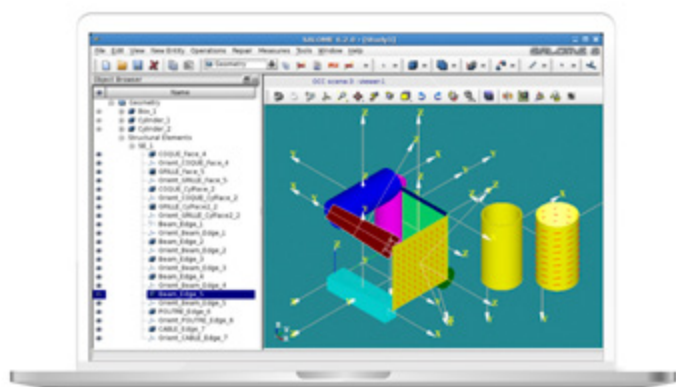


Figura 13 Salome [39]



O Onshape é um programa empresarial, completamente gratuito para projetos opensource. Este programa é baseado na nuvem, não sendo necessária a instalação no computador do utilizador. Uma das funcionalidades mais interessantes deste CAD é o seu modo colaborativo.

Em comparação com outros programas CAD, o Onshape permite o acesso em tempo real a todos os membros da equipa de desenvolvimento de um projeto, ao mesmo ambiente de trabalho CAD e aos mesmos dados em repositório central a partir da nuvem. Adicionalmente à ferramenta CAD, o Onshape oferece também algumas ferramentas de gestão de dados de produção, ferramentas de análise e de relatórios, bem como ferramentas integradas de engenharia como ERP, PLM, CAM e CAE [41]. A Figura 14 ilustra a interface do Onshape.

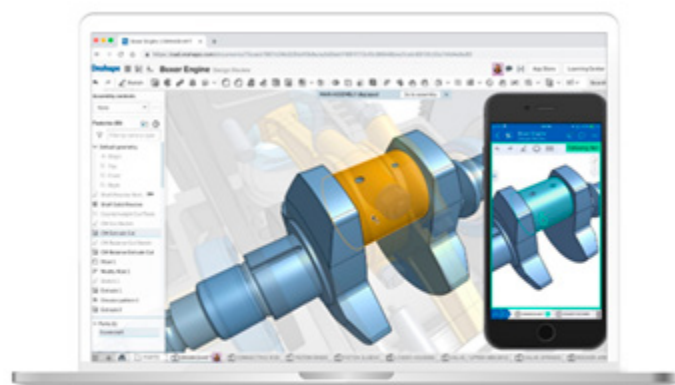


Figura 14 Onshape [42]

3 PCB

Existem também programas CAD para aplicações específicas como por exemplo projetos de placas de circuitos impressos (PCB - Printed Circuit Board) [43]. Segue-se uma breve introdução a estas aplicações e alguns exemplos dos programas.

Tal como o caso dos CAD referidos anteriormente, existe também um grande número de soluções destas ferramentas CAD para PCB em regime de Opensource ou Freeware. Segue uma breve descrição de algumas das soluções mais conhecidas (KiCad, Fritzing e LibrePCB).

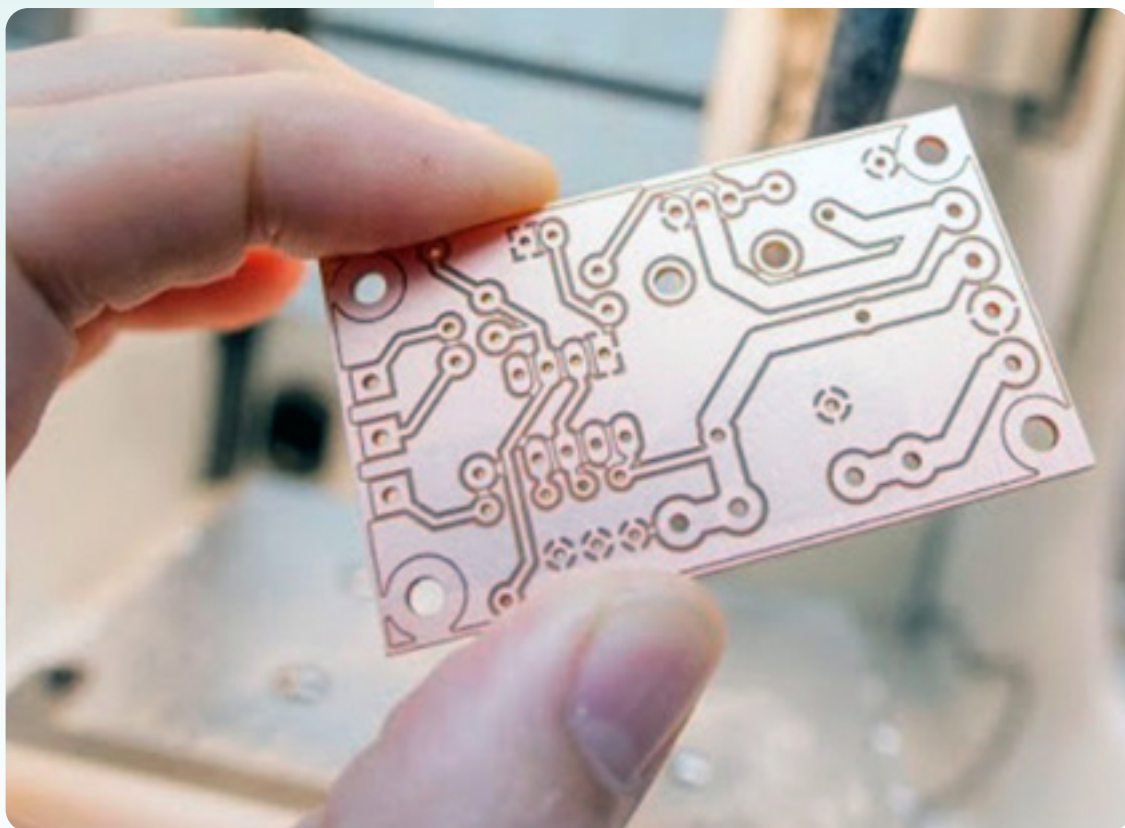


Figura 15 Uma PCB fabricada por CNC

KiCad

KiCad é um dos programas mais conhecidos para desenho de layout eletrônico gratuito., apoiado por importantes organizações como a Fundação Raspberry Pi, Arduino e CERN (Organização Europeia para a Investigação Nuclear), KiCad desfruta de uma comunidade muito ativa.

Para além do habitual desenho esquemático de circuitos, ferramentas de layout PCB, e visualização 3D, o KiCad integra-se com simulação de circuitos, suporta Git para controlo de versões, e ligações com FreeCAD para outros desenhos físicos. Além disso, uma lista crescente de plug-ins fornece extensibilidade para funcionalidades que vão desde o desenho RF até à arte PCB usando Python. Uma grande variedade de tutoriais KiCad, do simples ao complexo, pode ser facilmente encontrada online [44] [45]. Abaixo, na Figura 16 é apresentado o ambiente do programa KiCad.



Figura 16 Kicad [44]

fritzing

esta ferramenta foi desenvolvida originalmente pela Universidade de Ciências Aplicadas de Potsdam, Alemanha, com o objetivo de tornar a eletrônica acessível a todos e de encorajar uma abordagem prática [46]. O Fritzing inclui funcionalidades fáceis de utilizar e suporta circuitos simples com ferramentas para traduzir desenhos em breadboards ou PCBs. Por esta razão, é sobretudo utilizado como recurso formativo, em escolas, FabLabs e faculdades.

Através da iniciativa “Friends of Fritzing”, os utilizadores podem optar pela produção de PCB no fabricante europeu Aisler. A sua abordagem faz com que seja considerado e aplicado em projetos simples e em sessões de formação. Na Figura 17 é apresentado o ambiente do programa Fritzing.

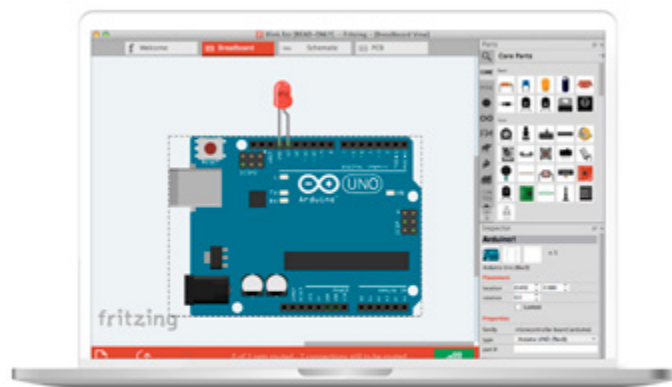


Figura 17 Fritzing [46]



LibrePCB é uma das ferramentas de “nova geração” mais conhecidas, com pacotes de design PCB gratuitos. A maioria das ferramentas mais antigas tem as suas raízes numa época em que a escolha dos componentes era mais limitada ou mais lenta, e os computadores eram menos potentes. Esta ferramenta permite aos interessados tirar partido de um vasto espectro de componentes eletrónicos, módulos e sensores, em rápida evolução [47].

No seu núcleo está o completo suporte para bibliotecas de componentes eletrónicos atualizados, o que é apreciado por aqueles que trabalham em áreas onde os desenhos evoluem rapidamente. Na Figura 18 é apresentado o ambiente de trabalho do programa LibrePCB.

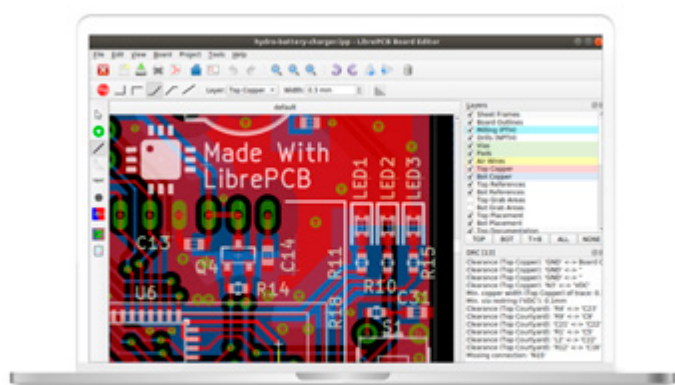


Figura 18 Libre PCB [47]

4 Calçado

Na área do calçado existem vários programas CAD dedicados à modelação. São exemplo o Shoemaster, ICad3D+, Delcam ShoeMaker, EasyLast 3D, Lectra. O CAD Rhinoceros, já referido anteriormente é também bastante usado neste setor principalmente para o desenvolvimento de solas, seja para o fabrico de ferramentas de produção (moldes de injeção) seja para amostras virtuais.

ICad3D+: O programa ICad3D+ foi desenvolvido pelo INESCOP – Centro Tecnológico del Calzado (Espanha), direccionado para o desenho, modelação e engenharia de calçado, e que permite, simultaneamente e em paralelo, trabalhar em ambiente técnico 2D e ambiente virtual 3D. Este facto foi o que diferenciou este programa dos demais, aquando do seu desenvolvimento: o designer / modelador ao efetuar alterações de design quer nos componentes 2D ou no modelo 3D, consegue ver em simultaneamente o resultado em todas as vistas e no modelo virtual.

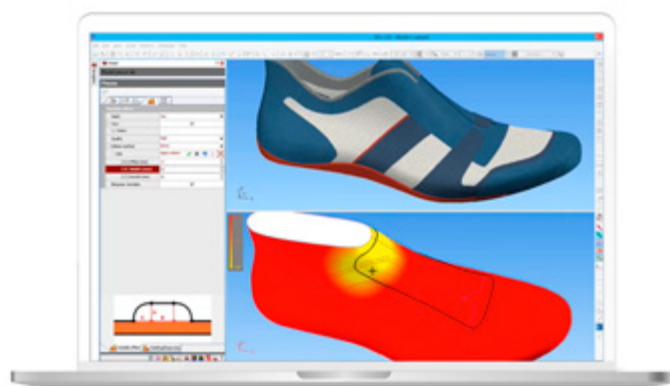


Figura 19 iCad3D+ [48]

O ICad3D+ permite ainda planar qualquer a forma que seja, de todos os tipos de calçado, incluindo botas e botins. O designer/modelador tem também a possibilidade de importar, editar ou criar todo o tipo de componentes, desde solas, saltos, ornamentos ou acessórios.

No final do design do produto, é possível criar imagens fotorrealistas para uso em marketing, interação com o cliente ou validação estética. Em termos produtivos, é possível de preparar os ficheiros para o corte automático dos componentes, calcular os consumos ou produzir fichas técnicas dos produtos, como demonstrado no fluxograma da Figura 20.

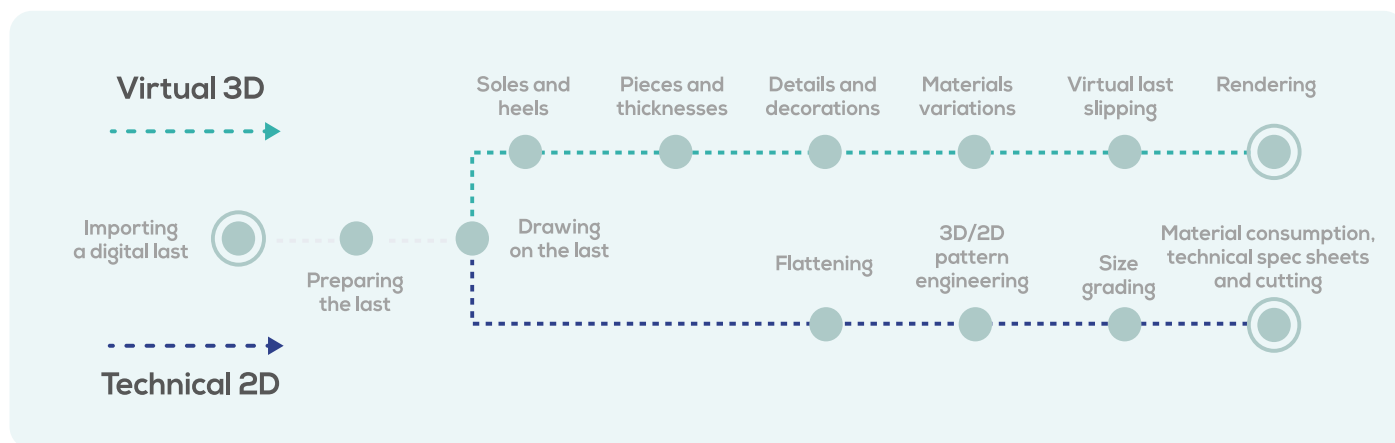


Figura 20 Fluxograma de trabalho do design de calçado, usando o ICad3D+



Este CAD foi desenvolvido pela Mind e é direcionado para a indústria do calçado e da marroquinaria. Esta solução é composta por ferramentas de CAD 2D e de CAD 3D, e dividida em diferentes módulos [49]: *3D Design & Engineering for Footwear*, *2D Modelling for Footwear*, *2D Modelling for Leather Goods*, *2D Modelling for Transportation* e *2D Modelling for Upholstery*, sendo os dois últimos usados para produzir padrões e designs para estofos.

Neste documento o foco passa pelos módulos *3D Design & Engineering for Footwear*, *2D Modelling for Footwear* e *2D Modelling for Leather Goods*, que são os módulos direcionados para o cluster do calçado e da marroquinaria.

O módulo **3D Design & Engineering for Footwear** é uma ferramenta para modelação, prototipagem e representação de modelos virtuais 3D de calçado. Este programa é uma resposta para a indústria do calçado que permite acelerar e reduzir custos na etapa de desenvolvimento de produto, permitindo o uso de amostras virtuais que substituem os protótipos físicos, possui ferramentas e desenho específicas para o desenho de calçado e permite ainda rápidas iterações entre os vários atores da cadeia de produção, incluindo comunicação e marketing com clientes e consumidores.

De acordo com a Mind, as principais características deste módulo são o esboço de linhas de estilo, digitalização e edição final, modelação da sola e modelação da parte superior do sapato.

Na secção do esboço, o programa dá liberdade aos designers para desenharem os primeiros modelos, possibilitando a visualização dos vários esboços, a construção manual de uma maquete exportando os desenhos para vistas 2D ou a construção automática do protótipo exportando diretamente o modelo virtual para equipamentos de prototipagem rápida, comumente conhecidos como impressoras 3D. Na secção de digitalização e edição final os designers podem digitalizar modelos e integrar automaticamente com os principais programas de CAD, permitindo ainda a edição interativa e parametrizada do modelo virtual, bem como a planação automática e personalização manual. Relativamente à modelação da sola o programa permite a criação de uma sola baseada na forma do sapato, criada na secção anterior, e a sua edição, complementando-se ainda com a possibilidade de criação de saltos e com recurso a uma base de dados de materiais para solas. Finalmente, a secção de modelação da parte superior do sapato permite o desenho das linhas de estilo na superfície da forma, a criação de pontos, atacadores, furações, enchimento, fivelas, entre outros. É ainda possível a criação de imagens fotorrealistas que poderão ser usadas em ações de marketing, comunicação entre desenvolvedores e comunicação com o cliente.

O módulo **2D Modelling for Footwear**, que pode ser integrado com o módulo descrito acima, continua ainda a ser muito usado pelos modeladores de calçado, uma vez que estão mais preparados para trabalhar com designs de componentes a duas dimensões. Neste módulo design foca-se nos componentes do sapato, mais concretamente nas gáspeas. O processo pode incluir digitalização de outras gáspeas, tendo o programa suporte técnico para o uso de vários digitalizadores de diferen-

tes marcas. As ferramentas de modelação neste módulo compreendem definição de linhas de estilo, com e sem relação entre si, ferramentas de medição e de distorção de design, criação de padrões, margens, entalhes, cantos, furações e estêncis, indispensáveis para o corte e montagem do sapato.

O módulo permite ainda a integração com outras ferramentas da empresa, como o *MindCUT*, para o corte automático, *MindGest* para informação de materiais e *MindGEST Cost Evaluation*, para orçar o produto e a produção.

Por fim, o módulo **2D Modelling for Leather Goods**, muito idêntico ao módulo descrito anteriormente, mas direcionado para a indústria da marroquinaria e que permite ferramentas similares para design, modelação, criação de padrões, definição de entalhes, furos e margens, e que permite a integração com ferramentas como o *MindCUT*, para corte automático de componentes de malas e bagagens e o *MindGest* e *MindGEST Cost Evaluation* para gestão e orçamento dos produtos.

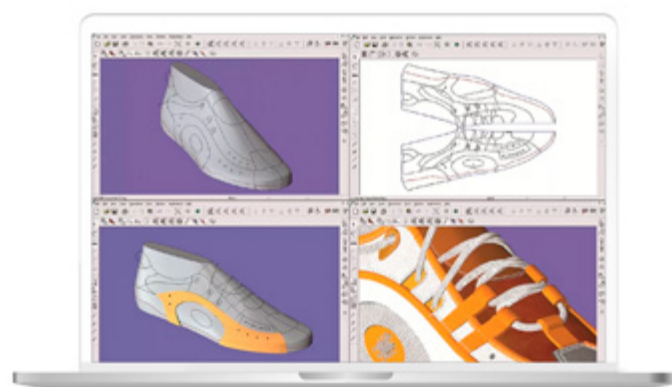





Figura 21 MindCAD

Tabela I Comparação das ferramentas disponíveis nos vários programas apresentados.

	CAD 3D	CAD 2D	CAE	CAM	PLM	Input Scanner	Outras ofertas
SolidWorks	✓	✓	✓	✓	✓	✓	<ul style="list-style-type: none"> – Controlo de produção – Projeção de quadros elétricos – Projeção de moldes
Fusion360	✓	✓	✓	✓	✗	✗	<ul style="list-style-type: none"> – PCB – Nesting produção em chapa – Cloud based
CATIA	✓	✗	✓	✓	✓	✓	<ul style="list-style-type: none"> – Ferramenta de rastreabilidade de dados ao longo do ciclo de desenvolvimento de produto – Integração da componente elétrica com a componente mecânica dos objetos
NX	✓	✗	✓	✓	✓	–	<ul style="list-style-type: none"> – Ferramenta de design de mecatrónica industrial – Ferramenta de design de assentos de automóvel – Ferramenta de design de componentes em compósito
Creo	✓	✓	✓	✓	✓	–	<ul style="list-style-type: none"> – Visualização de modelos com realidade aumentada – Integração com ferramentas IIoT
Rhinoceros	✓	–	✓	✓	–	✓	<ul style="list-style-type: none"> – Permite desenho paramétrico e orgânica – Elevada compatibilidade com ficheiros não nativos
Inventor	✓	✗	✓	✗	✗	–	<ul style="list-style-type: none"> – Direcionado para projetos de produtos e de mecânica – Integração com Fusion 360 e AutoCAD
AutoCAD	✓	✓	✗	✗	✗	✗	<ul style="list-style-type: none"> – Desenho paramétrico 2D
LibreCAD	✗	✓	✗	✗	✗	✗	<ul style="list-style-type: none"> – Programa CAD 2D grátis
FreeCAD	✓	✓	✓	✗	✗	✗	<ul style="list-style-type: none"> – Programa CAD 3D grátis
TinkerCAD	✓	✗	✗	✗	✗	✗	<ul style="list-style-type: none"> – Programa na nuvem – Geometrias simples, simulação de circuitos elétricos simples e introdução à programação
Salome	✓	✗	✓	✗	✗	✗	<ul style="list-style-type: none"> – Direcionado para simulação numérica
Onshape	✓	–	✓	✓	✓	–	<ul style="list-style-type: none"> – Baseado na nuvem – Ferramentas colaborativas
KiCAD	✗	✓	✗	✗	✗	✗	<ul style="list-style-type: none"> – Ferramenta para projeto de PCB
Fritzing	✗	✓	✗	✗	✗	✗	<ul style="list-style-type: none"> – Ferramenta para projeto de PCB
LibrePCB	✗	✓	✗	✗	✗	✗	<ul style="list-style-type: none"> – Pacote de componentes alargado
ICad3D+	✓	✓	✗	✓	✗	✗	<ul style="list-style-type: none"> – Design de calçado
MindCAD	✓	✓	✗	✗	✗	✗	<ul style="list-style-type: none"> – Design de calçado

 O programa tem a funcionalidade
  O programa não tem a funcionalidade
  Não divulgado

Nota 1

Esta informação resultou de uma pesquisa nos websites correspondentes dos programas à data de publicação deste documento.

Nota 2

Algumas das ferramentas identificadas podem ser adotadas nos programas sob a forma de add-on, mas não serem uma ferramenta nativa do programa..



Resumindo, a oferta de programas CAD é muito variada e alargada. A escolha de um CAD é um processo que deverá ter em conta o tipo ou tipos de produtos que se pretende desenvolver, quais as ferramentas auxiliares que podem acrescentar valor (CAE, CAM, PLM, ...), o tipo de indústria em que se integra e também a formação dos colaboradores e do investimento que se pretende fazer.

No entanto, é inegável as potencialidades que um programa CAD traz às organizações, desde o impacto à etapa de desenvolvimento de produto, bem como ao controlo dos processos produtivos, terminando na relação com o cliente.

Enquadramento no MetalShoe FabLab

O FabLab que resulta do projeto em apreço tem como missão estimular a criatividade e a inovação, aliadas à digitalização, promover iniciativas intersectoriais e a articulação com as entidades do Sistema Científico e Tecnológico Nacional, por forma a garantir que existe uma linha de pensamento e de ação híbrida, onde o design, a estética e a funcionalidade de produto desempenham papéis de elevada importância.

Um dos objetivos dos FabLab consiste em disponibilizar ferramentas de conceção/fabrico, sendo que a utilização de um CAD corresponde a um dos pontos de partida para qualquer processo de fabrico digital. Este primeiro passo, ou seja, o uso de ferramentas CAD, pode, eventualmente, ser usado quer para uma predefinição da ideia, quer para um desenvolvimento quase final do objeto a fabricar/prototipar. A existência de várias opções em opensource, permite aos utilizadores esta análise/validação prévia.



As ferramentas de CAD são indispensáveis nos processos de manufatura digital (impressão 3D, maquinação CNC e Corte a Laser), pois representam o passo inicial de qualquer projeto, permitindo ainda a partilha e envio de ficheiros com formatos compatíveis com diversas tecnologias de fabrico.

O MetalShoe FabLab do CATIM tem ao dispor o programa SolidWorks. Contudo, caso seja identificada a necessidade de se testar um programa alternativo, poderão ser instalados outros programas de tipologia opensource, ou gratuitos.

É também possível aceder a ferramentas CAD 2D para utilização específica para aplicações de maquinação de PCBs já referidas anteriormente (KiCAD, Fritzing e LibrePCB), e outras mais limitadas em termos de funcionalidades para Corte Laser ou corte CNC. Estas últimas funcionam como interface e controlo dos equipamentos disponíveis (Corte Laser e fresadora CNC).

O processo de engenharia inversa está também disponível no âmbito do MetalShoe FabLab, através do uso de digitalização 3D para obtenção do modelo virtual de um objeto. Sendo posteriormente possível de o obter por tecnologias de impressão 3D, ou simplesmente, de o manipular digitalmente.

No MetalShoe FabLab Network é ainda possível a importação de ficheiros e modelação em CAD através do programa SolidWorks para posterior fabrico por:

- Impressão 3D em resina líquida (SLA);
- Impressão 3D em filamento polimérico (FDM);
- Impressão 3D em pó metálico (DMLS);
- Maquinação CNC de peças em derivados de madeira, espumas e compósitos;
- Maquinação de PCBs;
- Corte e gravação a laser.

A razão pela qual no MetalShoe FabLab se optou pelo programa SolidWorks deve-se, sobretudo, ao facto de ser uma das ferramentas mais utilizadas pelos parceiros industriais, pelo facto de os técnicos do FabLab apresentarem formação específica nesta ferramenta, e mesmos no caso dos parceiros que não utilizam esta ferramenta, utilizam outras alternativas compatíveis.

No âmbito do MetalShoe FabLab esta tecnologia permite a modelação de peças únicas para fabrico em manufatura aditiva, maquinação CNC ou corte laser. É ainda possível realizar engenharia inversa (desenvolvimento de um modelo CAD 3D a partir de uma peça ou componente já existente), bem como a combinação de programa CAD no fabrico de PCBs.

No caso do FabLab do CTCP, há uma oferta regular de formação em programas CAD, mais concretamente, nos diferentes módulos do MIND CAD. Estas formações, oferecidas fora do âmbito do MetalShoe FabLab, têm diferentes objetivos, como CAD 2D, CAD 3D, modelação de calçado e modelação de produtos de marroquinaria. Adicionalmente existe também a possibilidade de explorar outros programas como o Fusion360, Inventor, SolidWorks, TinkerCAD entre outros.

Em jeito de conclusão, este documento reflete as tecnologias CAD e o seu possível impacto a nível industrial nas empresas dos setores da metalomecânica e do calçado em Portugal. Foram apresentadas as várias vantagens e limitações, bem como uma lista de programas CAD que podem ser usados para as mais variadas aplicações dentro de uma indústria. Assim, fica patente a diversidade de oferta destes programas e a sua importância numa produção cada vez mais digitalizada.

BIBLIOGRAFIA

- [1] D. Weisberg, "The Engineering Design Revolution CAD History", 2008.
- [2] R. D. C. do Amaral e A. C. de Pina Filho, "A Evolução do CAD e sua Aplicação em Projetos de Engenharia," em Nono Simpósio de Mecânica Computacional, Universidade Federal de São João Del-Rei, 2010.
- [3] I. Horvath, Shifting paradigms of computer aided design, The Netherlands: Delft University Press, 1998.
- [4] M. Hirz, P. Rossbacher e J. Gulánová, "Future trends in CAD—from the perspective of automotive industry," Computer-Aided Design and Applications, vol. 14, nº 6, pp. 734-741, 2017.
- [5] K. L. Narayan, K. M. Rao e M. M. M. Sarcar, Computer Aided Design and Manufacturing, 2008.
- [6] M. P. Groover e E. W. Zimmers, CAD/CAM: Computer-aided Design and Manufacturing, New Jersey: Prentice-Hall, 1983.
- [7] "3be SOLUÇÕES EM 3D," [Online]. Available: <https://3be.com.br/produtos/einscan-se-scanner>. [Acedido em Dezembro de 2021].
- [8] W. K. M. T. G. H. J. & S. W. Kritzing, "Digital Twin in manufacturing: A categorical literature review and classification," IFAC-PapersOnLine, vol. 59, nº 11, pp. 1016-1022, 2018.
- [9] E. F. L. & M. M. Negri, "A review of the roles of digital twin in CPS-based production systems.," em Procedia Manufacturing, Modena, Italy, 2017.
- [10] R. Figueira, "CAD/CAM/CAE/CIM," 2003. [Online]. Available: https://www.dei.isep.ipp.pt/~paf/proj/Julho2003/CAD_CAE_CAM_CIM.pdf. [Acedido em Dezembro de 2021].
- [11] "<https://www.solidworks.com/solutions>," [Online]. [Acedido em Janeiro 2022].
- [12] "Solidworks," 20 12 2019. [Online]. Available: <https://blogs.solidworks.com>. [Acedido em Dezembro de 2021].
- [13] "<https://www.autodesk.pt/products/fusion-360/overview>," [Online]. [Acedido em Janeiro 2022].
- [14] "https://formlabs.com/blog/fusion360-formlabs-fuse-1/?utm_source=linkedin&utm_medium=social&utm_campaign=ADSK-integration-2022," [Online]. [Acedido em Janeiro 2022].
- [15] "Autodesk," [Online]. Available: <https://www.autodesk.pt/products/fusion-360/overview>. [Acedido em Dezembro de 2021].
- [16] "<https://www.3ds.com/products-services/catia/products>," [Online]. [Acedido em Janeiro 2022].

[17] "<https://www.3ds.com/products-services/catia>," [Online]. [Acedido em Janeiro 2022].

[18] "CATIA," Dassault Systems, [Online]. Available: <https://my.3dexperience.3ds.com>. [Acedido em Dezembro de 2021].

[19] "<https://avantek.es/software-de-tronica-industrial-da-siemens/?lang=pt-pt>," [Online]. [Acedido em Janeiro 2022].

[20] "<https://www.plm.automation.siemens.com/global/pt/products/nx/mastertrim.html?>," [Online]. [Acedido em Janeiro 2022].

[21] "<https://www.plm.automation.siemens.com/global/pt/products/nx/fibersim.html?>," [Online]. [Acedido em Janeiro 2022].

[22] "NX," Siemens, [Online]. Available: <https://www.plm.automation.siemens.com>. [Acedido em Dezembro de 2021].

[23] "<https://www.ptc.com/pt/products/creo/packages>," [Online]. [Acedido em Janeiro 2022].

[24] "Creo," PTC, [Online]. Available: <https://www.ptc.com/en/products/creo>. [Acedido em Dezembro de 2021].

[25] "<https://www.rhino3d.com/features/#overview>," [Online]. [Acedido em Janeiro 2022].

[26] "<https://www.autodesk.pt/products/inventor/features#connected-data>," [Online]. [Acedido em Janeiro 2022].

[27] "<https://www.autodesk.com/products/inventor>," [Online]. [Acedido em Janeiro 2022].

[28] "<https://www.autodesk.pt/products/inventor/overview>," [Online]. [Acedido em 2022].

[29] "<https://www.autodesk.pt/products/autocad/features>," [Online]. [Acedido em Janeiro 2022].

[30] "Autodesk," Autodesk, [Online]. Available: <https://knowledge.autodesk.com>. [Acedido em Dezembro de 2021].

[31] "LibreCAD," [Online]. Available: <https://librecad.org/#download>. [Acedido em Dezembro de 2021].

[32] "<https://librecad.org/#features>," [Online]. [Acedido em Janeiro 2022].

[33] "The Fab Academy," [Online]. Available: <http://archive.fabacademy.org>. [Acedido em Dezembro de 2021].

[34] "freecad," [Online]. Available: <https://www.freecad.org>. [Acedido em Dezembro de 2021].

[35] "<https://www.freecadweb.org/features.php>," [Online]. [Acedido em Janeiro 2022].

[36] "Github," [Online]. Available: <https://github.com>. [Acedido em em Dezembro de 2021].

[37] "Tinkercad," Autodesk, [Online]. Available: <https://www.tinkercad.com>. [Acedido em Janeiro 2022].

[38] "<https://www.tinkercad.com>," [Online]. [Acedido em Janeiro 2022].

- [39] "Salome," [Online]. Available: https://docs.salome-platform.org/7/gui/GEOM/struct_elem_visualisation.html. [Acedido em Dezembro de 2021].
- [40] "<https://www.salome-platform.org>", [Online]. [Acedido em Janeiro 2022].
- [41] "<https://www.onshape.com/en>", [Online]. [Acedido em Janeiro 2022].
- [42] "Onshape," [Online]. Available: <https://www.onshape.com/en/products/free>. [Acedido em Dezembro de 2021].
- [43] "FAB LAB SAU," [Online]. Available: <http://www.fablabsau.com>. [Acedido em Dezembro de 2021].
- [44] "KiCad," [Online]. Available: <https://www.kicad.org>. [Acedido em Dezembro de 2021].
- [45] "<https://www.kicad.org>", [Online]. [Acedido em Janeiro 2022].
- [46] "fritzing," [Online]. Available: <https://fritzing.org>. [Acedido em Dezembro de 2021].
- [47] "LibrePCB," [Online]. Available: <https://librepcb.org>. [Acedido em Dezembro de 2021].
- [48] "<https://www.youtube.com/watch?v=eqQoe-Vlm2sU>", [Online]. [Acedido em Janeiro 2022].
- [49] "<https://mindtech.pt/software/mindcad>," [Online]. [Acedido em Janeiro 2022].



METALSHOE

FABLAB NETWORK